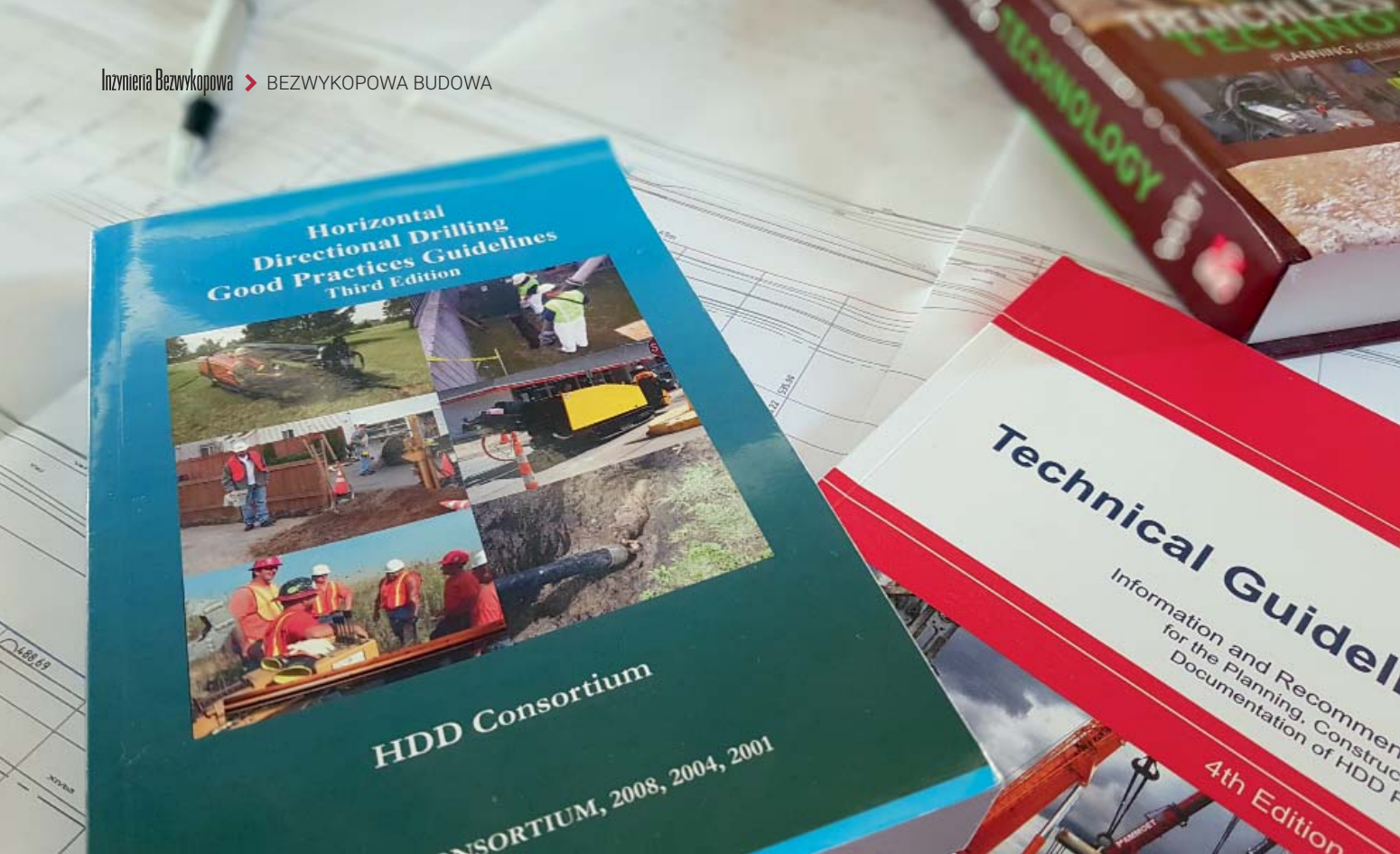




Planowanie i realizacja projektów HDD

CZĘŚĆ I: PRZEGLĄD LITERATURY PRZEDMIOTU

Technika HDD jest angażowana do projektów związanych z budową rurociągów do transportu ropy naftowej, gazu ziemnego czy paliw gotowych, w celu instalacji sieci wodnych i kanalizacyjnych, sieci ciepłowniczych, kabli energetycznych i telekomunikacyjnych. Na jej temat powstało wiele publikacji, mniej lub bardziej godnych uwagi. Jak wybrać te najbardziej wartościowe i jakimi kryteriami kierować się w wyborze?



Robert Osikowicz

(ur. 1966), absolwent Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Zajmuje się technologią wiercenia otworów kierunkowych i praktycznymi aplikacjami płynów wiertniczych w otworach różnego przeznaczenia. Ponadto w kręgu zainteresowań autora znajdują się: analizy wykonalności, ryzyka, jakości i kosztów dla projektów bezwykopowych. Od 2009 r. pracuje dla firmy Robert Osikowicz Engineering. Firma jest członkiem branżowej organizacji wiertniczej DCA-Europe.

Krótki wstęp do technologii

Termin horyzontalne wiercenie kierunkowe HDD (ang. *Horizontal Directional Drilling*) oznacza technikę należącą do rodziny bezwypokowych metod budowy podziemnych instalacji rurowych. To kilkietapowa technika wiertnicza, której celem jest instalacja pod powierzchnią terenu rurociągów i kabli zgodnie z zatwierdzonym uprzednio projektem. Cechą wyróżniającą HDD jest orientowane wiercenie pilotowe, realizowane po zdefiniowanej krzywej. Wiercenie odbywa się za pomocą odpowiednio skonfigurowanego zestawu narzędzi i przewodu wiertniczego, za manipulowanie którymi odpowiada urządzenie wiertnicze (wiertnica). Zarówno miejsce rozpoczęcia wiercenia otworu pilotowego, jak i miejsce jego zakończenia zlokalizowane są zazwyczaj na powierzchni terenu. Proces wiercenia i tworzenie regularnego otworu możliwe są dzięki płuczce spełniającej wiele kluczowych funkcji technologicznych. Otwór pozostaje przez okres prowadzenia robót podparty strukturalnym płynem wiertniczym.

Horyzontalne wiercenie kierunkowe HDD (ang. *Horizontal Directional Drilling*) oznacza technikę należącą do rodziny bezwypokowych metod budowy podziemnych instalacji rurowych. Jest kilkietapową techniką wiertniczą, której celem jest instalacja pod powierzchnią terenu rurociągów i kabli zgodnie z zatwierdzonym uprzednio projektem.

HDD jest traktowane jako nowoczesna, przyjazna środowisku naturalnemu i ludziom metoda konstrukcyjna, wykorzystywana do pokonywania naturalnych i sztucznych przeszkód terenowych. Może też służyć jako profesjonalne narzędzie do układania instalacji liniowych. HDD jest angażowane do projektów związanych z budową rurociągów do transportu ropy naftowej, gazu

ziemnego czy paliw gotowych, w celu instalacji sieci wodnych i kanalizacyjnych, sieci ciepłowniczych, kabli energetycznych i telekomunikacyjnych. Instalacje HDD służą zabudowie zarówno rurociągów ciśnieniowych (dla przepływających przez nie mediów), jak i rur osłonowych (dla kabli czy innych wewnętrznych instalacji).

Średnice przewodów rurowych rozpoczynają się od 2" (50 mm) i mogą sięgać 56" (1422 mm). Potencjalny zakres długości pojedynczych instalacji waha się od około 30 m do ponad 2,5 km, przy założeniu zmobilizowania adekwatnego sprzętu wiertniczego. Warto wspomnieć, że 2 km jest to dystans nieosiągalny dla innych metod z wyjątkiem tunelowania. Przy użyciu dwóch urządzeń wiertniczych i technologii umożliwiającej skuteczne łączenie pod ziemią wierconych otworów (Intersect) potencjalna długość instalacji wzrasta do ponad 4 km. Głębokość położenia instalacji jest ściśle związana z długością otworu, warunkami geologicznymi i zastaną infrastrukturą. Możliwe są zarówno płytkie wiercenia na głębokości kilku metrów pod powierzchnią terenu, jak również bardzo głębokie przekroczenia, w ramach których różnica rzędnych przekracza 100 m. Unikatową cechą HDD jest możliwość wykonywania instalacji wielorurowych w pojedynczym otworze. Dzięki precyzyjnym narzędziom lokalizacji i nawigacji trajektorie otworów przebiegają w stosunkowo niedużej odległości od istniejących obiektów i infrastruktury podziemnej. Roboty wiertnicze można prowadzić w bardzo szerokim zakresie warunków geologicznych.

Technika wiertnicza podlega ciągłemu procesowi rozwoju i doskonalenia. Urządzenia wiertnicze oferują coraz wyższe parametry mechaniczne, systemy płuczki stają się coraz bardziej wydajne, przewód wiertniczy bardziej wytrzymały, nawigacja w otworach bardziej precyzyjna, a narzędzia skuteczniejsze. Wzrasta świadomość wszystkich podmiotów zaangażowanych w proces inwestycyjny. Ryzyko podlega sensownemu podziałowi pomiędzy stronami.

Warto przypomnieć, że HDD jest udaną kombinacją techniki, wiedzy i sztuki inżynierskiej. Minimalizuje negatywny wpływ na jakość życia społeczności lokalnych, w praktyce jest bardziej ekonomiczne i mniej inwazyjne od metod alternatywnych.

Warunkiem niezbędnym dla przeprowadzenia projektu jest właściwy plan i strategia działania. Temu zagadnieniu zamierzamy poświęcić cykl artykułów opisujących metodykę postępowania na kolejnych etapach cyklu inwestycyjnego.

Technika ta jest angażowana do projektów związanych z budową rurociągów do transportu ropy naftowej, gazu ziemnego czy paliw gotowych, w celu instalacji sieci wodnych i kanalizacyjnych, sieci ciepłowniczych, kabli energetycznych i telekomunikacyjnych.

Selekcja materiałów

Na temat HDD zapisano wiele stron. Teksty, do których docieramy, są mniej lub bardziej warte uwagi i zapamiętania. Przeglądając wnikliwie literaturę, znajdujemy publikacje, które przeczą sobie nawzajem. Jak więc ocenić, czy dana pozycja jest ważna i nie zawiera fałszywych bądź niesprawdzonych informacji? Można przyjąć założenie, że należy wziąć pod uwagę przede wszystkim książki autorstwa niekwestionowanych ekspertów o uznanej reputacji. Będą to podręczniki akademickie, referencyjne książki o zasięgu międzynarodowym, publikowane w jednym z głównych światowych języków. Pozycje te są solidnie udokumentowane, zaopatrzone w bibliografię, przypisy i indeksy. Kolejną wartością docenienia kategorią będą wytyczne i standardy techniczne, za którymi stoją organizacje kojarzone z wiedzą ekspercką i znakomitymi dokonaniem zawodowymi. Profesjonalni członkowie organizacji branżowych biorą udział w prestiżowych konferencjach, na których wygłaszają referaty, często związane z ich bieżącą działalnością. Referaty techniczne są szczególnie cennym źródłem wiedzy, gdyż nie zostały jeszcze opublikowane w formie książkowej, a tym samym nie są dostępne na rynku. Jeśli kilku niezależnych autorów wskazuje w literaturze to samo źródło, jako referencję w danym obszarze, z pewnością warto będzie do niego dotrzeć i samemu ocenić wartość. Należy w pierwszej kolejności przeglądać książki, wytyczne i referaty najbardziej aktualne, gdyż istnieje domniemanie o znalezieniu źródła o współczesnej interpretacji naszej dziedziny. Pozycje takie zawierają uśpółcześniony wykaz literatury, którą można wykorzystać. Z drugiej jednak strony w historii

wiertnictwa pojawiały się książki na tyle dobrze opracowane, że pomimo upływu 20, a nawet 30 lat mogą stanowić doskonałe źródło wiedzy o podstawowych zasadach funkcjonowania procesów wiertniczych. Źródłem wiedzy może być Internet, w którym w coraz większej ilości pojawiają się publikacje merytoryczne. Mogą to być teksty (dokumenty), których autorami są niezależni konsultanci, eksperci z firm wiertniczych czy biur projektowych.

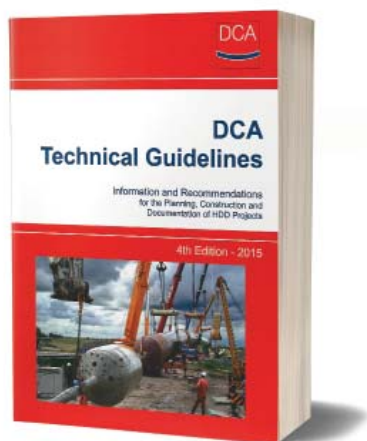
Autor wytypował te źródła i publikacje, które realnie wpływają na zrozumienie złożonych, wieloparametrowych procesów. Ich przegląd pozwoli na wypracowanie uniwersalnej metodyki postępowania wobec zagadnień związanych z oceną:

Średnice przewodów
rurowych instalowanych
w technologii HDD
rozpoczynają się od 2" (50 mm)
i mogą sięgać 56" (1422 mm).
Potencjalny zakres długości
pojedynczych instalacji waha
się od około 30 m do ponad
2,5 km.

przedłożonej dokumentacji geologicznej, analizą założeń projektowych, selekcją sprzętu i osprzętu, analizą jakości i ryzyka, tworzeniem programów technologicznych, spełnieniem kryteriów kompetencyjnych zaangażowanego personelu.

Przedstawiona w niniejszej pracy literatura ma posłużyć jako podstawa do właściwego ustawienia problemu: jak prawidłowo zaplanować i zrealizować w określonym czasie projekt wiertniczy o zdefiniowanym celu w ramach wynegocjowanego z klientem budżetu. Każda pozycja książkowa została zaopatrzona w subiektywną ocenę autora (ranking), określającą stopień jej przydatności do opracowania kolejnych części artykułu.

Standardy – wytyczne branżowe



Tytuł: DCA Technical Guidelines. Information and Recommendation for the Planning, Construction and Documentation of HDD Projects

Autorzy: Drilling Contractors Association DCA

Wydawca: Drilling Contractors Association DCA

Rok ostatniego wydania: 2015

Edycja 4: zmieniona i rozszerzona | Edycja 3: 2009 | Edycja 2: 2001

Ilość stron: 134 (4. edycja), 98 (3. edycja), 70 (2. edycja)

Język: angielski/niemiecki/francuski

Ilustracje: tak, kolorowe

Spis literatury: tak | Indeks: nie | Słownik terminów: nie

Oprawa: miękka okładka

Ranking: *****

Krótki opis publikacji:

Najważniejsza europejska organizacja zrzeszająca wykonawców robót wiertniczych HDD, spółki konsultingowe, dostawców sprzętu i technologii zaprezentowała w 2015 r. czwarte wydanie swoich wytycznych dla branży. Dokument został przygotowany przez grupę roboczą wyłonioną wśród członków Drilling Contractors Association. Prezentuje on uzgodnione stanowisko wobec większości zagadnień związanych z planowaniem, realizacją i dokumentowaniem projektów budowy podziemnych instalacji metodą HDD. Wytyczne przyjmowane są w wielu europejskich krajach jako jeden z najważniejszych dokumentów referencyjnych, służących do weryfikowania projektów i procedur technicznych.

Spis rozdziałów:

1. Podstawowe zasady
2. Geologia i geotechnika
3. Autoryzacje – dokumenty
4. Planowanie projektów
5. Zasady bezpieczeństwa
6. Ochrona środowiska
7. Realizacja projektów
8. Odbiory
9. Dokumentacja
10. Zapewnienie jakości
11. Tabele i rysunki
12. Załączniki

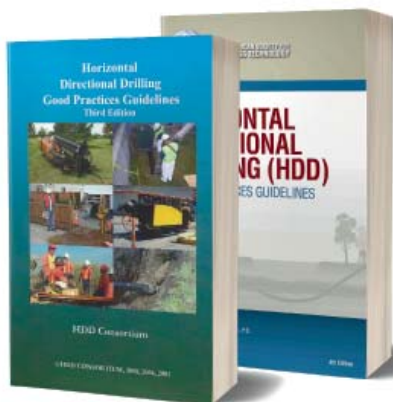
🔗 **Przykładowy, szczegółowy opis publikacji.** Pozostałe z prezentowanych w artykule publikacji są opatrzone skróconym opisem, natomiast pełna ich charakterystyka znajduje się w wersji online na inzynieria.com.

ZAWSZE WIĘCEJ Z



TEKST

<http://bit.ly/Przegląd-literatury-HDD>



📖 **Przykładowy, szczegółowy opis publikacji. Pozostałe z prezentowanych w artykule publikacji są opatrzone skróconym opisem, natomiast pełna ich charakterystyka znajduje się w wersji online na inzynieria.com.**

Tytuł: Horizontal Directional Drilling. Good Practices Guidelines

Autorzy: Dr. David Bennett, Dr. Samuel T. Ariaratnam

Wydawca: HDD Consortium | Edycja 3 | Rok wydania: 2008

Edycja 4: zmieniona i poprawiona | Rok wydania ostatniej edycji: 2017

Ilość stron: 279 | Ilustracje: tak, monochromatyczne | Język: angielski

Spis literatury: tak | Indeks: tak | Słownik terminów: nie | Oprawa: miękka okładka

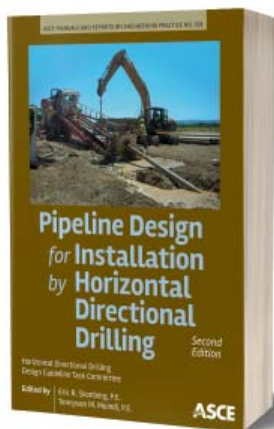
Ranking: *****

Krótki opis publikacji:

Amerykańska branża HDD wydała w 2008 r. trzecią edycję cenionego podręcznika będącego w zamyśle autorów przewodnikiem po dobrych praktykach wiertniczych. Książka przygotowana przez uznanych ekspertów adresowana jest do wykonawców, inżynierów, projektantów i inwestorów. W wielu środowiskach uznawana jest za zbiór branżowych standardów i wytycznych. Członkami HDD Consortium są (lub byli w przeszłości) m.in.: NASTT (North American Society for Trenchless Technology), DCCA (Drilling Crossing Contractors Association), DCA (Distribution Contractors Association), AEM (Association of Equipment Manufacturers), NUCA (National Utility Contractors Association), PCCA (Power and Communications Contractors Association). W drugiej połowie 2017 r. ukazała się rozszerzona czwarta edycja tej książki.

Spis rozdziałów:

1. Wstęp i podstawowe pojęcia
2. Zastosowanie HDD
3. Sprzęt i materiały
4. Projektowanie
5. Planowanie projektu (wiercenia)
6. Bezpieczeństwo na budowie
7. Rozwiązywanie problemów



Tytuł: Pipeline Design for Installation by Horizontal Directional Drilling

Autorzy: Horizontal Directional Drilling Design Guideline Task Committee

Eric Skonberg, Tennyson Muindi

Wydawca: ASCE American Society of Civil Engineers | Rok wydania: 2014

Ilość stron: 80 | Ilustracje: tak, monochromatyczne

Ranking: *****

Krótki opis publikacji:

Publikacja opracowana jako standard techniczny przez Komitet ds. Wytycznych Amerykańskiego Stowarzyszenia Inżynierów (ASCE), najstarszej i najbardziej prestiżowej organizacji grupującej inżynierów z branży konstrukcyjnych. Książka dedykowana głównie projektantom i wykonawcom instalacji rurociągowych metodą HDD. W nowej edycji dokumentu przedstawiono postęp, jaki dokonał się w dziedzinie sprzętu wiertniczego, metod nawigacji w otworach, oraz uwagi dotyczące nowych rozwiązań w zakresie inżynierii materiałowej.



Tytuł: Wytyczne w zakresie projektowania gazociągów przesyłowych wysokiego ciśnienia

Załączniki: Dodatkowe wymagania projektowe w zakresie przewiertów HDD

Wytyczne w zakresie Planu Wykonalności i/lub specyfikacji technicznej wykonania i odbioru robót HDD

Autor: Operator Gazociągów Przesyłowych Gaz-System S.A.

Wydawca: Gaz-System S.A. | Rok wydania: 2013–2017

Ilość stron: dokument podstawowy: 230 stron, załączniki: 26 stron | Ilustracje: nie

Ranking: ***

Krótki opis publikacji:

Dokument opracowany przez polską spółkę Gaz-System S.A. skierowany do projektantów, generalnych wykonawców oraz podwykonawców w zakresie robót wiertniczych. Punktami odniesienia dla tej publikacji są wytyczne opublikowane przez DCA-Europe i Drilling Crossing Contractors Association. Wytyczne określają minimalne wymagania, które należy stosować przy projektowaniu gazociągów przesyłowych dla OGP. Wytyczne mają zastosowanie zwłaszcza do projektowania nowo budowanych gazociągów. Ze względu na dynamiczny rozwój rynku dokument wymaga regularnej rewizji.



Tytuł: Planning Horizontal Directional Drilling for Pipeline Construction

Autorzy: Canadian Association of Petroleum Producers

Wydawca: CAPP Publication | Rok wydania: 2004/rewizja: 2009

Ilość stron: 82 | Ilustracje: tak, kolorowe

Ranking: ***

Krótki opis publikacji:

Wytoczne opracowane przez Kanadyjskie Stowarzyszenie Producentów Naftowych, reprezentujące ponad 270 najważniejszych firm z segmentu ropy i gazu. Dokument adresowany jest głównie do inwestorów, regulatorów rynku, projektantów i wykonawców instalacji rurociągowych metodą HDD. Zawiera omówienie dobrych praktyk i procedur technicznych niezbędnych do wdrożenia na etapie analizy, planowania i wykonawstwa instalacji rurowych metodą horyzontalnego wiercenia kierunkowego. Atutem publikacji jest poruszenie takich obszarów analizy, jak: ryzyko, czynniki ekonomiczne warunkujące powodzenie inwestycji oraz warunki zawierania kontraktów wiertniczych.



Tytuł: 1. Guidelines for a Successful Directional Crossing Bid Package 2. Guidelines for Successful Mid-Sized Directional Drilling Projects

Autorzy: Eric Skonberg, Tom Allen, Grady Bell i in.

Wydawca: Directional Crossing Contractors Association | Rok wydania: 1995

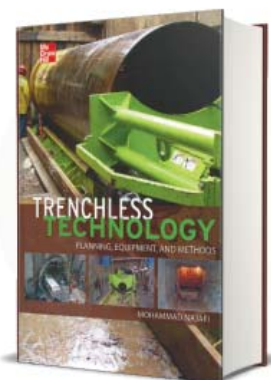
Ilość stron: 11 | Ilustracje: tak, kolorowe

Ranking: **

Krótki opis publikacji:

Pierwsze dokumenty amerykańskie stanowiące próbę ustandaryzowania procedur w zakresie analizy, planowania i realizacji projektu HDD. Zostały opracowane w dwóch wersjach: dla projektów klasy maxi i projektów średniej wielkości (midi). Autorem opracowania są profesjonaliści związani z DCCA – amerykańskim stowarzyszeniem grupującym w latach 90. firmy wiertnicze. Pierwsze wytoczne zawierały zaledwie po kilkanaście stron tekstu. Do tej pory jednak założenia podstawowe projektów nie uległy znaczącej zmianie.

Podręczniki – Trenchless



Tytuł: Trenchless Technology. Planning, Equipment and Methods

Autorzy: Mohammad Najafi

Wydawca: McGraw-Hill Education | Rok wydania: 2013

Ilość stron: 582 | Ilustracje: tak, monochromatyczne

Ranking: ****

Krótki opis publikacji:

Najnowsza książka prof. Najafiego, która dowodzi, że technologie bezwykopowe są nie do zastąpienia w współczesnym świecie. Dzięki nim możemy zbudować lub poddać renowacji większość instalacji podziemnych, bez istotnych komplikacji obserwowanych na powierzchni terenu. Podręcznik skupia się na prawidłowym planowaniu projektów, którego to etapu nie uda się pominąć przy żadnej poważnej inwestycji. Technika HDD zajmuje poczesne miejsce w tej publikacji, a autor analizuje wymagania dotyczące badań geologicznych, profilu prowadzenia wiercenia, sprzętu i osprzętu wiertniczego, kompozycji płuczki i procedur kontrolnych. Książka jest rekomendowaną lekturą dla inżynierów, studentów, projektantów, inspektorów nadzoru oraz inwestorów.



Tytuł: Trenchless Technology for Installations of Cables and Pipelines. 2nd volume: HDD

Autorzy: Robert Stein & Dietrich Stein

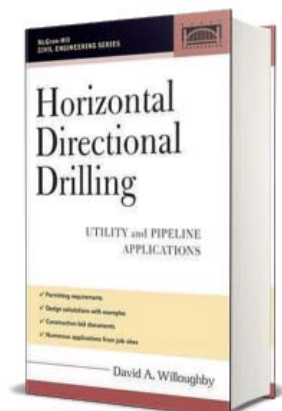
Wydawca: Stein & Partner | Rok wydania: 2010

Ilość stron: 246 | Ilustracje: tak, kolorowe

Ranking: ****

Krótki opis publikacji:

Niemiecki podręcznik dotyczący techniki HDD, opracowany przez dwóch akademików (Uniwersytet Bochum) z praktycznym doświadczeniem przemysłowym. W książce omówiono większość zagadnień związanych z planowaniem operacji wiertniczych uwzględniających nowe rozwiązania wdrożone przez przemysł na początku XXI w. Potencjalnymi odbiorcami książki mogą być wszystkie strony procesu inwestycyjnego oraz studenci wydziałów wiertnictwa i inżynierii środowiska.



Tytuł: Horizontal Directional Drilling. Utility and Pipelines Applications

Autor: David A. Willoughby

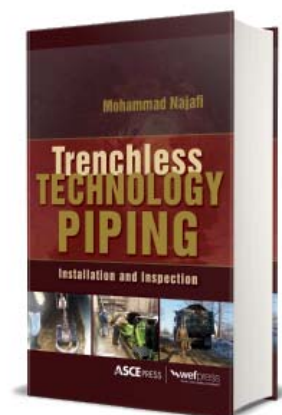
Wydawca: McGraw-Hill Education – Europe | Rok wydania: 2005

Ilość stron: 400 | Ilustracje: tak, monochromatyczne

Ranking: ****

Krótki opis publikacji:

Podręcznik napisany przez inżyniera i menedżera projektów z długoletnim doświadczeniem. Jest traktowany przez studentów kierunków politechnicznych jako dobre źródło zarówno podstawowej, jak i bardziej zaawansowanej wiedzy dotyczącej horyzontalnych wierceń kierunkowych. Książka może służyć jako użyteczny poradnik dla projektantów instalacji rurowych i wykonawców robót wiertniczych. W publikacji poddano analizie dostępne dokumenty związane z projektowaniem, składaniem ofert i zawieraniem umów pomiędzy stronami procesu inwestycyjnego.



Tytuł: Trenchless Technology Piping. Installation and Inspection

Autor: Mohammad Najafi

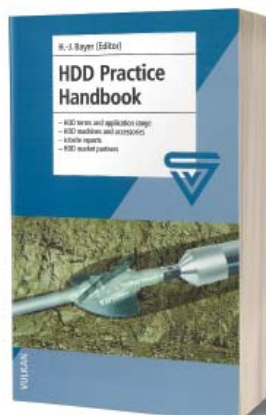
Wydawca: McGraw-Hill Education | Rok wydania: 2010

Ilość stron: 480 | Ilustracje: tak, monochromatyczne

Ranking: ***

Krótki opis publikacji:

Podręcznik dotyczący inżynierii budowy i rehabilitacji rurociągów metodami bezwykopowymi. W publikacji omówiono zagadnienia związane z projektowaniem i procesem konstrukcyjnym, wskazując na nowoczesne metody zarządzania projektami. Każda z bezwykopowych metod jest zaprezentowana i zarekomendowana do najważniejszych dla niej aplikacji. Autor książki jest profesorem i dyrektorem Centrum Badań nad Infrastrukturą Podziemną Texas University.



Tytuł: HDD Practice Handbook

Autorzy: Hans-Joachim Bayer

Wydawca: Vulkan – Verlag Essen | Rok wydania: 2005

Ilość stron: 192 | Ilustracje: tak, kolorowe

Ranking: ***

Krótki opis publikacji:

Niemiecki podręcznik – handbook, dotyczący techniki HDD, opracowany przez dr. Hansa Joachima Bayera, pracującego dla firmy Tracto-Technik. Pozycja napisana z myślą o projektantach, inżynierach budowy rurociągów i wykonawcach robót wiertniczych, pracujących dla wszystkich branż budownictwa podziemnego. Książka odnosi się do większości zagadnień związanych z planowaniem projektów bezwykopowych, wśród których dominującą rolę odgrywa HDD. Jeden z rozdziałów zawiera szczegółową analizę kilku zrealizowanych nietypowych projektów.



Tytuł: Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska

Autorzy: praca zbiorowa pod red. Andrzeja Kuliczowskiego

Wydawca: Seidel-Przywecki | Rok wydania: 2010

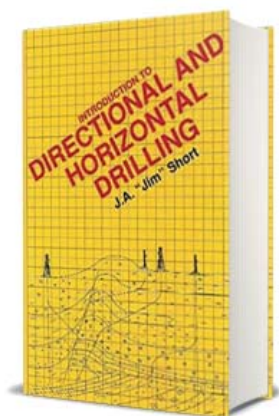
Ilość stron: 736 | Ilustracje: tak, kolorowe

Ranking: **

Krótki opis publikacji:

Jedna z nielicznych publikacji książkowych w języku polskim, będąca przeglądem dostępnych technik i technologii bezwykopowych wykorzystanych w budowie i odnowie infrastruktury podziemnej. Książkę opracowali pracownicy Politechniki Świętokrzyskiej. Metoda HDD została potraktowana jako równorzędna z innymi opisanymi metodami budowy. Jej problematyka zajmuje około 40 stron w publikacji liczącej ponad 730 stron. Stanowi to zaledwie 5% objętości omawianej książki.

Podręczniki – Oilfield



Tytuł: Introduction to Directional and Horizontal Drilling

Autor: J.A. Jim Short

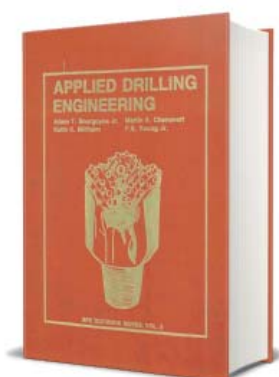
Wydawca: Pennwell Corp. | Rok wydania: 1993

Ilość stron: 232 | Ilustracje: tak, monochromatyczne

Ranking: ****

Krótki opis publikacji:

Podręcznik wprowadzający w zagadnienie głębokich kierunkowych i horyzontalnych przewiertów. Technika ta znajduje coraz powszechniejsze użycie nie tylko w sektorze naftowym, ale też w bezwykopowej budowie podziemnych instalacji rurociągowych. Wiele pojęć związanych z wiertnictwem kierunkowym ma charakter uniwersalny i dotyczy też branży HDD. Książka może być przydatna dla operatorów systemów nawigacji w otworach, wiertaczy i kierowników robót wiertniczych.



Tytuł: Applied Drilling Engineering

Autorzy: Adam T. Bourgoyne, Martin Chenevert i in.

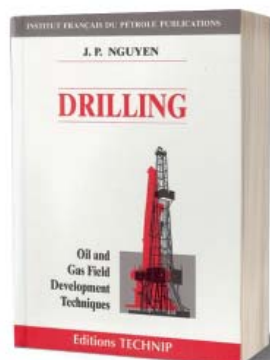
Wydawca: Society of Petroleum Engineers | Rok wydania: 1986

Ilość stron: 502 | Ilustracje: tak, monochromatyczne

Ranking: ***

Krótki opis publikacji:

Podręcznik traktowany jest jako standard akademicki w odniesieniu do podstaw inżynierii wiertniczej. Praca jest wspólnym dziełem przedstawicieli świata akademickiego i przemysłu naftowego. Może służyć jako pomocnicze źródło informacji dla spółek wiertniczych i studentów wydziałów wiertnictwa. Za uzupełnienie tej lektury należy uznać książkę autorstwa Stefana Miski: Fundamentals of Drilling Engineering (SPE 2011).



Tytuł: Drilling. Oil and Gas Field Development Techniques

Autorzy: Jean Paul Nguyen

Wydawca: Editions Technip | Rok wydania: 1996

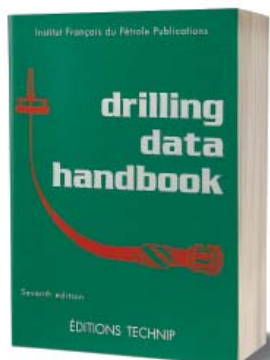
Ilość stron: 367 | Ilustracje: tak, monochromatyczne

Ranking: ***

Krótki opis publikacji:

Książka pełniąca funkcję podręcznika dla profesjonalistów z branży wiertniczej. Większość zagadnień jest związana z wierceniami poszukiwawczymi i eksploatacyjnymi złóż ropy i gazu. Wiele rozdziałów tej publikacji można traktować uniwersalnie i znaleźć dla nich uzasadnienie także w przypadku wierceń rurociągowych (pipeline drilling). Interesującymi obszarami poruszonymi w książce są procesy optymalizacyjne w procedurach wiertniczych oraz aspekty bezpieczeństwa operacyjnego projektów.

Handbook



Tytuł: Drilling Data Handbook

Autorzy: Giles Gaboide, Jean Paul Nguyen

Wydawca: Editions Technip | Rok wydania: 1999 (edycja 7) / 2013 (edycja 9)

Ilość stron: 576 | Ilustracje: tak, monochromatyczne

Ranking: ****

Krótki opis publikacji:

Siódma i dziewiąta edycja najbardziej znanego handbooka wiertniczego, który po raz pierwszy pojawił się na rynku wydawniczym w 1950 r. Stanowi nieocenione źródło informacji zgromadzonych w postaci tabel i wzorów dla wszystkich inżynierów i techników pracujących w branży wiertniczej. Koncept „zielonej książki”, pomimo upływającego czasu, wciąż jest aktualny. W czasach Internetu dostęp do baz danych jest łatwiejszy, tym niemniej podstawowe dane techniczne i kalkulacje ułożone w czytelnych tabelach są wciąż potrzebne. Wydawnictwo znajduje swoich odbiorców zarówno wśród wiertników polowych, jak i inżynierów pracujących nad planowaniem projektów. Każda kolejna edycja wzbogacana jest o nowości z zakresu technologii wiertniczych.



Tytuł: Drilling Fluids Reference Manual

Autor: Baker Hughes

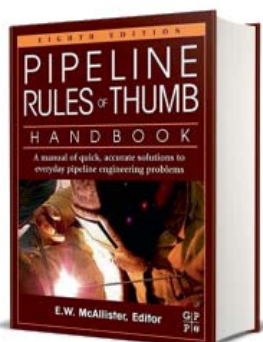
Wydawca: Baker Hughes | Rok wydania: 2007

Ilość stron: 775 | Ilustracje: tak, kolorowe

Ranking: ****

Krótki opis publikacji:

Podręcznik (manual) dotyczy inżynierii płynów wiertniczych. Publikacja skierowana jest do zaawansowanych inżynierów i techników specjalizujących się w technologii płuczkowej oraz technologii wiercenia kierunkowych otworów o różnym przeznaczeniu. Na ponad 700 stronach dokumentu omówiono praktycznie wszystkie obszary technologiczne płynów wiertniczych, uwzględniając przy tym podstawy chemii iłów, pomiary parametrów fizycznych i chemicznych, modele reologiczne i hydraulikę wiertniczą.



Tytuł: Pipeline Rules of Thumb Handbook

Autor: E.W. McAllister

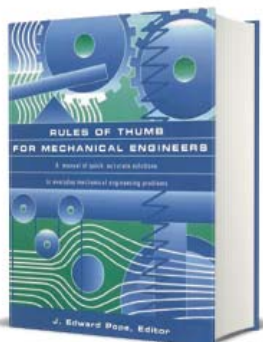
Wydawca: Gulf Professional Publishing | Rok wydania: 2013

Ilość stron: 806 | Ilustracje: tak, monochromatyczne

Ranking: ***

Krótki opis publikacji:

Handbook służący szybkiemu rozwiązywaniu codziennych problemów w pracy inżyniera odpowiedzialnego za projektowanie i budowę rurociągów. Jest to obszerna publikacja, funkcjonująca na rynku od ponad 35 lat. Autor omawia w niej wiele obszarów technicznych i technologicznych niezbędnych do poprawnej analizy sytuacji na placu budowy. Bieżąca edycja zawiera około 30% nowego lub zmienionego materiału w zakresie procesu konstrukcyjnego oraz sprzętu. Handbook oferuje dziesiątki metod i formuł kalkulacyjnych przydatnych na wszystkich etapach projektu.



Tytuł: Rules of Thumb for Mechanical Engineers

Autor: J. Edward Pope

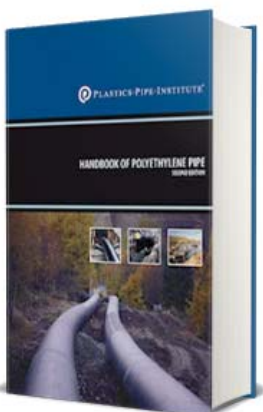
Wydawca: Gulf Professional Publishing | Rok wydania: 1997

Ilość stron: 406 | Ilustracje: tak, monochromatyczne

Ranking: ***

Krótki opis publikacji:

Handbook będący wsparciem przy rozwiązywaniu praktycznych problemów niemal w każdej dziedzinie inżynierii stosowanej. Książka zawiera podstawowe i zaawansowane informacje, zasady i metody prowadzenia obliczeń inżynierskich. Ilustracje, wykresy, wzory i diagramy pozwalają w inteligentny sposób zaoszczędzić cenny czas w pracy. Podręcznik znajdzie zastosowanie nie tylko w pracy inżyniera i technika. Będzie służył pomocą studentom kierunków politechnicznych, w tym wiertnictwa i inżynierii środowiska. Wśród głównych tematów książki odnajdziemy: wytrzymałość materiałów, mechanikę płynów, termodynamikę, inżynierię materiałową, procesy zmęzeniowe, pompy, kompresory, silniki, przekładnie, łożyska, pomiary laboratoryjne i przemysłowe.



Tytuł: Handbook of Polyethylene Pipe

Autor: Plastics Pipe Institute

Wydawca: Plastics Pipe Institute | Rok wydania: 2008

Ilość stron: 620 | Ilustracje: tak

Ranking: ***

Krótki opis publikacji:

Druga edycja referencyjnego kompendium o aplikacjach rur z polietylenu w instalacjach podziemnych. Publikacja skierowana jest do projektantów, inżynierów i techników specjalizujących się w budowie instalacji zarówno metodami konwencjonalnymi, jak i bezwypokopowymi. Technika HDD w kontekście zastosowania rur z HDPE została wyodrębniona jako specjalistyczna metoda budowy. Podręcznik podaje warunki brzegowe stosowania rur z tworzywa sztucznego na etapie konstrukcyjnym i w późniejszej eksploatacji. Podana jest też szczegółowa metodyka obliczeń wytrzymałościowych w kontekście instalacji rurociągów w otworach wiertniczych.

Referaty techniczne publikowane na konferencjach międzynarodowych

Konferencje międzynarodowe dotyczące szeroko rozumianych technologii bezwykopowych odbywają się w różnych zakątkach świata. Trzy najbardziej prestiżowe organizowane są przez: International Society for Trenchless Technology (ISTT), North American Society for Trenchless Technology (NASTT) oraz Drilling Contractors Association (DCA-Europe). Istnieje też wiele krajowych i regionalnych konferencji, wśród których warto wymienienia są: Międzynarodowa Konferencja, Wystawa i Pokazy Technologii „INŻYNIERIA BEZWYKOPOWA” w Krakowie, No-Dig Live w Wielkiej Brytanii, Trenchless Middle East, No-Dig India Show, Now-Dig Down Under w Australii, No-Dig Moscow w Rosji, NSTT No-Dig Event w Holandii czy No-Dig Turkey.

ISTT jest prawdopodobnie najstarszą organizacją bezwykopową, powstałą we wrześniu 1986 r. Siedzibą organizacji jest Londyn. Stowarzyszenie grupuje członków 28 krajowych i regionalnych organizacji. Automatycznie członkiem ISTT zostaje członek organizacji afiliowanych. Można również przystąpić do stowarzyszenia jako członek indywidualny lub korporacyjny (firma). Corocznie organizowany kongres techniczny jest okazją do wygłoszenia wielu referatów technicznych, w tym kilku dotyczących także techniki HDD. Nadsyłane prace podlegają recenzjom i weryfikacji merytorycznej. 35 międzynarodowych konferencji No-Dig pozostawiło po sobie kilkadziesiąt wartych analizy referatów, które mogą posłużyć do prac analitycznych. Naj-

bliższe międzynarodowe imprezy No-Dig zaplanowano w Cape Town, RPA (2018) oraz Florencji (2019).

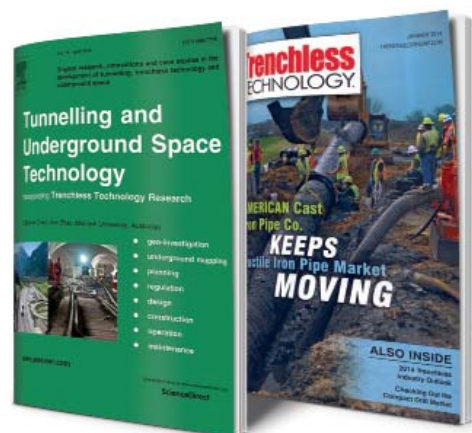
NASTT z kolei jest organizacją północnoamerykańską założoną w 1990 r., zrzeszającą firmy i indywidualnych członków pochodzących ze Stanów Zjednoczonych, Kanady i Meksyku. Na ogromny potencjał amerykańskiego rynku wskazuje liczba ponad 2 tys. członków. Konferencje i wystawy odbywają się corocznie w różnych miastach. W archiwum NASTT można zapoznać się z ponad 100 interesującymi referatami dotyczącymi planowania i realizacji projektów HDD. Najbliższe imprezy zaplanowano w Palm Springs, Kalifornia (2018), Chicago (2019), Denver (2020) i Orlando (2021).

DCA-Europe to organizacja branżowa z siedzibą w Akwizgranie (Niemcy), grupująca ponad 100 podmiotów, w tym 38 firm wiertniczych. Związanie stowarzyszenia miało miejsce w grudniu 1994 r. Członkami założycielami były wiodące w owym czasie spółki wiertnicze oferujące usługi instalacyjne metodą HDD. Rok później opracowano pierwsze fundamentalne wytyczne techniczne. DCA-Europe organizuje doroczny kongres techniczny służący wymianie doświadczeń pomiędzy członkami organizacji i zaproszonymi gośćmi. Uczestnicy imprezy mogą zapoznać się ze specjalistycznymi referatami przedstawiającymi analizę zakończonych projektów HDD (studium przypadku) od etapu planowania, poprzez proces wiercenia aż do finalizacji kontraktu. Najbliższe spotkanie organizacji odbędzie się we Frankfurcie (2018).

Publikacje w magazynach technicznych

Trenchless Technology był pierwszym magazynem poświęconym w całości technikom bezwykopowym. Ukazuje się od 1992 r. w Stanach Zjednoczonych, a jego wydawcą jest Bernie Krzys. Magazyn przez ponad 25 lat swojej historii kreował techniczne standardy, będąc platformą dyskusji dla specjalistów i ekspertów głównie z Ameryki Północnej. W ramach miesięcznika pojawiały się specjalistyczne dodatki poświęcone w całości poszczególnym technikom, w tym HDD (Directional Drilling, Horizontal Directional Drilling Guide).

W ślad za TT pojawiły się także inne regularne periodyki, na łamach których publikowano za-



awansowane techniczne materiały. Warte wspomnienia i odnotowania są sukcesy edytorskie w postaci takich magazynów, jak: Nowoczesne Techniki i Technologie Bezwykopowe, Inżynieria Bezwykopowa, Trenchless International (oficjalny kwartalnik ISTT), Trenchless Today (oficjalne pismo North American Society for Trenchless Technology), Trenchless Australasia, Trenchless World, National Driller, Underground Construction czy bi-UmweltBau. Odrębną grupą magazynów technicznych, na łamach których publikowane są pojedyncze teksty poświęcone HDD, są miesięczniki i kwartalniki zajmujące się budową i eksploatacją rurociągów: World Pipelines, Pipeline and Gas Journal, Australian Pipeliner, Pipelines International, Pipeline Technology Journal, North American Pipelines.

Trzecim segmentem w naszej układance są recenzowane czasopisma poświęcone budowie infrastruktury podziemnej. Czasopisma te przeszły proces oceny i są uwzględniane przez bazy Institute for Scientific Information, a artykuły w nich publikowane są często cytowane w innych pracach naukowych. Doskonałym przykładem takich tytułów są: Tunneling and Underground Space Technology (Elsevier), ASCE Journal of Infrastructure Systems, Canadian Journal of Civil Engineering, International Journal for Rock and Mining Science & Geomechanics, Journal of Construction Engineering and Management, Journal of Petroleum Science and Technology. Poziom techniczny przywoływanych tutaj wydawnictw nie jest jednolity i wymaga sporego zaangażowania na etapie selekcji materiałów do dalszych badań i analiz.

Normy techniczne

Pod tym pojęciem rozumiemy normy prawne, które mają za zadanie stworzenie



warunków dla zapewnienia jakości w procesach, technologiach, produktach czy usługach stosowanych przez daną branżę. Tworzenie norm technicznych ma chronić daną dziedzinę przed dowolnością i występowaniem niekorzystnych zjawisk. Norma (często utożsamiana ze standardem) może być uważana za silną rekomendację lub też jako dokument obligatoryjny. Zasięg oddziaływania norm jest różny. Niektóre z nich mają charakter międzynarodowy (powszechny), inne są akceptowane tylko w poszczególnych krajach. Przemysł wiertniczy i rurociągowy wypracował wiele norm i standardów o różnym stopniu oddziaływania na rynek. Najbardziej cenione i respektowane są dokumenty sygnowane przez American Petroleum Institute. Organizacja ta, zrzeszająca od 1919 r. najważniejsze firmy sektora naftowego, stawia sobie m.in. za cel wprowadzenie jednolitych norm służących certyfikacji. W ramach struktur API działa szereg komisji zajmujących się urządzeniami, materiałami, rurami, przewodem wiertniczym, bezpieczeństwem, zarządzaniem i jakością. Wyniki prac poszczególnych komisji znajdują odzwierciedlenie w dokumentach. Przykładem takich publikacji są API Spec 5L (rury do transportu gazu i ropy), API Spec 13A (materiały płuczkowe), API Spec 5D (przewód wiertniczy), API Spec RP 7G (standardy inspekcji i limity obciążeń), API Spec Q1 (zarządzanie jakością w przemyśle naftowym i gazowniczym). Wszystkie dokumenty podlegają okresowym rewizjom i aktualizacji. Branża horyzontalnych wierceń kierunkowych mniej lub bardziej świadomie korzysta z dokumentów API.

Innym przykładem jednostki publikującej normy na poziomie międzynarodowym jest Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna ISO, zrzeszająca ponad 160 krajowych organizacji normalizacyjnych. ISO kojarzone jest najczęściej z systemami zarządzania jakością czy zarządzaniem środowiskowym. W Unii Europejskiej większość norm tworzy się bezpośrednio jako normy EN, a następnie ich odzwierciedleniem są normy na poziomie krajowym. Normy EN są zazwyczaj opracowywane z inicjatywy UE przez europejskie organizacje normalizacyjne CEN i CENELEC. Za przykład kraju o wysokim poziomie rozwoju prawodawstwa w tym zakresie mogą posłużyć Niemcy. DIN – Niemiecki Instytut Normalizacyjny jest odpowiedzialny za publikowanie norm krajowych. Normy DIN są opracowywane i publikowane wspólnie z organizacjami międzynarodowymi jako DIN EN ISO lub DIN EN.

Komercyjne materiały techniczne i katalogi produktów

Jest to kolejna z analizowanych kategorii źródeł informacji. Należy ją traktować jako cenne źródło, gdyż w wielu przypadkach może stanowić bardzo precyzyjną informację o produkcie czy technologii. Może jednak być także zbiorem tak dobranych informacji, aby w oczach klienta stworzyć obraz idealny, często odległy od stanu rzeczywistego. Umiejętność rozdzielania informacji o charakterze czysto marketingowym od rzetelnej wiedzy technicznej wymaga doświadczenia i praktyki w rozpoznawaniu jakości danych.

Witryny internetowe

Wykorzystanie nowych technologii w Internecie zniwelowało wiele z tradycyjnie rozumianych ograniczeń komunikacyjnych. Dotyczy to zarówno treści, czasu, jak i kosztów. Brak dostępu do tradycyjnych źródeł (książki i czasopisma drukowane, konferencje techniczne) może złagodzić w znacznym stopniu Internet. W sieci udostępniane są cyfrowe wersje książek, artykuły, bazy i biblioteki danych, materiały wideo, tematyczne serwisy informacyjne. Dostęp do nich jest względnie łatwy, choć często wymaga wniesienia opłaty za korzystanie z zasobów. Większość materiałów dotyczących sektora wiertniczego i rurociągowego udostępniana jest w języku angielskim i częściowo w niemieckim. W ostatnich kilkunastu latach obserwowana jest tendencja przenoszenia do Internetu publikacji merytorycznych, a nie tylko komercyjnych. Tworzenie dokumentów elektronicznych i wyświetlanie ich w sieci znacząco przyspieszyło przepływ informacji i umożliwiło dostęp do cennych źródeł wiedzy, w praktyce dla każdego zainteresowanego. Postęp, jaki dokonał się w mechanizmach przeszukujących zasoby, pozwolił na precyzyjniejszą selekcję materiałów i intuicyjne poruszanie się po coraz większej bazie danych.

Media społecznościowe

Internet stał się jednym z głównych mediów, źródeł informacji i kanałów komunikacji. World Wide Web to globalna sieć oparta na publicznie dostępnych, otwartych standardach. Idea sieci jest bliska zwłaszcza ludziom młodym, dla których poszukiwane przez nich informacje powinny być dostępne w dogodnym dla nich czasie

i miejscu. Komunikacja w Internecie odbywa się współcześnie już nie tylko za pomocą portali tematycznych, serwisów online, ale także (a może przede wszystkim) za pomocą mediów społecznościowych, takich jak Facebook, Twitter, Instagram czy LinkedIn. Dzięki fenomenowi social mediów ludzie z całego świata mogą łączyć się w grupy osób o podobnych zainteresowaniach, budując dialog i wymieniając się doświadczeniami. Wymiana informacji, zdjęć, filmów przez tego typu kanały komunikacji jest znacznie szybsza niż przy użyciu mediów konwencjonalnych. Informacja o zakończonym projekcie wiertniczym może pojawić się w sieci jeszcze tego samego dnia. Co więcej, można przeprowadzić transmisję na żywo, przekazując zarówno obraz, jak i dźwięk. Poprzez tak zorganizowane społeczności można dystrybuować informacje, zapewniając sobie błyskawiczne nagłośnienie dowolnego wydarzenia (projektu). Informacja opublikowana np. na Facebooku staje się początkiem całego procesu. Może rozprzestrzeniać się drogą wirusową pomiędzy użytkownikami portalu, docierając w krótkim czasie do setek, a nawet tysięcy odbiorców. Media społecznościowe nie nadają się wprawdzie do pozyskiwania bardzo ścisłych informacji. Brak jest bowiem obiektywnej metody dla weryfikacji zamieszczanych treści. Mogą jednak posłużyć jako źródło inspiracji i wskazanie kierunku możliwych działań.

Uwagi końcowe

Nie ulega wątpliwości, że do każdego przywołanego w niniejszym artykule źródła informacji należy podchodzić krytycznie. Z treści publikacji powinniśmy brać pod uwagę tylko fakty i twierdzenia udowodnione. Literatura przedmiotu może być dla nas wskazówką i inspiracją. Traktujmy ją jednak z dużą powściągliwością.

W najbliższych numerach kwartalnika „Inżynieria Bezwypokopowa” zostaną opublikowane kolejne części artykułu. Będą to:

Część 2: Podstawowe zasady – etapy prac. Warunki brzegowe stosowania techniki HDD

Część 3: Weryfikacja założeń projektowych

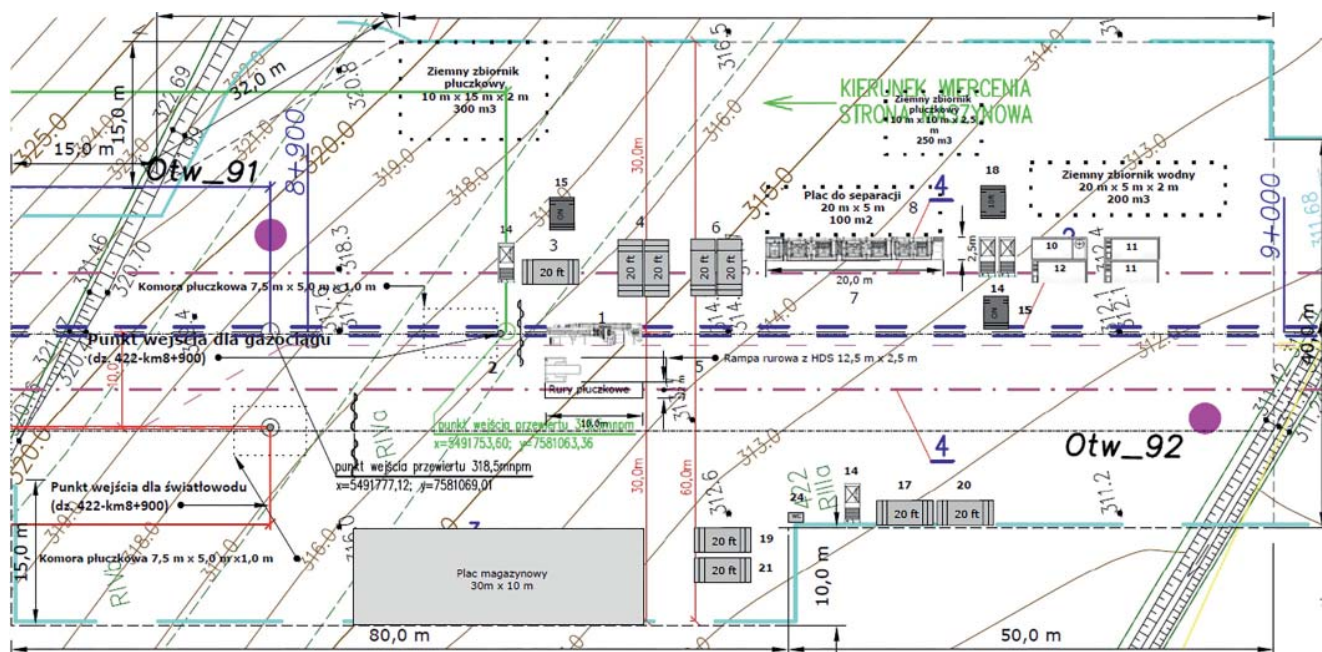
Część 4: Selekcja urządzeń i materiałów

Część 5: Konfiguracja wyposażenia wiertniczego

Część 6: Programy technologiczne i technika wiercenia

Część 7: Dokumentacja i raporty. Wymagania kompetencyjne

Część 8: Zarządzanie projektem. Harmonogram i budżet. 



RYS. 1. Plac zagospodarowania budowy

Planowanie i realizacja projektów HDD

CZĘŚĆ II: PODSTAWOWE ZASADY, ETAPY PRAC, WARUNKI STOSOWANIA TECHNIKI

47 lat temu zrealizowane zostało pierwsze wiertnicze przekroczenie rzeki Pajaro w okolicach Watsonville w Kalifornii. Do tego celu wykorzystano technikę zbliżoną w swej idei do współczesnego HDD. Zainstalowano wówczas 4-calowy stalowy gazociąg na dystansie 180 m. W krótkim czasie technika HDD na tyle ewoluowała, że zrewolucjonizowała rynek budowy rurociągów tak, iż żadna wcześniejsza ani żadna później wdrożona innowacja w zakresie instalacji przewodów podziemnych nie może się z nią równać



Robert Osikowicz

(ur. 1966), absolwent Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Zajmuje się technologią wiercenia otworów kierunkowych i praktycznymi aplikacjami płynów wiertniczych w otworach różnego przeznaczenia. Jest autorem szeregu publikacji dotyczących konfiguracji sprzętu, optymalizacji techniki wiercenia, analiz rynku technologii bezwykopowych, zarządzania jakością i ryzykiem w działaniach wiertniczych, tworzenia harmonogramów i budżetów projektów. Od 2009 r. pracuje dla firmy Robert Osikowicz Engineering. Firma jest członkiem branżowej organizacji wiertniczej Drilling Contractors Association (DCA-Europe).

Historia techniki HDD – kamienie milowe

Kierunkowe wiercenia horyzontalne (ang. *Horizontal Directional Drilling*, HDD) są obecnie podstawową i jedną z najbardziej popularnych bezwypokopowych metod budowy instalacji podziemnych. Jak każda ze stosowanych technik, ma swoją ciekawą historię. 47 lat temu firma Titan Contractors, należąca do Martina Cherringtona, zrealizowała pierwsze wiertnicze przekroczenie rzeki Pajaro w okolicach Watsonville w Kalifornii, wykorzystując technikę zbliżoną w swej idei do współczesnego HDD. Firma zainstalowała w ten sposób 4-calowy stalowy gazociąg dla spółki energetycznej Pacific Gas and Electric Company. Wiarogodne źródła wskazują na dystans 180 m. Inwestor przedsięwzięcia nie miał pewności, czy wiercenie pod dnem rzeki zostanie pomyślnie ukończone. Projekt bowiem nie miał precedensu. Cherrington zaadaptował do prac wiertniczych urządzenie o umiarkowanych gabarytach i masie oraz niewielkiej zainstalowanej mocy. Na prostej ramie o konstrukcji szkieletowej zamontowano napęd do manipulowania przewodem. Zrealizowanie prac zajęło wykonawcy około miesiąca. Jak wspomina wynalazca HDD, posiłkowano się wieloma pomysłami znanymi z wierceń głębokich.

Kilka lat później na rynku amerykańskim pojawiły się pełnowymiarowe urządzenia wykorzystujące przewód wiertniczy z sektora naftowego. Otwory osiągały długości przekraczające 500 m. Szacuje się, że tylko firma Martina Cherringtona wykonała do 1979 r. blisko 40 instalacji. Za najbardziej spektakularną uchodzi przekroczenie kanału żeglownego w Houston dla posadowienia pod jego dnem rurociągu stalowego o średnicy 40" (1016 mm).

Technika HDD zrewolucjonizowała rynek budowy rurociągów tak, że żadna wcześniej ani żadna później wdrożona innowacja nie może się z nią równać. Pomysły, patenty i inne zastrzeżone rozwiązania techniczne Cherringtona pozwoliły uznać *River Crossing* już we wczesnym okresie rozwoju za bardzo perspektywiczną metodę. Wykop otwarty zyskał wówczas realną alternatywę.

Nie mamy pewności, kiedy termin HDD (*Horizontal Directional Drilling*) został przypisany technice wdrożonej przez Cherringtona. Wszystko wskazuje jednak na to, iż w 1984 r., kiedy w Sacramento powstała firma Cherring-

ton Corp., określenie HDD już funkcjonowało i było rozpoznawalne. W drugiej połowie lat 80. XX w. uformowała się czołówka północno-amerykańskiego wiertnictwa kierunkowego: Berco, Laney, Michels, Mears, Canadian Horizontal Drilling.

Pierwsze instalacje miały miejsce w terenach niezabudowanych, jednak wraz ze wzrostem projektów na obszarach miejskich pojawił się problem bezpiecznego i precyzyjnego nawigowania w pobliżu funkcjonujących już instalacji. Pod koniec lat 80. firma Tensor wdrożyła prace nad wynalezieniem wgłębne-go magnetycznego narzędzia pomiarowego, które, jak się okazało, było punktem zwrotnym w modernizacji branży. Dzięki wytworzeniu w powierzchniowej pętli sztucznego pola magnetycznego sonda pomiarowa mogła zostać z dużą precyzją zlokalizowana. Po raz pierwszy wykonawcy mogli zweryfikować położenie narzędzia wierzącego i na bieżąco korygować dane uzyskane z geometrycznych kalkulacji. Wiercenie z możliwością ciągłego pomiaru azymutu i inklinacji otworzyło dla HDD nowe perspektywy i poszerzyło znacząco zakres stosowania. Inwestorzy zaczęli dostrzegać także środowiskowe walory technologii. Już wówczas zauważono, że negatywny wpływ metody HDD na środowisko naturalne okazał się znacząco niższy niż w przypadku metod konwencjonalnych. Podstawowa aplikacja HDD, jaką było początkowo przekraczanie rzek, została poszerzona o instalacje wykonywane pod jeziorami i sztucznymi zbiornikami wodnymi, terenami niedostępnymi, a także o wiercenia prowadzone na styku morza i lądu (linia brzegowa).

Od połowy lat 80. bezwypokopowe projekty wiertnicze tego typu realizowano również w Europie, w Holandii (1984), Niemczech (1986), Wielkiej Brytanii (1987), Francji (1989) i w końcu także w Polsce (1991). W tej dekadzie powstały istotne dla rozwoju branży firmy (lub specjalistyczne dywizje w spółkach rurociągowych), w tym Visser & Smit Hanab, Horizontal Drilling International, Nacap oraz LMR Drilling. Dysponowały one w owym czasie pełnowymiarowymi urządzeniami wiertniczymi (*maxi rig*). Na przełomie lat 80. i 90. pojawili się także pierwsi producenci urządzeń wiertniczych mini i midi (do 500 kN siły ciągnięcia): Tracto-Technik, Vermeer, Ditch Witch. To oni wkrótce wypełnili rynek tysiącami wiertnic mobilnych i kompaktowych, służących głów-

nie do instalacji rurociągów z tworzyw sztucznych na dystansie zwykle nieprzekraczającym 500 m.

We wczesnych latach 80. wykorzystywany sprzęt nie był specjalnie zaprojektowany na potrzeby nowej technologii. Raczej był adaptacją znanych dotąd rozwiązań. Jednak już pod koniec tej dekady sytuacja uległa znaczącej zmianie. Pojawili się pierwsi specjalistyczni producenci skupiający swoje wysiłki na branży HDD i adresujący do niej swoje produkty oraz rozwiązania technologiczne. Powstawały wiertnice kierunkowe o sile ciągnięcia i pchania do około 2500 kN, wysokim, jak na tamte czasy, momencie obrotowym, przewodzie wiertniczym o naftowych rozmiarach oraz narzędzia do poszerzania otworów do średnic sięgających 60" (1524 mm). Zmieniała się skala realizowanych projektów. Na początku lat 90. każdy otwór o długości przekraczającej 1000 m był odnotowywany z uwagą, niezależnie od instalowanej średnicy rurociągu. Po kolejnych 10 latach projekty o tej skali traktowane są już jako standardowe. Firmy zaczęły masowo instalować rurociągi o dużych średnicach, to jest powyżej 40". Pojawiły się skomplikowane projekty morskie (*outfalls*, *landfalls*), jak również projekty wykorzystujące dwa urządzenia wiertnicze i metodę Intersect. Znaczącemu poszerzeniu uległ zakres akceptowanych warunków geologicznych, w których technika HDD mogła zostać wykorzystana. Kiedyś skalne wiercenie było limitowane do skał o wytrzymałości na ścisnienie nieprzekraczającej 100 MPa. Obecnie znanych jest wiele ukończonych projektów przeprowadzonych w ekstremalnie trudno zwiercalnych i abrazyjnych formacjach.

Poza aspektami technicznymi zmieniały się także zasady wyłaniania wykonawców robót oraz zasady zawierania umów i podziału ryzyka. W przeszłości (20 lat temu) firmy zawierały w swojej ofercie także negatywne scenariusze dla projektu. Obecnie, kiedy decydującą rolę odgrywa cena, firmy wyceniają na ogół wariant optymistyczny (co najwyżej neutralny). Bliskie relacje inwestora i wykonawcy robót wiertniczych były korzystne dla obydwu stron. W czasach, kiedy wiedza o HDD była relatywnie skromna i rozproszona, dawało to szansę na wzajemne wsparcie i edukację wszystkich stron procesu inwestycyjnego. Obecnie coraz większą rolę w obszarze technologii odgrywają konsultanci, firmy doradcze i serwisowe.

To one skutecznie aplikują nowe technologie, sprzęt i osprzęt wiertniczy. Doświadczenie spółek serwisowych i zakumulowana wiedza praktyczna w spółkach wiertniczych pozwalają im na realizację coraz to bardziej złożonych przedsięwzięć. Rośnie przy tym świadomość konieczności prawidłowego rozpoznania warunków geologicznych i rola wstępnego etapu inwestycji związanego ze szczegółowym (czasami także wariantowym) planowaniem prac wiertniczych. Przez ponad 40 lat technika HDD w bezprecedensowy sposób ewoluowała, modernizując się, wypracowując wysokie standardy techniczne i znacząco poszerzając zakres swojego stosowania. W tab. 2 wskazano na ponad 100 przełomowych zdarzeń i projektów, które są dowodem na to, że technika HDD zasługuje na miano najistotniejszej bezwykopowej metody budowy podziemnych instalacji.

Standardowe etapy projektu wiertniczego

Niezależnie od skali przedsięwzięcia, w procesie HDD wyróżniamy kilka etapów. Niektóre z nich można pod pewnymi warunkami łączyć lub też pominąć. Wśród wyróżnionych faz znajdują się zarówno czynności przygotowawcze (planowanie, mobilizacja, finalizacja, demobilizacja, analiza powykonawcza), jak i czynności wykonywane w obszarze otworu wiertniczego (wiercenie pilotowe, zapuszczanie/wyciąganie casingu, poszerzanie otworu, marsze kontrolne, instalacja rurociągu). W dalszej części artykułu scharakteryzowane zostaną krótko poszczególne wyodrębnione etapy projektu.

Planowanie (analiza wstępna) – etap niezbędny dla zrozumienia przyjętych do realizacji zadań i wypracowania rozwiązań technologicznych. W ramach analizy wykonalności wybiera się najkorzystniejszą wersję trajektorii, sekwencję procedur technicznych, selekcjonuje się sprzęt i osprzęt wiertniczy niezbędny do wykonania zlecenia, opracowuje się harmonogram prac wiertniczych, szacuje się koszty, poziom ryzyka, przyjmuje się kryteria, według których spółka wiertnicza oceniać będzie skuteczność prowadzonych działań. Wykonawca robót wiertniczych powinien posiadać opracowany plan zagospodarowania placu maszynowego (*rig side*) i rurociągowego (*pipe side*).

Przygotowanie placu budowy

Pierwszym etapem w działaniach polowych jest przygotowanie placów budowy po stronie maszynowej i rurociągowej o adekwatnym do skali projektu rozmiarze. Ich lokalizacja nie powinna negatywnie wpływać na środowisko ani wywoływać konfliktów społecznych. Należy pamiętać, że normą jest prowadzenie robót wiertniczych w trybie ciągłym. Rekomendowane jest określenie potencjalnego oddziaływania wobec mieszkańców najbliższych położonych domów. W przypadku przekroczenia norm hałasu należy ustawić ekrany akustyczne lub też zrezygnować z operacji wiertniczych w porze nocnej. Zorganizowanie terenu budowy dla aplikacji wiertniczych przebiega na podstawie planu wykonalności. W ramach przygotowanej dokumentacji należy wskazać ponadto funkcjonujące drogi dojazdowe lub wytyczyć i zbudować tymczasowe szlaki komunikacyjne o wymaganej jakości. Place maszynowe w razie potrzeby należy utwardzić, odwodnić, wyłożyć płytami betonowymi lub stalowymi. Na terenie placu wiertni powstaną zbiorniki ziemne, służące do deponowania urobku i szlamu wiertniczego, które należy ogrodzić i odpowiednio oznakować. Obowiązkiem wykonawcy jest respektowanie obowiązujących przepisów, norm technicznych i podstawowych zasad BHP. Osoby odpowiedzialne za bezpieczeństwo (lekarz, pogotowie, lokalny szpital, straż poż., policja) powinny zostać wcześniej zlokalizowane, a informacja o nich powinna być umieszczona na tablicy informacyjnej.

Z kolei plac montażowy powinien uwzględnić całkowitą długość zespawanego (zgrzanego) pasa rur, który będzie instalowany w otworze. Ponadto trzeba dokonać jego oceny pod względem ukształtowania terenu oraz np. konieczności wycinki drzew czy występowania istniejącej infrastruktury (np. słupów energetycznych).

Mobilizacja sprzętu, materiałów eksploatacyjnych i personelu – etap związany z dostarczeniem na miejsce budowy wymaganego kontraktem sprzętu wiertniczego, systemów płuczkowych, przewodu wiertniczego, wyposażenia węglbnego. Sprzęt wiertniczy zostanie dostarczony transportem kołowym. W zależności od klasy projektu i ilości zmobilizowanego sprzętu wymagane będzie dostarczenie i rozładowanie od jednego do kilkunastu cięż-

kich transportów na etapie mobilizacji oraz licznych transportów dostarczających materiały pędne i eksploatacyjne (np. materiały płuczkowe). Zakres wyselekcjonowanych urządzeń może się zmieniać w trakcie działań wiertniczych i należy go dostosować do nieco odmiennych wymagań każdego z etapów procesu. Spółka wiertnicza mobilizuje na miejsce projektu kompletną i dobrze wyszkoloną załogę wiertniczą. W razie potrzeby należy zlecić część prac specjalistycznych firmom serwisowym. Rekomenduje się utrzymywanie bezpiecznego zapasu materiałów eksploatacyjnych.

Konstrukcja otworu – istnieją dwa warianty postępowania: prowadzenie całości robót wiertniczych w niezarurowanym otworze lub zabezpieczenie wybranych sekcji otworu stalowymi rurami okładzinowymi. W praktyce stosuje się casingi docelowe o średnicy większej od średnicy największego zaplanowanego w programie narzędzia lub casingi tymczasowe, służące do zabudowania newralgicznych sekcji otworu na czas wiercenia otworu pilotowego. Celem podstawowym zainstalowania w otworze casingu jest zabezpieczenie pierwszej sekcji otworu przed deformacją, zagwarantowanie prawidłowego obiegu płuczki wiertniczej, a także poprawa jakości sterowania dolnym zestawem przewodu, poprzez efektywne obniżenie tarcia w otworze. Średnica wewnętrzna casingu powinna pozwolić na ewentualne wycofanie i zmianę narzędzia pilotowego. Zabudowa w otworze casingu wymaga zaangażowania urządzenia co najmniej klasy maxi. Wyróżnia się casingi spawane, skręcane na połączenia gwintowe lub łączone za pomocą zworników zatraskowych. Zapuszczanie casingu może odbywać się metodą wiertniczą typu wash over, kiedy to casing nakręcany jest z użyciem płuczki wiertniczej na sekcję przewodu wiertniczego. Zastosowanie może mieć również metoda wiercenia na sucho lub wbijania za pomocą urządzeń pneumatycznych.

Wiercenie pilotowe (wiercenie kierunkowe, wiercenie orientowane) – w tej fazie kształtujemy przebieg trajektorii otworu, a w konsekwencji docelowe położenie rurociągu. Z tego względu należy uznać, że jest to krytyczna faza procesu wiertniczego. Otwór wykonywany jest zgodnie z przyjętym do realizacji projektem.

Istotne odstępstwa powinny zyskać akceptację projektanta i nadzoru inwestorskiego. Uwaga ta odnosi się zwłaszcza do zmiany położenia punktów wejścia i wyjścia, zmniejszenia o ponad 20% minimalnych rekomendowanych promieni krzywizny, zmianę długości otworu o ponad 5 m, odejście lewo/prawo od planowanej osi o ponad 2 m, zmianę głębokości głębokiej sekcji otworu o ponad 5 m. Dopuszcza się odstępstwa od zaplanowanego profilu wiercenia, które wynikają z zastanych warunków geologicznych, a które nie zostały dostatecznie rozpoznane na etapie planowania przekroczenia. Technika wiertnicza wynika z posiadanego potencjału technicznego, ze szczegółowej analizy warunków geologicznych, założonej trajektorii otworu oraz doświadczenia spółki wiertniczej. W trakcie wiercenia należy monitorować i rejestrować wszystkie dostępne parametry, a w szczególności: strumień zatłaczanej do otworu płuczki, obroty narzędzia i/lub przewodu wiertniczego, ciśnienie tłoczenia płuczki, ciśnienie denne w przestrzeni pierścieniowej otworu, siłę pchania/ciągnięcia, moment obrotowy na przewodzie wiertniczym (*off bottom*) i moment obrotowy w trakcie pracy na spodzie otworu (*on bottom*). Ponadto należy rejestrować mechaniczny postęp wiercenia oraz aktualną pozycję narzędzia względem zaplanowanej trajektorii. Zmiany inklinacji i azymutu dokonywane są dzięki krzywemu łącznikowi lub asymetrycznej konstrukcji narzędzia wiertniczego.

Średnica otworu pilotowego waha się od 5" (127 mm) w przypadku małych urządzeń wiertniczych do około 20" (508 mm) w przypadku największych wiertnic HDD. W formacjach miękkich otwór wykonywany jest techniką wypłukiwania, urabiania dna otworu strumieniem płuczki. Formacje zwięzłe (ilaste o wysokim stopniu kohezji lub lite skały o znaczącej wytrzymałości mechanicznej), przewierca się przy użyciu silnika wgłębnego ze świdrem trójgryzowym. Jak już wspomniano, narzędzia stosowane do wiercenia pilotowego mają charakter asymetryczny. Asymetria (zdolność do odchyłania osi otworu) może polegać także na umieszczeniu w narzędziu dyszy kierunkowej odchylającej strugę płynu od osi wyznaczonej przez przewód wiertniczy. Przewód wiertniczy obracany jest w prawo dla zorientowania narzędzia lub dla utrzymania dotychczasowego kierunku wiercenia. Dla uzyskania zmian ką-

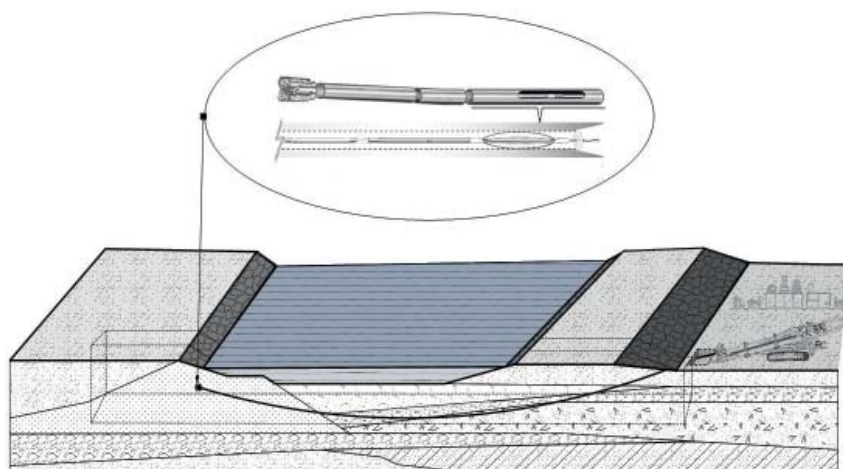
towych (zarówno w obszarze inklinacji, jak i azymutu) przewód jest wypychany w głąb otworu bez rotacji. Pozycja narzędzia pod ziemią jest określona za pomocą grupy sensorów umieszczonych w dolnej części przewodu. System nawigacji wykorzystuje pole magnetyczne i pole grawitacyjne ziemi. Sygnał z sondy pomiarowej przekazywany jest przez kabel montowany wewnątrz przewodu wiertniczego do interfejsu inżyniera prowadzącego nawigację.

Wymagana dokładność systemu nawigacji i jego podatność na zakłócenia muszą być brane pod uwagę i analizowane na etapie selekcji oraz planowania. W przypadku rurociągów z tworzyw sztucznych i rurociągów stalowych o średnicy do 12" (305 mm) dopuszcza się stosowanie radiowych systemów lokalizacji. Dla rurociągów stalowych o większych średnicach rekomenduje się stosowanie magnetycznych systemów nawigacji MGS (klasy Paratrack) lub systemu GST bazującego na żyrokompasie. System MGS dysponuje dodatkowym elektromagnetycznym układem pomiarowym w postaci pętli kablowej, dającym możliwość weryfikacji i doprecyzowania wskazań systemu wgłębnego. Należy przewidzieć w projekcie miejsce na rozłożenie pętli pomiarowej o szerokości dwukrotnej głębokości otworu, przy czym jeden z boków pętli układany jest wzdłuż osi realizowanego przekroczenia. Wybrany system nawigacji powinien umożliwić osiągnięcie punktu wyjścia z akceptowalną dokładnością, przy zachowaniu pozostałych parametrów trajektorii otworu (głębokość,

promień krzywizny). Systemy magnetyczne i żyrokompasowe mogą być stosowane na głębokościach przekraczających nawet 100 m. Zasięg systemów radiowych ograniczony jest zwykle do około 20 m. W bardziej zaawansowanych systemach dostępne są także informacje o rzeczywistym ciśnieniu panującym na dnie otworu. Kontrola ciśnienia dennego (zarówno w warunkach dynamicznych, jak i statycznych) i porównywanie go z estymowanym ciśnieniem dopuszczalnym to jedna z podstawowych zasad, jakimi kieruje się branża wierceń kierunkowych HDD.

Metoda Intersect – jedną z technik (procedur), które nadały HDD nowy wymiar, jest instalacja typu Intersect (*Meeting in the Middle*). Dzięki niej realizuje się coraz dłuższe i bardziej złożone projekty. Metoda polega na jednoczesnym wierceniu dwóch otworów pilotowych, których trajektorie przecinają się w wyznaczonym miejscu na głębokości kilkunastu, kilkudziesięciu metrów pod ziemią. Do spotkania przewodów dochodzi najczęściej w sekcji poziomej lub sekcji o stałej inklinacji. Długość odcinka otworu, w obrębie którego dokonuje się wzajemnego naprowadzania zestawów wiertniczych, liczy na ogół kilkadziesiąt metrów. W zależności od przyjętej techniki wiercenia (*jetting drilling* lub *motor drilling*) można zastosować dwie podziemne metody naprowadzania: *rotating magnet* lub *axial magnet*.

Axial magnet jest systemem o zasięgu około 5 m, dlatego ta metoda jest wykorzystywa-



RYS. 2. Pilot

na w trybie wiercenia hydromonitorowego (*jetting assembly*). Łącznik magnetyczny jest zlokalizowany nad świdrem. Pomiar dystansu pomiędzy dolnymi zestawami możliwy jest dzięki przesuwaniu się łącznika wzdłuż równolegle umieszczonej sondy pomiarowej. Rekomendowane jest, aby pomiar był weryfikowany także przez pętlę powierzchniową.

Rotating magnet jest systemem o zasięgu do 20 m. Wykorzystywany jest przy projektach aplikujących silnik węglany (*motor assembly*) do drążenia otworu lub też wtedy, kiedy użycie powierzchniowej pętli nad obszarem Intersect jest niemożliwe. Jest to również system, który dokonuje pomiaru w trakcie przesuwania jednego przewodu względem drugiego (*pass-by system*). W wyniku pomiaru otrzymujemy nie tylko odległość, ale też dokładne wskazania azymutu i inklinacji. Po uzyskaniu dokładnego wskazania odległości, kierunku i pochylenia, dłuższy przewód steruje w kierunku krótszego otworu, który jest dla niego celem. Po fizycznym połączeniu się otworów wykonuje się też mechaniczne sprawdzenie kontaktu dwóch świdrów. Po tym zdarzeniu krótszy przewód jest wycofywany na powierzchnię, a w jego miejsce wprowadzany jest dłuższy przewód operowany przez podstawowe urządzenie wiertnicze. Zaleca się pozostawienie niewielkiego dystansu pomiędzy świdrami w trakcie operacji zapuszczania/wyciągania, tak aby nie spowodować ryzyka utracenia (zagubienia) otworu. Ostatecznie w otworze znajduje się jeden zintegrowany przewód wiertniczy. Przechodząc do fazy poszerzania otworu, można

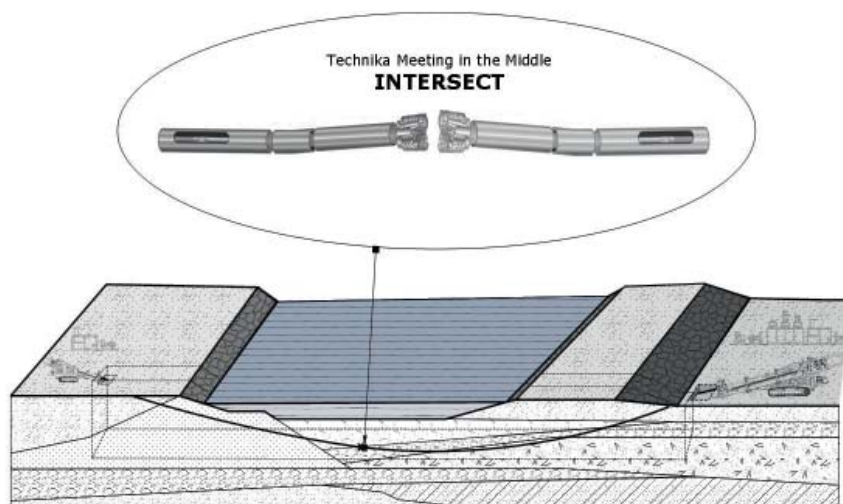
wykorzystać obydwa urządzenia, z których jedno pełni funkcję główną (ciągnie narzędzie i nadaje mu odpowiednią prędkość obrotową), a drugie spełnia funkcję pomocniczą, polegającą na dokładaniu elementów przewodu wiertniczego, napinaniu przewodu i asekuracji narzędzi.

Jak wynika z powyższej analizy, do prawidłowego zastosowania techniki HDD Intersect wymagane są: dwa urządzenia wiertnicze klasy maxi lub mega, dwa rozbudowane systemy płuczkowe, podobne średnice otworów pilotowych, system nawigacji magnetycznej Paratrack 2 lub nawigacji żyrokompasowej GST Radar, dokładna analiza geologiczna dla ustalenia optymalnego miejsca spotkania, a także wykorzystanie tymczasowego orurowania otworu (*casing*) po obydwu stronach przekroczenia.

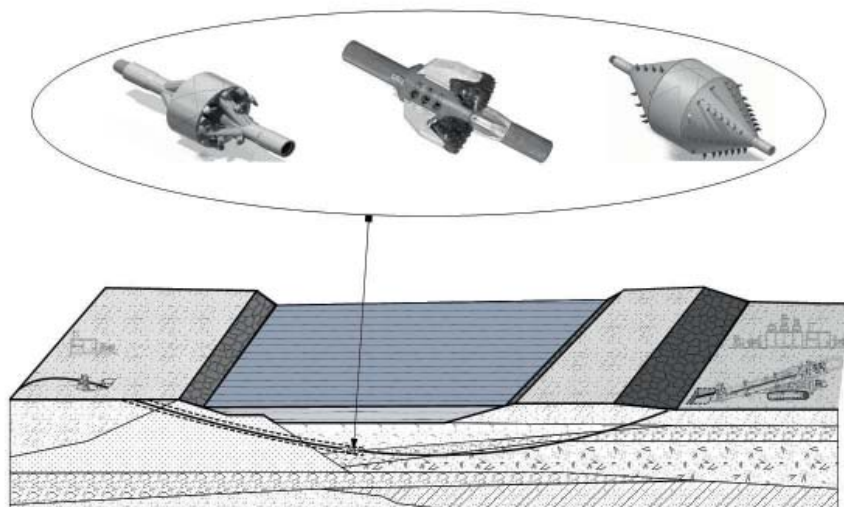
Poszerzanie otworu – etap następujący bezpośrednio po zakończeniu wiercenia pilotowego. Celem tej operacji jest osiągnięcie stabilnego otworu o średnicy większej od średnicy zaprojektowanego rurociągu. Pole przekroju poprzecznego otworu powinno przewyższać o kilkadziesiąt procent pole przekroju rury. Szczegółowe wytyczne w tym zakresie można znaleźć w wielu fachowych publikacjach. Narzędzia służące do poszerzania zastępują narzędzia pilotowe. Na tym etapie projektu przewód wiertniczy poddawany jest permanentnie prawej rotacji. Prędkość obrotowa jest uzależniona od rodzaju i średnicy zastosowanego narzędzia. Jeśli to możliwe, poszerzanie

powinno zostać wykonane w sposób konwencjonalny, to jest od punktu wyjścia w stronę wiertnicy metodą „ciągnąc” (*pull reaming*). Pod pewnymi warunkami dopuszcza się wykonanie pierwszego marszu poszerzającego w kierunku przeciwnym: od punktu wejścia do punktu wyjścia (*push reaming*). Warunkowane jest to jednak geometrią i jakością stosowanego przewodu wiertniczego oraz lokalnymi warunkami geologicznymi. Selekcja i konfiguracja narzędzi jeśli ściśle związana z typem przewiercanej formacji oraz dostępnymi parametrami systemu wiertniczego. Rekomendowane jest, aby finalna średnica otworu została osiągnięta w trakcie jak najmniejszej ilości marszy poszerzających. Narzędzia poszerzające powinny posiadać co najmniej przednią, a w pewnych sytuacjach także tylną stabilizację. Geometria (średnica, długość) i ilość centralizatorów powinna wynikać z doświadczenia spółki wiertniczej. Narzędzia wierzące należy tak skonfigurować, by były skorelowane z warunkami geologicznymi, geometrią otworu pilotowego, hydrauliką otworową i dostępnym momentem obrotowym. Podobnie zresztą, jak technika wiercenia (nacisk, obroty przewodu i strumień płuczki). Postęp wiercenia powinien pozostawać w zakresie bezpiecznym i uwzględniać dopuszczalną wartość fazy stałej w płuczce wiertniczej, przy której możliwe jest zachowanie prawidłowego obiegu płuczki w otworze. Rekomenduje się, aby na etapie poszerzania otworu utrzymywać zintegrowany przewód wiertniczy od punktu wejścia do punktu wyjścia. Nie zaleca się procedur nieprzewidujących dokręcania przewodu wiertniczego za narzędziem (grupą narzędzi). Obecność przewodu wiertniczego w całym otworze znacząco podnosi bezpieczeństwo prowadzonych prac, zwiększa skuteczność usuwania zwiercin z otworu, a także zapobiega deformacjom trajektorii.

Operacja poszerzania i czyszczenia otworu prowadzona jest do momentu uzyskania adekwatnego marginesu bezpieczeństwa dla planowanej instalacji. Co prawda, większość projektów zakłada poszerzenie otworu przed rozpoczęciem fazy instalacyjnej, jednak w przypadku nieskomplikowanych przypadków spotyka się rozwiązanie typu „poszerzaj i instaluj w jednym kroku”. Podobnie jak w fazie wiercenia pilotowego, także na etapie poszerzania otworu kluczową rolę odgrywa płyn wiertniczy. Jest nim na ogół suspensja



RYS. 3. Pilot INTERSECT



RYS. 4. Poszerzanie

wyprodukowana na bazie bentonitu, której parametry fizyczne i chemiczne powinny zostać określone w programie technologicznym. Prawidłowe zaprojektowanie i bieżący monitoring płynu wiertniczego znacząco obniża ryzyko występowania komplikacji i problemów technicznych w otworze. Do podstawowych funkcji płynu wiertniczego należą: dostarczanie mocy hydraulicznej na spód otworu, oczyszczanie czoła narzędzia, transport zwiercin, odprowadzenie ciepła, utrzymywanie tarcia w otworze na umiarkowanym poziomie. Strumień tłoczony do otworu płuczki pozostaje w ścisłej relacji do średnicy i długości otworu. Zawartość fazy stałej w szlamie wiertniczym waha się od kilku do około 20% objętościowo.

Marsz kontrolny (kalibracja otworu) – jest to marsz techniczny, w trakcie którego nie dochodzi teoretycznie do urabiania formacji. Tego typu operacje rekomendowane są bezpośrednio przed instalacją rurociągu o znaczącej średnicy (od 500 mm wzwyż). Możliwe jest również wykonywanie marszy kontrolnych pomiędzy kolejnymi etapami poszerzania otworu. Średnica baryłkowych narzędzi kalibrujących i ewentualne dystanse pomiędzy nimi są uzależnione od parametrów trajektorii otworu i typu formacji geologicznej. Marsz kalibrujący pozwala uzyskać istotne informacje o jakości otworu i jest jednym z najlepszych źródeł dla oceny jego przydatności do dalszych prac. W trakcie marszy sprawdzających jakość otworu monitoruje się moment obrotowy

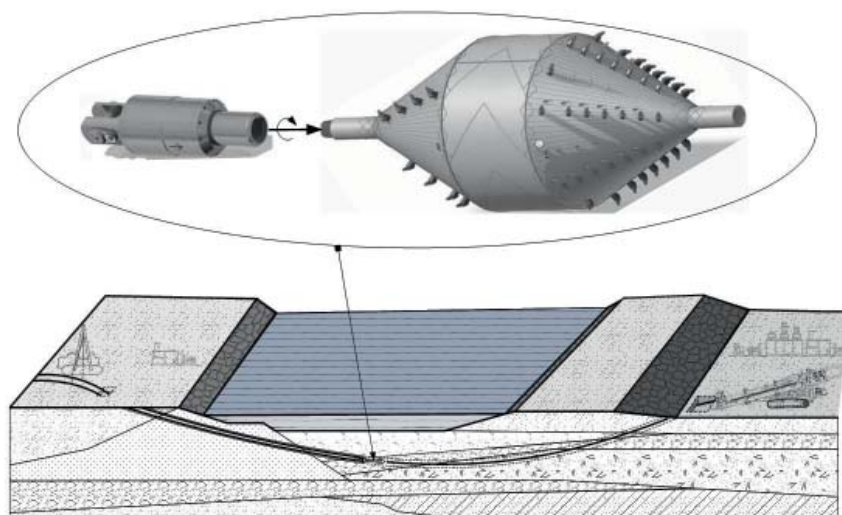
w funkcji prędkości przesuwania się narzędzia w otworze. Jako opcjonalne rozwiązanie należy wskazać na użycie basket reamerów służących do mechanicznego usuwania kamieni lub innych obiektów o znaczących rozmiarach, niekwalifikujących ich do transportu hydraulicznego.

Montaż rurociągu (wiązki rurociągów) – rurociąg powinien zostać przygotowany (o ile to możliwe) w jednym wymaganym odcinku. Prefabrykacja odbywa się po stronie punktu wyjścia (*pipe side*). Musi ona zostać ukończona przed rozpoczęciem procesu instalacji (wciągania rurociągu do otworu). W zależności od użytego materiału, rury są spawane (stal), zgrzewane (PE, specjalne odmiany PVC) lub łączone poprzez zworniki (żeliwo sferoidalne). Stalowe rurociągi przeznaczone do transportu gazu, ropy czy innych paliw ze względu na specyfikę swojego przeznaczenia wyposażone są w zewnętrzną wielowarstwową izolację oraz poddawane ustandaryzowanym próbom szczelności, wytrzymałości i testom stresowym. Jednak dominującym i najpowszechniej wykorzystywanym materiałem, z którego prefabrykuje się rurociągi dla techniki HDD, jest polietylen, co wiąże się z łatwością w jego stosowaniu oraz z relatywną odpornością na naprężenia występujące w trakcie instalacji. Rury o małych średnicach mogą być dostarczane na teren budowy w postaci kręgów, natomiast rury o większych średnicach transportowane są w odcinkach i zgrzewane bezpośrednio na miejscu realizacji projektu.

Technika zgrzewania pozwala na uzyskanie połączeń równie wytrzymałych, co calizna rury. Polietylen cechuje doskonała odporność na korozję, działanie bakterii czy oddziaływanie agresywnych substancji chemicznych. Jako materiał ośmiokrotnie lżejszy od stali nie wymaga zwykle zaangażowania ciężkiego sprzętu budowlanego, w tym zwłaszcza dźwigów bocznych stosowanych powszechnie podczas instalacji rurociągów stalowych. Parametry techniczne rurociągu, w tym materiał, grubość ścianki i typ izolacji powinny być precyzyjnie określone przez projektanta. W przypadku technologii HDD ważne jest zastosowanie rur grubościennych, wzmocnionych izolacji fabrycznych oraz dodatkowych powłok ochronnych (np. z laminatu epoksydowo-szklanego). W projekcie budowlanym powinna znaleźć się analiza złożonego stanu naprężeń, w jakim znajduje się rurociąg podczas procesu zabudowy w otworze wiertniczym.

Instalacja rurociągu – to ostatnia faza procesu konstrukcyjnego HDD. W przypadku potwierdzenia odpowiedniej do klasy projektu jakości otworu rurociąg zostaje dopuszczony do instalacji. Rurociągi stalowe i większe rurociągi z tworzywa sztucznego powinny być umieszczone na podporach (rolkach) o odpowiedniej nośności. W przypadku rurociągów stalowych zaleca się, aby sekcja wejściowa (*overbend*) została przygotowana na ruchomych zawieszach rolkowych. Na ogół wymagane jest zastosowanie od dwóch do sześciu takich zawiesi. Podtrzymywanie zawiesi w określonej pozycji należy powierzyć dźwigom o odpowiedniej sile i wysokości podnoszenia. Instalacja odbywa się na ogół w kierunku przeciwnym do kierunku wiercenia pilotowego. Znane jednak są także przypadki zapuszczania rurociągu do otworu od strony punktu wejścia, np. projekty związane z pokonywaniem linii brzegowej (projekty morskie).

Podczas tej fazy prac rurociąg jest połączony z przewodem wiertniczym za pomocą narzędzia prowadzącego oraz łącznika obrotowego. Łącznik ten – krętlik, zapobiega przenoszeniu ruchu obrotowego przewodu wiertniczego na instalowany rurociąg. Rekomenduje się, aby instalacja rurociągu odbyła się w jednym odcinku. Jeśli jednak z powodu braku wymaganej ilości miejsca na jego prefabrykację jest to niemożliwe, instalacja może odbyć się w kilku etapach. Niezbędna jest przy tym pełna kon-



RYS. 5. Instalacja

trola nad zachowaniem się rurociągu w otworze i zdolność do uruchomienia rurociągu po przerwie niezbędnej dla zespawania (zgrzania) kolejnego odcinka rury.

Rurociąg powinien być poddany minimalnym możliwym wyężeniem dla zapewnienia bezpiecznej i długoletniej eksploatacji. Rekomendowane jest, aby dla zminimalizowania tarcia, wywołanego przez siły kontaktowe działające pomiędzy rurociągiem a ścianą otworu, wewnątrz rurociągu było balastowane płynem. Wyróżnia się przy tym balastowanie całkowite i balastowanie selektywne. W tym drugim przypadku do rurociągu podstawowego wprowadzana jest komora wypornościowa wykonana z polietylenu. Płyn balastujący wypełnia wówczas wnętrze komory wypornościowej, natomiast przestrzeń międzyrurowa pozostaje pusta. Zaleca się, aby balast wodny wtłoczony był tylko do sekcji znajdującej się pod powierzchnią terenu (pod lustrem płuczki). Ilość wtłoczonej wody powinna być na bieżąco monitorowana i dostosowana do postępu instalacji. Odrębnego przygotowania wymagają instalacje rurociągów z tworzyw sztucznych o średnicach przekraczających 500 mm. Optymalnym rozwiązaniem w takim przypadku jest balastowanie rurociągu szlamem wiertniczym wypełniającym otwór. Płyn wiertniczy przedostaje się do wnętrza instalowanej rury przez otwory w niej wycięte.

Demobilizacja – są to wszystkie czynności mające przywrócić teren objęty praca-

mi konstrukcyjnymi do stanu pierwotnego. W ramach tych prac kluczowy jest demontaż zaangażowanego sprzętu wiertniczego wraz z infrastrukturą rurociągową i kablową, usunięcie czasowych konstrukcji (np. barierek) oraz utylizacja urobku i szlamu wiertniczego. W przypadku zaistnienia technicznych możliwości płuczka wiertnicza może zostać użyta w kolejnym projekcie. Zaleca się, aby wszelkie prace związane z przywróceniem terenu po inwestycji były konsultowane na bieżąco z zarządcami terenu. Drogi dojazdowe należy przywrócić do stanu pierwotnego. Właściwy stan terenu i przynależnych instalacji powinien zostać potwierdzony sporządzonym przez strony protokołem odbioru.

Finalizacja (odbioru, przekazanie instalacji) – po skutecznym zainstalowaniu rurociągu powinno nastąpić odłączenie od niego elementów przewodu wiertniczego, usunięcie z jego wnętrza płynu balastującego, ewentualnie usunięcie komór wypornościowych. Po oczyszczeniu i wysuszeniu podziemnej instalacji rurociąg poddawany jest wymagającym testom, w tym m.in. badaniu jakości izolacji (rezystancji) czy badaniu szczelności. Spółka wiertnicza przekazuje swojemu klientowi dokumentację powykonawczą przeprowadzonych robót, w tym rysunki potwierdzające przebieg instalacji. Następnie zostają podpisane niezbędne i wymagane kontraktem protokoły odbioru. Odbiór techniczny polega na sprawdzeniu zgodności wykonanych prac z umową. Jest

przeprowadzany przez wykonawcę i zamawiającego po zakończeniu prac oraz wykonaniu wymaganych lub niezbędnych pomiarów, prób i badań.

Analiza postprojektowa

Projekty realizowane metodą HDD to w znacznym stopniu złożone i niepowtarzalne przedsięwzięcia. Zarządzanie nimi w sposób profesjonalny i zgodny z zasadami sztuki inżynierskiej staje się więc koniecznością. Wraz z ukończeniem kolejnego projektu powinny wzrastać zasoby doświadczeń zgromadzone w firmie wiertniczej. Byłby to stan idealny. Niestety, znaczna część zgromadzonych informacji i danych ulega rozproszeniu po zakończeniu zadania i nie jest w praktyce wykorzystywana w przyszłych projektach. Szwankuje tutaj przede wszystkim metoda archiwizowania danych i przygotowywania raportów końcowych, podsumowujących w sposób syntetyczny całość przeprowadzonych działań. Większość firm nie ma opracowanej strategii postępowania wobec gromadzonych w wyniku działań nad projektem zasobów. Można nawet postawić tezę, że te podmioty, które posiadały umiejętność zachowywania wiedzy projektowej i powtórnego (wielokrotnego) jej wykorzystania, są obecnie liderami na rynku. Ich przewaga wynika nie tylko z posiadanego sprzętu, ale też z umiejętnego adaptowania i wykorzystania wiedzy oraz nieustannego dążenia spółki wiertniczej do uczenia się tego, jak zbudować i utrzymać w dłuższym okresie przewagę nad konkurencją.

Zespół realizujący projekt powinien systemowo przyswajając i gromadzić nową wiedzę (doświadczenia, spostrzeżenia i wnioski). Można wyróżnić przy tym doświadczenia wynikające z zarządzania procesem oraz doświadczenia techniczne odnoszące się np. do technologicznych aspektów projektu. Obserwacja działań w trakcie projektu może wykazać przykładowo, że istnieją obszary, w których wiedza i kompetencje firmy powinny zostać uzupełnione. Można to osiągnąć za pomocą dodatkowych szkoleń lub poprzez współpracę z firmami eksperckimi. Zakończenie projektu powinno doprowadzić nie tylko do jego skonsolidowania w postaci otrzymanego wynagrodzenia i uwolnienia zaangażowanych zasobów technicznych. Należy także umiejętnie dokonać jego podsumowania z dokładną analizą zgromadzonych danych i doświadczeń. Szczę-

gólną uwagę trzeba poświęcić ocenie zdarzeń negatywnych, do których doszło w trakcie realizacji zadania, w tym komplikacji i awarii wiertniczych. Przedmiotem postprojektowej oceny są także zastosowane rozwiązania technologiczne, porównanie założonego harmonogramu i estymowanego budżetu z wynikami rzeczywistymi. Umiejętne gromadzenie firmowych doświadczeń umożliwia budowę własnej i niepowtarzalnej bazy danych, nieodzwierciedlonej w planowaniu przyszłych projektów.

Analiza wielokryterialna warunków stosowania techniki HDD

HDD charakteryzuje się wieloma niekwestionowanymi zaletami nie tylko wobec konwencjonalnych technik budowy z użyciem wykopów liniowych, ale także wobec innych metod bezwypokopowych. Analiza wielokryterialna to metoda wspomagająca proces decyzyjny. Wykorzystywana jest do oceny i wyboru optymalnego rozwiązania spośród analizowanych alternatywnych wariantów. Analiza tego typu pomaga w ocenie projektów z różnych punktów widzenia. Celem tego typu analizy jest wybór rozwiązania optymalnego (techniki) według różnych kryteriów, często trudno porównywalnych ze sobą, a mających znaczący wpływ na realizację i funkcjonowanie danego projektu. Decyzja dotycząca zastosowania konkretnego rozwiązania technologicznego dla planowanego przedsięwzięcia wymaga przeanalizowania wielu (kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu) czynników technologicznych, geotechnicznych, środowiskowych, specyficznych uwarunkowań lokalnych. Jej uzupełnieniem powinna być staranna analiza ekonomiczna.

Zagadnienie wyboru metody i oceny projektów inwestycyjnych (ze względu na ich złożoność) jest działaniem trudnym i niezwykle żmudnym. Ocenę taką przeprowadza się m.in. w celu wyboru najlepszego spośród różnych wariantów rozwiązań, np. systemowych, konstrukcyjnych, technologicznych czy organizacyjnych, opisanych poprzez wskaźniki techniczno-ekonomiczne wyrażone w określonych jednostkach. Trudność tego zagadnienia polega m.in. na właściwym określeniu kryteriów oceny walorów technicznych danego rozwiązania, które powinny być sformułowane i zdefiniowane w sposób jasny i czytelny.

Poniżej poddano ocenie w skali od 1 do 5 przydatność i uniwersalność techniki HDD w kontekście przykładowych czynników (parametrów) wpływających na wybór metody konstrukcyjnej, przy czym 5 oznacza ocenę bardzo dobrą.

Typy instalacji – zasadniczo możliwe są trzy rodzaje instalacji HDD: pomiędzy dwoma punktami zlokalizowanymi na lądzie, pomiędzy lądem i wodą oraz pomiędzy dwoma punktami na wodzie. Przypadek pierwszy dotyczy ponad 95% projektów. Przekraczamy rzeki, jeziora, zatoki morskie, linie kolejowe, drogi, pasy startowe lotnisk, tereny bagienne, obszary silnie zurbanizowane, tereny bagienne, obszary chronione lub takie, do których dostęp jest utrudniony. Pod pewnymi warunkami można wykorzystać HDD do wykonywania instalacji liniowych zastępujących jeden do jednego otwarty wykop. *Ocena dla technologii: 5.*

Przeznaczenie instalacji – co do zasady przedmiotem instalacji mogą być: pojedynczy rurociąg, wiele rurociągów lub wiązka kabli. Zabudowywane rurociągi mogą służyć do transportu mediów (gaz, ropa, paliwa, woda, ścieki) lub też być obudową dla kabli światłowodowych, kabli energetycznych lub innych instalacji rurowych. Najczęściej stosowanym więc podziałem jest wyróżnienie instalacji rurociągów ciśnieniowych i rurociągów osłonowych. Spotykane są też przypadki jednoczesnej zabudowy dwóch współosiowych rurociągów. *Ocena dla technologii: 5.*

Ilość etapów wśród operacji wiertniczych – co najmniej dwa: wiercenie pilotowe i instalacja rurociągu. Etapy związane z poszerzaniem otworu i jego kalibracją można uznać za opcjonalne. *Ocena dla technologii: 4.*

Długość pojedynczej instalacji – zakres długości możliwych instalacji jest najszerszym ze wszystkich bezwypokopowych technik wiertniczych. Dla urządzeń kompaktowych limit techniczny wynosi około 1000 m, natomiast dla urządzeń pełnowymiarowych potencjalny zasięg pojedynczego urządzenia wiertniczego przekracza nawet 2500 m. Zastosowanie techniki Intersect pozwala myśleć o instalacjach o długości sięgającej 5 km. *Ocena dla technologii: 5.*

Materiał rurociągu – technologia akceptuje rurociągi wykonane z różnych materiałów, począwszy od stali, poprzez tworzywa sztuczne, takie jak polietylen czy zgrzewalne PVC, a na żeliwie i rurach hybrydowych kończąc. Nie ma innej metody bezwypokopowej, która jest w stanie zabudować pod ziemią tak skrajnie odmienne typy. *Ocena dla technologii: 5.*

Geometria rurociągu – dzięki technice możemy bezpiecznie zabudowywać rurociągi stalowe i z tworzyw sztucznych do średnicy około 1400 mm metodą „ciągnąc” i rurociągi stalowe do średnicy około 600 mm metodą „pchając”. *Ocena dla technologii: 4.*

Geometria otworu – znane są przypadki poszerzenia otworu w warunkach gruntów niespoistych do średnicy około 1800 mm, a dla litych formacji skalnych do średnicy około 1600 mm. *Ocena dla technologii: 4.*

Instalacje wielorurkowe w jednym otworze – technika umożliwia umieszczenie w pojedynczym otworze kilku, a nawet kilkunastu rur. Rozmiar otworu musi uwzględnić ekwiwalentną wartość pola przekroju wszystkich rur. Materiał rur może być jednolity, można też instalować w jednym otworze rury wykonane z różnych materiałów. *Ocena dla technologii: 5.*

Głębokość posadowienia instalacji – parametr ten związany jest ściśle ze stosowanym systemem nawigacji (lokalizacji) i geometrią otworu. Dostępny zakres głębokości waha się od 20 m (dla systemów radiowych) do ponad 100 m dla systemów magnetycznych i żyrokompasowych. Im dłuższy otwór, tym większa wymagana głębokość wiercenia. *Ocena dla technologii: 5.*

Przykrycie pod newralgiczną przeszkodą – rekomendacje techniczne opracowane dla HDD wymagają, aby przykrycie w sekcji głębokiej otworu było co najmniej 10 x większe niż średnica zaprojektowanego rurociągu. Nadzrędnym wymaganiem jest jednak równoważenie ciśnienia wewnętrznego panującego w otworze przez warstwy nadległe (nadmokre). Różnica pomiędzy ciśnieniem dopuszczalnym a ciśnieniem dennym nie powinna być mniejsza niż 0,5 bara. *Ocena dla technologii: 4.*

Kąty wejścia i wyjścia – wymagany minimalny kąt wejścia dla większości urządzeń wiertniczych dostępnych na rynku wynosi około 8°. Kąt maksymalny nie jest precyzyjnie ustalony i jest ściśle związany z konstrukcją maszyny wiertniczej. Znane są przypadki projektów, dla których kąty wejścia przekraczają 30°. Rekomendowany kąt wyjścia zawiera się w przedziale od kilku do kilkunastu stopni i jest warunkowany średnicą oraz materiałem zastosowanego rurociągu. *Ocena dla technologii: 4.*

Różnica rzędnych pomiędzy wejściem i wyjściem – znacząca różnica elewacji skutkuje pustą (pozbawioną płuczki) sekcją otworu. W przypadku występowania w tym obszarze gruntów niespoistych lub wręcz nienośnych należy zastosować środki zaradcze zapewniające stateczność ściany (casing, iniekcje cementowe). *Ocena dla technologii: 3.*

Zdolność do wykonywania zabiegów uszczelniających – w przypadkach osiadania gruntu lub ryzyka migracji wody przez otwór, lub jeżeli różnica poziomów pomiędzy punktem wejścia lub wyjścia jest bardzo duża, albo jeśli przekraczane są specyficzne konstrukcje (szlaki kolejowe, wały przeciwpowodziowe itp.), przestrzeń pierścieniowa pomiędzy ścianą otworu i rurociągiem powinna być wypełniona zaczynem cementowym lub łożowocementowym. Materiał izolacyjny musi trwale i równomiernie łączyć się ze ścianą otworu, jednolicie wypełniając przestrzeń pozarurową. Zabiegi uszczelniające mogą być wykonywane w trakcie robót wiertniczych dla uszczelniania stref chłonnych i utrzymywania prawidłowego obiegu płuczki w otworze. *Ocena dla technologii: 4.*

Dokładność systemów nawigacji – stosowane powszechnie systemy MGS oraz GST pozwalają bardzo skutecznie skontrolować przebieg trajektorii w stopniu doskonałym i dającym gwarancję instalacji sztywnych rur stalowych o dużych średnicach. *Ocena dla technologii: 5.*

Pojemność otworu w stosunku do objętości rurociągu – zakres parametru overcut (stosunek średnicy otworu do średnicy zewnętrznej rurociągu) mieści się w zakresie od 1,25 do 1,5. *Ocena dla technologii: 4.*

Konsumpcja wody i materiałów płuczkowych – zużycie wody jest warunkowane wieloma czynnikami: geometrią otworu, warunkami geologicznymi, jakością zastosowanych elementów w układzie płuczkowym. Dla projektów realizowanych z zamkniętym obiegiem płuczki konsumpcja wody technologicznej mieści się w przedziale od 1,5 do 3 objętości wywierconego otworu. *Ocena dla technologii: 4.*

Warunki utylizacji urobku i szlamu – współczesna technika HDD pozwala na znaczące ograniczenie ilości deponowanego urobku i szlamu dzięki wykorzystaniu nowoczesnych metod rozdziału faz i odwadniania (zestawiania) odpadów. Płuczki wiertnicze stosowane w branży HDD bazują na certyfikowanych materiałach spełniających rygorystyczne normy i wymagania środowiskowe. *Ocena dla technologii: 5.*

Instalacje grawitacyjne – pod pewnymi warunkami technikę można stosować dla budowy instalacji grawitacyjnych. W zależności od zaprojektowanego spadku i zastanych warunków geologicznych można osiągnąć dystans przekraczający 1 km. *Ocena dla technologii: 3.*

Geologia – wiercenie otworu jest wykonalne w zdecydowanej większości warunków geologicznych. Istnieje przy tym cała gama zabiegów technologicznych, dzięki którym można neutralizować potencjalne problemy wynikające ze specyfiki przewiercanych warstw. Możemy zaliczyć do nich: inhibicję płuczki (formacje ilaste), zapuszczanie casingu (grunty nienośne), stabilizujące iniekcje cementowe (żwiry), marsze czyszczące ze specjalnymi narzędziami (usuwanie kamieni). *Ocena dla technologii: 4.*

Woda gruntowa – obecność wody gruntu nie jest czynnikiem wykluczającym lub w znaczącym stopniu utrudniającym przygotowanie otworu i wykonanie instalacji. Stabilność otworu jest ściśle powiązana z obecnością lepkiej płuczki w otworze, która stabilizuje ścianę, zapobiegając migracji wody do wnętrza podziemnego tunelu. *Ocena dla technologii: 4.*

Skomplikowane trajektorie – technika HDD oferuje największe możliwości w zakresie wykonywania zmian kątowych zarówno

w obszarze azymutu, jak i inklinacji. Również wiercenie po krzywych typu „S” jest skuteczne. Zakres stosowanych promieni krzywizny zależy od geometrii instalowanej rury, długości otworu i parametrów przewodu wiertniczego. Jako nadrzędną zasadę można przyjąć, że im dłuższy wiercony otwór, tym większy wymagany średni promień krzywizny. Podobna rekomendacja odnosi się do geometrii rurociągu. Im większa średnica, tym większy rekomendowany promień krzywizny. *Ocena dla technologii: 5.*

Zagospodarowanie i powierzchnia terenu – jedną z głównych zalet wynikających z użycia HDD jest fakt, że prace prowadzone są z powierzchni terenu i na ogół bez konieczności wykonywania głębokich komór roboczych w punkcie wejścia i wyjścia. Głębokość zbiorników ziemnych służących do krążenia płuczki w obiegu zamkniętym i do jej magazynowania, nie przekraczają 2 m. *Ocena dla technologii: 4.*

Dostępność do dróg i placów – w większości przypadków wymagana jest dostępność po dwóch stronach zaplanowanego przekroczenia. Rozmiar placu maszynowego i pasa montażowego uzależniony ściśle od klasy projektu. *Ocena dla technologii: 4.*

Odległość od najbliższych instalacji – równoległe otwory wiertnicze nie powinny być prowadzone w odległości mniejszej niż 5 m (dla dłuższych instalacji 10 m). W przypadku krzyżowania się linii wiercenia z funkcjonującymi już instalacjami lub konstrukcjami, minimalna odległość osi otworu wiertniczego od nich musi uwzględniać docelową średnicę planowanego otworu, dokładność zastosowanego systemu nawigacji oraz dokładność odwzorowania (inventaryzacji) podziemnej infrastruktury. *Ocena dla technologii: 4.*

Czas realizacji – dopracowana koncepcja stosowania techniki i długoletnia praktyka w jej stosowaniu powodują, że HDD należy do grona technik o najwyższym wskaźniku produktywności. Tempo tworzenia otworu o wymaganej geometrii dla zainstalowania projektowanego rurociągu jest szybsze niż metod alternatywnych. *Ocena dla technologii: 5.*

Koszty budowy – konkurencyjny w stosunku do innych bezwykopowych metod budowy i metod tradycyjnych. Niskie koszty przywró-

cenia placu budowy do stanu pierwotnego, niskie koszty społeczne i umiarkowane koszty pozyskania sprzętu oraz osprzętu wiertniczego. *Ocena dla technologii: 5.*

Wyteżenia w trakcie instalacji – technika charakteryzuje się najniższymi obciążeniami instalacyjnymi w przeliczeniu na pole powierzchni pobocznic rury. Dzięki stosowaniu aktywnych metod balastowania rurociągu można osiągnąć najniższy wśród metod bezwypokowych poziom tarcia wynikającego z kontaktu rurociągu i ściany otworu. *Ocena dla technologii: 5.*

Bezpieczeństwo rurociągu – instalacje HDD mogą być poprowadzone w zasadzie na każdej wymaganej głębokości i posadowione w stabilnym i nośnym gruncie. *Ocena dla technologii: 5.*

Konkurencyjność – na polskim rynku HDD funkcjonuje ponad 100 firm dysponujących sprzętem wiertniczym różnych klas i zajmujących się profesjonalnym świadczeniem usług dla podmiotów zewnętrznych. *Ocena dla technologii: 5.*

Poziom kompetencji – czołowe polskie firmy osiągnęły satysfakcjonujący poziom kompetencji technicznych w obszarze planowania, organizacji robót i bezpośredniej realizacji prac wiertniczych. Rośnie liczba absolwentów czołowych wyższych uczelni technicznych (wiertnictwo, geologia, inżynieria środowiska) zatrudnionych w spółkach wiertniczych. *Ocena dla technologii: 4.*

Innowacje technologiczne

Technologię rozumiemy jako umiejętność połączenie wiedzy praktycznej i teoretycznej, skuteczności jej stosowania, wdrażania procedur technicznych, narzędzi i urządzeń. Rozwój technologii ma ogromny wpływ na stan aktualny i będzie w przyszłości napędzać rozwój HDD. Pod wpływem osiągnięć technicznych i dokonującego się postępu technologicznego pojawia się konieczność szerszego podejścia do kwestii optymalizacji, poprawy jakości i redukcji ryzyka operacyjnego w oparciu o innowacyjność. Wdrożenie technologicznych innowacji bez wątpienia będzie wpływało na skuteczność i wydajność procesu wiertniczego.

Obszar	Innowacja	Stopień zaawansowania w skali od 1 do 5	
		Polska	Europa
Technologiczny	Magnetyczny system nawigacji MGS	****	*****
	Żyroskopowy system nawigacji GST	**	*****
	Metoda Intersect bazująca na systemie Paratrack	*	****
	Metoda Intersect bazująca na systemie GST Radar	–	****
	Monitoring ciśnień dennych APWD	***	***
	Monitoring zmian inklinacji w wierceniu z użyciem motoru ABIA	–	***
	Technologia RSS	–	*
	Stabilne płuczkowe systemy bentonitowe	****	****
	Nowoczesne płuczkowe systemy inhibitowane	****	****
	Modelowanie zachowania się fazy stałej w płuczce	***	***
	Monitoring rzeczywistych sił instalacyjnych	*	***
	System transmisji danych typu ProData	*	***
	Instalacje powyżej 1500 m	*	****
	Przekroczenie linii brzegowej (land-fall-outfall)	*	****
Sprzętowy	Zaawansowane projekty typu rock drilling	**	*****
	Rurociągi o dużych średnicach 40–56" (1016–1422 mm)	***	*****
	Dostępność nowoczesnych urządzeń klasy maxi	***	*****
	Powszechność stosowania zamkniętego obiegu płuczkowego	***	****
	Nowoczesne systemy separacji faz	****	****
	Przewód wiertniczy o dużych średnicach	***	****
	Połączenia gwintowe typu Double Shoulder	**	****
	Nowoczesne narzędzia konwencjonalne (skrawające) do poszerzania otworu	***	****
	Nowoczesne narzędzia typu hole opener	***	*****
	Nowoczesne powłoki izolujące na rurociągach	***	*****

TAB. 1. Innowacje technologiczne w HDD obserwowane po 2000 r.

Będzie też decydowało o konkurencyjności, zasobach organizacyjnych i poziomie zysków firmy.

W niniejszym rozdziale dokonano podsumowania stanu technologii HDD w Polsce i w Europie w wybranych obszarach. Wymieniono najistotniejsze innowacje technologiczne, które wpłynęły na rozwój techniki i pokonywanie kolejnych barier. <

W najbliższych numerach kwartalnika „Inżynieria Bezwypokowa” zostaną opublikowa-

ne kolejne części artykułu. Będą to:

Część 3: Weryfikacja założeń projektowych

Część 4: Selekcja urządzeń i materiałów

Część 5: Konfiguracja wyposażenia wgłębnego

Część 6: Programy technologiczne i technika wiercenia

Część 7: Dokumentacja i raporty. Wymagania kompetencyjne

Część 8: Zarządzanie projektem. Harmonogram i budżet.

Rok	Kraj	Wydarzenie	Projekt HDD
1964	USA	Martin Cherrington konstruuje pierwszą swoją wiertnicę i zakłada firmę Titan Contractors	
1971	USA	Pierwsze udokumentowane przekroczenie HDD dla firmy Pacific Gas and Electric Company, wykorzystujące krzywy łącznik, silnik wgłębny i naftowy system pomiarowy typu Single Shot	Rzeka Pajaro w pobliżu Sacramento w Kalifornii – Titan Contractors Gazociąg stalowy: 180 m @ stal 4"
1972	USA	Drugie przekroczenie HDD	Rzeka San Joaquin w Kalifornii – Titan Contractors
1974	USA	Powstanie pierwszej pełnowymiarowej wiertnicy Martina Cherringtona	Rzeka Vermillion
1978	USA	Pierwsze urządzenie wiertnicze o sile ciągnięcia 1 mln funtów (4500 kN) skonstruowane przez Cherringtona	Pierwsza wielkośrednicowa instalacja pod dnem Kanatu Żeglownego w Houston – Titan Contractors
1979	USA	Cherrington sprzedaje firmę Titan Contractors i 12 posiadanych patentów firmie Reading & Bates, zawieszając na pięć lat swoją aktywność na rynku	
1981–1984	USA / Holandia	Na rynku działają aktywnie firmy wykorzystujące ideę Cherringtona: BERCO, Drilled Crossings, InArc Drilling, Visser & Smit Hanab	
1984	Holandia	Visser & Smit realizuje pierwszy projekt HDD w Europie na zlecenie Gasunie	Rzeka Rotte – Visser & Smit, Reading & Bates Gazociąg 220 m @ stal 12"
	USA	Na rynku północnoamerykańskim pracuje kilkanaście urządzeń wiertniczych dla potrzeb budowy rurociągów	
	Francja	Powstaje firma Horizontal Drilling International, jeden z pionierów techniki HDD	
	USA	W Teksasie powstaje jedna z najbardziej zasłużonych firm dla branży – Sharewell HDD LLC. Wspólnie z firmą Tensor pracują nad kablowym magnetycznym systemem nawigacji.	
1986	Niemcy	Flow-Tex instaluje pierwszy rurociąg w rejonie Karlsruhe wykorzystując licencję firmy FlowMole	
1987	USA	American Augers produkuje pierwsze wiertnice typu MAXI RIG	
	Wielka Brytania	Pierwsza instalacja HDD w Zjednoczonym Królestwie	
	Australia	Pierwsza instalacja typu landfall (rurociąg z morza na ląd) wykonana dla koncernu Esso	Cieśnina Bassa – HDI (Francja / USA)
1988	USA	Firma Tensor wprowadza na rynek powierzchniowy system lokalizacji (pętlę) o nazwie TruTracker współpracujący z magnetycznym wgłębny narzędziem pomiarowym	
	USA	Firma Michels Directional Crossings wchodzi na rynek HDD	
	Wielka Brytania	Radiodetection wprowadza na rynek pierwszy system lokalizacji (RD300 Locator)	
1989	USA	Ditch Witch wchodzi na rynek HDD z urządzeniami DW Jet Trac	
	Niemcy	Powstaje firma LMR Drilling należąca do grupy Ludwig Freytag z siedzibą w Oldenburgu	
	USA	Powstaje spółka wiertnicza Laney Directional Drilling Co z siedzibą w Teksasie	
	Francja	Pierwsze instalacje rur osłonowych kabli energetycznych wysokiego napięcia dla koncernu EDF	Rzeka Garonna i Sekwana – HDI (Francja)
1991	USA	Digital Control (DCI) zaprezentowało system lokalizacji DigiTrak Mark I (pitch and roll) ze zdalnym wyświetlaczem	
	USA	Vermeer wchodzi na rynek wiertnic HDD	
	Indie	Powstaje Trenchless Engineering Ltd, kontraktor wiertniczy	
	Niemcy	Powstaje pierwsza wiertnica Grundodrill firmy Tracto-Technik	
	Holandia	Pierwsze instalacje gazociągu o średnicy DN1200 dla Gasunie	Canal Noord Holland – HDI (Francja)
	Polska	Pierwsza instalacja HDD w Polsce	Rzeka Wisła we Włocławku – LMR Drilling Gazociąg 750 m @ stal 20"
1992	USA	Bernie Krzys wydaje pierwszy numer specjalistycznego miesięcznika Trenchless Technology	
	USA	Trzy rekordowe przekroczenia w delcie rzeki Sacramento dla konsorcjum Pacific Gas Transmission Co./Pacific Gas & Electric Co. Średnica otworu wynosiła 60" Debiut urządzenia typu Pipe Thruster	Rzeka Sacramento – Cherrington Corp. (USA) Gazociąg 1177 m @ stal 42" HDI = 49.434
1993	USA	Powstaje organizacja DCCA Drilling Crossing Contractors Association, jako pierwsza zrzeszająca specjalistyczne spółki wiertnicze	
	USA / Wielka Brytania	Powstaje firma INROCK, specjalista w zakresie systemów nawigacji i osprzętu do wierceń skalnych	

TAB. 2. Najistotniejsze projekty i wydarzenia w historii techniki HDD. Kolorem czerwonym zaznaczono wydarzenia związane z polskimi firmami lub rynkiem polskim

Rok	Kraj	Wydarzenie	Projekt HDD
1994	Niemcy	Powstaje organizacja Drilling Contractors Associatio DCA-Europe z siedzibą w Akwizgranie zraszająca spółki wiertnicze, spółki konsultingowe, dostawców sprzętu i technologii	
	Rosja	W Ulianowsku powstaje VIS-MOS, pierwsza rosyjska firma wiertnicza specjalizująca się w HDD	
	Polska	Pierwsze projekty HDD zrealizowane przez polskie firmy Beta Warszawa i TKC Poznań	
1995	Świat	Szacuje się, że liczba wiertnic HDD przekroczyła 2000	
	USA	Digital Control (DCI) dostarcza na rynek sondę promielową (0,1% Grade Pitch Sensitivity)	
	USA	Vermeer prezentuje wiertnicę D50x100 z mechanicznym podajnikiem przewodu wiertniczego	
	USA	Jedno z największych przekroczeń lat dziewięćdziesiątych	Rzeka St. John's (Floryda) – Horizontal Drilling International Gazociąg 1720 m @ stal 30" HDI = 51.600
	Australia	AJ Lucas po raz pierwszy wykonuje otwory kierunkowe w złożach węgla	
1996	USA	Firma Michels produkuje największe na rynku urządzenie HDD o nazwie Hercules o sile ciągnięcia 1,2 mln funtów (5500 kN)	
	USA	Vector Magnetics wprowadza na rynek magnetyczny system nawigacji Paratrack	
1997	Rosja	Pierwsze ważne przekroczenie dla instalacji gazociągu DN1400. Masa rurociągu w powietrzu wynosiła 550 t	Kanał żeglowny Wołga – Don / Vis-Mos (Rosja) Gazociąg 900 m @ stal 56" HDI = 50.400
	Kolumbia		Rzeka San Jorge – Harbert Directional Drilling Ropociąg 1200 m @ stal 36" HDI = 43.200
1998	USA	Pierwsze wiercenie w warunkach wiecznej zmarzliny na Alasce – cztery otwory o długości 1310m	Rzeka Colville – HDI (Francja / USA) Ropociąg 1310 m @ stal 20" HDI = 26.200
	Niemcy	Wielkośrednicowa instalacja DN1200 w okolicach Berlina	Rzeka Dahme – Bohlen and Doyen 871 m @ stal 48" HDI = 41.808
	Wielka Brytania	Największa instalacja rurociągu z polietylenu do 1998 zrealizowana w ramach szkockiego projektu BP Grangemouth	Grangemouth – Visser & Smit Hanab (Holandia) Wodociąg 1450 m @ HDPE 28" HDI = 40.600
1998–1999	Zjednoczone Emiraty Arabskie	Budowa magistrali wodnej i kanalizacji w Abu Dhabi	Lulu Island – DrillTec Gut (Niemcy) Wodociąg 2 x 1000 m @ stal 32" HDI = 32.000
1999	USA	Najdłuższy otwór wywiercony przed 2002 w ramach projektu Cardinal Pipeline Extension w Północnej Karolinie	Jezioro Jordan – Michels Pipeline Construction Gazociąg 1841 m @ stal 24" HDI = 44.184
	Niemcy	Powstaje firma Prime Drilling, producent urządzeń wiertniczych klasy midi, maxi i mega	
	USA	Firma Prime Horizontal wprowadza do komercyjnego użycia system nawigacji ParaTrack	
	Holandia	Otwór ze zmianą inklinacji 87 stopni (skręt w prawo) poprowadzony na głębokości 36 m	Leiderdorp Highway – Visser & Smit Hanab (Holandia) Gazociąg 952 m @ stal 12"
	Wielka Brytania	Dwa przekroczenia linii brzegowej w Szkocji Prace wiertnicze i instalacja prowadzona z platformy Rurociąg przygotowany na lądzie	Fife outfalls – Hydro Soil Services (Belgia) 935 m @ stal 18"
	Czechy	Sześć przekroczeń rzeki Łaby w Decinie dla instalacji rur z HDPE o średnicy 630 mm	Rzeka Łaba – Beta Warszawa 6 x 200 – 250 m @ HDPE 630 mm
2000	Wielka Brytania	Prime Horizontal realizuje pierwszy projekt wykorzystujący metodę Intersect	Rzeka Tees 860 m @ stal 16"
	Hongkong	Jeden z najbardziej skomplikowanych projektów XX-wieku Ośiem przekroczeń o długości do 1,37 km w granitowym podłożu pod dnem kanału portowego	Ma Wan Island Underground Infrastructure Harbor Channel – AJ Lucas (Australia) Wodociąg 2 x 1369 m @ stal 32"
	Niemcy	Powstaje firma DrillTec GUT GmbH Großbohr- und Umwelttechnik	
	USA	Pięć otworów powyżej 1 km dla przełożenia instalacji rurowych o 30 m ze względu na modernizację kanału żeglownego	Kanał Żeglowny Houston – Laney (USA) Multi Duct 1584 m / 1567 m / 1532 m / 1424 m
	Wielka Brytania	Przekroczenie rzeki Tamar i linii kolejowych w rejonie Plymouth	Rzeka Tamar – LMR Drilling UK Kanalizacja 1335 m @ HDPE 560 mm HDI = 29.875
	Polska	Największa w historii polskiego HDD średnica zainstalowanego rurociągu	Martwa Wisła w Gdańsku – BETA Warszawa / LMR Drilling Kanalizacja 530 m @ HDPE 48" HDI = 25.440
	Polska	Pierwsza instalacja powyżej 1000 m wykonana przez polską spółkę wiertniczą	Tereny bagienne w rejonie Kamienia Pomorskiego – BETA Warszawa Gazociąg 1067 m @ stal 8 3/4"

TAB. 2. cd. Najistotniejsze projekty i wydarzenia w historii techniki HDD. Kolorem czerwonym zaznaczono wydarzenia związane z polskimi firmami lub rynkiem polskim

Rok	Kraj	Wydarzenie	Projekt HDD
2000–2001	Brazylia	Ekstremalne wiercenie (4 otwory) w kwarcytach o wytrzymałości na ściskanie do 320 MPa w ramach projektu Bolivia – Mato Grosso Gas Pipeline Technika poszerzania otworu: forward reaming	Quartzite Ridges – Horizontal Drilling International (Francja) Gazociąg 943 m @ stal 18" ze specjalną powłoką ochronną
2001	Holandia	Intersect po raz pierwszy wykorzystany przez Prime Horizontal w projekcie przewidującym instalację wielkośrednicową	Rzeka Maas – Haustadt & Timmermann (Niemcy) Gazociąg 780 m @ stal 36" HDI = 28.080
	Kanada	W Edmonton powstaje firma Direct Horizontal Drilling	
	Niemcy	Firma Herrenknecht wchodzi na rynek HDD jako producent wiertnic kierunkowych	
	Wielka Brytania	Rock drilling – zainstalowano rurociąg o objętości 1055 m³	Nailsea to St. Georges Pipeline – LMR Drilling UK Gazociąg 904 m @ stal 48" HDI = 43.392
	Rosja	Dwa wiercenia w warunkach zimowych, urządzenie wiertnicze i system płuczki zlokalizowane pod dachem	Rzeka Pur – DrillTec Gut (Niemcy) Gazociąg 2 x 1240 m @ stal 40" HDI = 49.600
2002	USA	Vector Magnetics wprowadza wspólnie z Prime Horizontal moduł PWD zintegrowany z systemem ParaTrack 2 służący do pomiaru ciśnień w głębinach w otworach HDD	
	Australia	Pierwsze przekroczenie HDD powyżej 2 km Budowa gazociągu wysokiego ciśnienia na Tasmanii	Rzeka Tamar – AJ Lucas (Australia) Gazociąg 2046 m @ stal 14" HDI = 28.644
	Chiny	Pierwsze istotne przekroczenie HDD w Chinach	Rzeka Jangcy – East China Pipeline Construction Gazociąg 1688 m @ stal 16" HDI = 27.008
	Argentyna	Budowa gazociągu w Andach pomiędzy Argentyną i Chile Rock drilling w warunkach górskich	Nor Andino – DrillTec Gut (Niemcy) Gazociąg 1412 m @ stal 20" HDI = 28.240
	Australia	Przekroczenie parku krajobrazowego, klifu i linii brzegowej przy głębokości wody 15 m	Minerva Landfall – AJ Lucas (Australia) Gazociąg 2 x 1550 m @ HDPE 16" HDI = 24.800
	Australia	Pierwsza instalacja typu push z łądu do dna morskiego z użyciem urządzenia typu Pipe Pusher	Patricia Baleen HDD Shore Approach – Cherrington Australia Gazociąg 2 x 1100 m @ stal 12"
	Indonezja	Siedem przekroczeń w terenach bagiennych z użyciem wiertnic montowanych na barkach	Tunu Phase 8 – McConnell Dowell (Australia) Gazociąg 1250 m @ stal 24" HDI = 30.000
	Francja	Metoda Intersect, casing wiercony w technice mikrotunelowania, sekcje żwirowe, wapień	Rhone Valley – Nacap (Holandia) Gazociąg 1090 m @ stal 20" HDI = 21.800
2003	Świat	Szacuje się, że liczba pracujących wiertnic HDD przekroczyła 15 tysięcy	
	Świat	Rotating Magnet Ranging System użyty w metodzie Intersect doprowadza do znaczącego wzrostu produktywności i zasięgu technologii HDD	
	Australia	Jeden z najdłuższych otworów dla kanalizacji ciśnieniowej	Illawara Wastewater Sydney – AJ Lucas (Australia) Kanalizacja 1920 m @ HDPE 28" HDI = 53.760
	Australia	Najdłuższa instalacja grawitacyjna w historii (spadek 1,4°) Rock drilling	Sydney – AJ Lucas (Australia) Kanalizacja 1810 m @ HDPE 630 mm HDI = 44.893
	Portugalia	Przekroczenie zatoki morskiej w Setubal w trzech odcinkach, wiercenie pomiędzy platformami	Estuario do Sado – LMR Drilling Gazociąg 4300 m (4 sekcje) @ 32" 1400 m @ stal 32" HDI = 44.800
2003–2004	Indonezja	Trzy przekroczenia terenów bagiennych w ramach projektu udostępnienia złoża gazu Tunu	Tunu Field (phase 9) – Nacap Asia Pacific Gazociąg 2004 m @ stal 20" HDI = 40.080
2004	USA	Siedem morskich i lądowych przekroczeń w rejonie Bostonu	Duke Energy Hubline Salem Shore – Michels Directional Drilling (USA) Gazociąg 1486 m @ stal 30" HDI = 44.580
	Trynidad	Pierwsze instalacje rurociągów DN1400 na półkuli zachodniej w ramach projektu Trinidad Cross Island Pipeline	Clifton Hills – Southeast Directional Drilling (USA) Gazociąg 767 m @ stal 56" HDI = 42.952
	Tajlandia	Przekroczenie linii brzegowej w ramach projektu Trans Thai – Malaysia Offshore Pipeline	Landfall – Nacap Asia Pacific Gazociąg 1175 m @ stal 34" HDI = 39.950
	Kanada	Projekt górski realizowany w zimowych warunkach, wiercenie przy różnicy elewacji 434 m, zmiana inklinacji o 36°	Północno-wschodnia Kolumbia Brytyjska – Canadian Horizontal Drilling (Kanada) Gazociąg 1300 m @ stal 8"

TAB. 2. cd. Najistotniejsze projekty i wydarzenia w historii techniki HDD. Kolorem czerwonym zaznaczono wydarzenia związane z polskimi firmami lub rynkiem polskim

Rok	Kraj	Wydarzenie	Projekt HDD
2005	USA	InterCon Construction we współpracy z firmą Schlumberger wykonał pierwszy projekt HDD z użyciem naftowego systemu wiercenia Power Drive RSS (Rotary Steerable System)	
	Holandia / USA	Firma Brownline wprowadza na rynek żyrokompasowy system nawigacji DrillGuide GST	
	Niemcy	Najdłuższe przekroczenie zrealizowane do 2008 roku z wykorzystaniem metody Intersect i techniki wash over	Rzeka Łaba – LMR Drilling (Niemcy) Rurociąg petrochemiczny 2626 m @ stal 10"
	Niemcy	Dwanaście otworów wierconych dla połączenia platformy wydobywczej zlokalizowanej na Morzu Północnym z lądem Sześć sekcji (po dwa równoległe otwory), trzy urządzenia wiertnicze, wiercenie pomiędzy platformami	Pipeline Connection Mittelplate – DrillTec Gut Gazociąg 7500m (6 sekcji) @ stal 10" Najdłuższy odcinek 1400 m
	Kanada	Zimowe przekroczenie w ramach projektu Trans Quebec Pipeline	Rzeka St. Lawrence – Michels Directional Crossings (USA) Gazociąg 2316 m @ stal 20" HDI = 46.320
	Gruzja	Dwie istotne instalacje w ramach projektów budowy ropociągu Baku-Tbilisi-Ceyhan i gazociągu South Caucasus Pipeline	Rzeka Kura – Horizontal Drilling International (Francja) Ropociąg 780 m @ stal 46" HDI = 35.880 Gazociąg 780 m @ stal 42" HDI = 32.760
	Holandia	Przekroczenie 60 torów kolejowych z użyciem żyrokompasu	Gebr. van Leeuwen Boringen B.V. (Holandia) Kanalizacja 702 m @ stal 30"
2006	Kanada	Dwa przekroczenia w terenie górskim, Intersect, Rock drilling, maksymalna głębokość 350 m, różnica poziomów pomiędzy wiertnicami 260m	Projekt Chinooke Ridge Rzeka Wapiti – Mears Canada Gazociąg 1481 m @ stal 14" HDI = 22.215
	USA	Rock drilling w Południowej Karolinie	Rzeka Copper – Sunland Construction (USA) Wodociąg 1671 m @ stal 40" HDI = 66.840
	USA	Cztery przekroczenia w ramach projektu Freeport LNG w Teksasie	Wetland Marsh – Laney Directional Crossing (USA) Gazociąg 1513 m @ stal 42" HDI = 63.546
	Indonezja	Projekt Tangguh GPF, szereg przekroczeń HDD	Landfall – Nacap (Holandia) Gazociąg 1430 m @ stal 24" HDI = 34.320
	Australia	Rock drilling	Port Brisbane – Coe Drilling (Australia) Ropociąg 2 x 1500 m @ stal 24" HDI = 36.000
	Włochy	Przekroczenie parku krajobrazowego Jedna z pierwszych skutecznych aplikacji systemu pomiaru ciśnień wgłębnych APWD	Rzeka Ticino – LMR Drilling (Niemcy) Wiązka rurociągów petrochemicznych 1585 m
	USA	Najdłuższe przekroczenie wykonane z przewodem wiertniczym NC50	Kanał żeglowny Houston – Janco Directional Drilling (USA) Gazociąg 2516 m @ stal 10" HDI = 25.160
2006–2007	Polska	Sześć przekroczeń dla instalacji rurociągów DN1000 z polietylenu w zakresie długości 480–630 m	Szczecin – Hydrobudowa 9 / LMR Drilling Kanalizacja 630 m @ HDPE 40"
2007	Indie	Jedna z największych instalacji DN1200 w historii. Projekt dla firmy Reliance	Rzeka Vashista Godavari – HDI (Francja) 1760 m @ stal 48" HDI = 84.480
	Norwegia	Projekt w rafinerii ropy Mongstad dla StatoilHydro Kąt wejścia 45 stopni, głębokość 234 m poniżej dna morza Granity, bazalty i gnejsy do 270 MPa	Instalacja morska we fjordach – Visser & Smit Hanab (Holandia) Gazociąg 416 m @ stal 12"
	Indie	Magistrala gazowa East – West	Rzeka Narmada – Punj Lloyd (Indie) Gazociąg 1500 m @ stal 48" HDI = 72.000
	Rosja	Projekt Nord Stream Pierwszy rurociąg 56" powyżej 1000 m	Rzeka Szeksna – Vis-Mos (Rosja) Gazociąg 1043 m @ stal 56" HDI = 58.408
	Australia	Dwa skomplikowane przekroczenia dla instalacji sieci kanalizacyjnej. Jedna z najdłuższych instalacji rurociągu z tworzywa sztucznego	Projekt Upper Blue Mountains Kanalizacja 2 x 2400 @ HDPE 20" i HDPE 10" HDI = 48.000
	Nowa Zelandia	Projekt Kupe Gas Field Jedne z najdłuższych instalacji typu landfall Wiercenie w podłożu skalnym	Linia brzegowa Hawera – DrillTec Gut (Niemcy) Gazociąg 2 x 2250 m @ stal 20" HDI = 46.000
	Chiny	Dwa przekroczenia wykonane w technice Intersect	Rzeka Qiantang – CPP Crossing Company (Chiny) Gazociąg 2450 m @ stal 32" HDI = 78.400
	Wietnam	12 przekroczeń w terenach bagiennych	Ho Chi Minh – Nacap Asia Pacific Gazociąg 1998 m @ stal 22" HDI = 43.956

TAB. 2. cd. Najistotniejsze projekty i wydarzenia w historii techniki HDD. Kolorem czerwonym zaznaczono wydarzenia związane z polskimi firmami lub rynkiem polskim

Rok	Kraj	Wydarzenie	Projekt HDD
2008	USA	DCI prezentuje TensiTrak System służący do pomiaru rzeczywistych sił instalacyjnych i ciśnienia w przestrzeni pierścieniowej otworu	
	USA	Ciążar rurociągu w powietrzu 1600T Objętość zainstalowanego rurociągu 1815 m ³	Projekt Cameron LNG – Laney (USA) Gazociąg 2032 m @ stal 42" HDI = 85.344
	USA	Wielkośrednicowa instalacja na granicy Teksasu i Luizjany	Golden Pass Pipeline Old River – Michels Directional Crossing (USA) Gazociąg 1859 m @ stal 42" HDI = 78.078
	Arabia Saudyjska	Dwa przekroczenia linii brzegowej Rurociągi przygotowywane na morzu Rock drilling	Berri Causeway landfill – DrillTec Gut Wodociąg 1500 m @ stal 30" Ropociąg 2100 m @ stal 24" HDI = 45.000 / 50.400
	Holandia	Kombinowany system nawigacji MGS/GST, jednostopniowe poszerzanie otworu do średnicy 30" i bezpośrednia instalacja	Stellendam (Rotterdam) – LMR Drilling (Niemcy) Wodociąg 1714 m @ stal 24" HDI = 41.136
	Holandia	Pierwsza instalacja rurociągu DN1400 w Europie Zachodniej	Dordtse Kill – LMR Drilling Niemcy Wodociąg 704 m @ stal 56" HDI = 39.424
	Kanada	Projekt North Central Corridor zrealizowany w niskich temperaturach dla spółki TransCanada	Rzeka Peace – Direct Horizontal Drilling (Kanada) Gazociąg 1100 m @ stal 42" HDI = 46.620
	USA	Długie przekroczenie w ramach projektu Hampton Roads Crossings	Rzeka Elizabeth – Mears Group (USA) Gazociąg 2232 m @ stal 24" HDI = 53.568
	Włochy	Projekt Bocca di Malamocco Trzy otwory wiercone na głębokości do 66 m poniżej poziomu morza	Zatoka morska w Wenecji – Anese (Włochy) Energetyka 1350 m @ stal 24" HDI = 32.400 Wodociąg 1400 m @ stal 26" HDI = 36.400
2008–2009	Arabia Saudyjska	Pierwsze instalacje HDD powyżej 3 km Intersect, 32 m poniżej dna morza, rock drilling	Cieśnina morska pomiędzy Abu Ali Island i Berry Causeway Tatco Boring (ZEA) Ropociąg 3048 m @ stal 24" HDI = 73.152 Wodociąg 3048 m @ stal 30" HDI = 91.440
2009	USA	Vercor Magnetics integruje system ABIA (At Bit Inclination Assembly) z systemem ParaTrack 2	
	Francja	Intersect, casing stały z dwóch stron wywiercony metodą mikrotunelowania	Kanał Żeglowny w LeHavre – Horizontal Drilling International (Francja) Ropociąg 1500 m @ stal 34" HDI = 51.000
	Belgia	Dwa równoległe wielkośrednicowe wiercenia dla Gasunie	Schelde Crossings – Visser @ Smit Hanab (Holandia) Gazociąg 1450 m / 1320 m @ stal 48" HDI = 69.600 / 63.360
	USA	Najdłuższa instalacja rurociągu wykonanego ze zgrzewalnego PVC	Archers Creek Parris Island – Mears Group (USA) Kanalizacja 1950 m @ PVC 16" HDI = 31.200
	Kanada	Casing o średnicy 54" zapuszczony na głębokość 40 m i wyposażony w prewenter	Rzeka Athabasca – Direct Horizontal Drilling (Kanada) Kanalizacja 1350 m @ HDPE 36" HDI = 48.600
	Wielka Brytania	Cztery wiercenia o łącznej długości 5400 m Największy świder trójgryzowy wykorzystany w historii HDD – 23" napędzany silnikiem 11 ¼"	Newport – LMR UK Gazociąg 1621 m @ stal 18" HDI = 29.178
	Brazylia	Cztery długie otwory na zlecenie koncernu Petrobras	Rzeka Doce – Encalso Construcões (Brazylia) Gaz płynny 1701 m @ stal 8"
2009–2010	Wielka Brytania	Najdłuższe wiercenie skalne (do 140 MPa) w historii w celu przekroczenia cieśniny morskiej z wykorzystaniem metody Intersect	Milford Haven – LMR Drilling (Niemcy / Wielka Brytania) Gazociąg 3004 m @ stal 18" HDI = 54.072
	Zjednoczone Emiraty Arabskie	Dwie wielkośrednicowe instalacje zrealizowane na Bliskim Wschodzie w warunkach podłoża skalnego	Kanał Abu Dhabi – FlowTex Egypt Wodociąg 1729 m / 1600 m @ stal 48" HDI = 82.992 / 76.800
	Chiny – Rosja	Przekroczenie rzeki granicznej metodą Intersect Bardzo trudne warunki geologiczne: kamienie, żwir, piaskowiec	Rzeka Heilongjiang – China Petroleum Pipeline Bureau Ropociąg 2 x 1084 m @ stal 32" HDI = 34.688

TAB. 2. cd. Najistotniejsze projekty i wydarzenia w historii techniki HDD. Kolorem czerwonym zaznaczono wydarzenia związane z polskimi firmami lub rynkiem polskim

Rok	Kraj	Wydarzenie	Projekt HDD
2010	Turkmenistan	Najdłuższa instalacja rurociągu stalowego DN1400 w historii Dwa urządzenia wiertnicze, stacja pchająca	Rzeka Amu Daria – Energoperetok (Rosja) Gazociąg 1705 m @ stal 56" HDI = 95.480
	Iran	Najdłuższy otwór wywiercony przez pojedyncze urządzenie wiertnicze pod dnem cieśniny morskiej, system nawigacji Tensor	Wyspa Queshm (Zatoka Perska) – DrillTec Gut (Niemcy) Ropociąg 3060 m @ stal 16" HDI = 48.960
	Australia	Najdłuższe push reaming w granicie UCS > 150 MPa Instalacja z łądu za pomocą urządzenia Pipe Pusher	Projekt: Devil Creek Landfall Linia brzegowa – DrillTec Gut (Niemcy) Gazociąg 1850 m @ stal 16"
	Włochy	Projekt górski, rekordowa różnica elewacji pomiędzy punktem wyjścia i wejścia – 450 m	Elektrownia Valdastico – PATO (Włochy) Wodociąg 950 m @ stal 8"
	Tajlandia	Metoda Intersect	IRPC Pipeline – McConnell Dowell (Australia) Gazociąg 1907 m @ stal 24" HDI = 45.768
	Niemcy	Kilka instalacji wielkośrednicowych w ramach budowy magistrali gazowej OPAL	Rzeka Dahme – Visser & Smit Hanab (Holandia) Gazociąg 917 m @ stal 56" HDI = 51.352
	Holandia	Jeden z najdłuższych otworów wywierconych w piasku Intersect	Jezioro Ketelmeer – Nacap (Holandia) Gazociąg 2750 m @ stal 16" HDI = 44.000
	USA	Jedna z najdłuższych instalacji rurociągu z PVC – F	Rzeka Raritan – Mears Group (USA) Wodociąg 1635 m @ PVC 24" HDI = 39.240
	USA	Intersect na głębokości 40 m poniżej dna rzeki	Rzeka St. Johns – Mears Group (USA) Gazociąg 2256 m @ stal 16" HDI = 36.096
2010 – 2011	Wielka Brytania	Dwa równoległe przekroczenia pod dnem cieśniny morskiej w rejonie Southampton, rock drilling, Intersect, drugie i trzecie przekroczenie co do długości w historii	Cieśnina Solent – LMR Drilling Gazociągi 2 x 3930 m @ stal 12" HDI = 47.160
2011	Boliwia	Największy projekt w Ameryce Południowej	Rzeka Rio Grande – Tatco Boring (ZEA) Gazociąg 2700 m @ stal 32" HDI = 86.400
	Niemcy	Kilka wielkośrednicowych przekroczeń w ramach projektu budowy magistrali gazowej NEL Trudne warunki geologiczne, średnica otworu 70"	Rzeka Łaba – Visser & Smit Hanab (Holandia) Gazociąg 1082 m @ stal 56" HDI = 60.592
	Australia	Jeden z najkosztowniejszych projektów w historii (95 mln AUD), dziewięć przekroczeń linii brzegowej na wyspie Barrow dla koncernu Chevron, instalacje z wykorzystaniem Pipe Thrustera	Gorgon LNG – AJ Lucas (Australia) Gazociąg 520 m @ stal 34"
	Rosja	Jeden z najbardziej skomplikowanych projektów typu rock drilling	Cieśnina Wschodni Bosfor – VisMos (Rosja) Gazociąg 2857 m @ stal 14" HDI = 39.998
	Nigeria	Jedna z pierwszych ważnych instalacji w Zachodniej Afryce	Rzeka Eskravos – Fenog (Nigeria) Gazociąg 1631 m @ stal 24" HDI = 40.800
	USA	Przekroczenie szerokiej drogi wodnej w trzech odcinkach, wiercenie pomiędzy platformami	Rzeka York – Mears Group (USA) Kable energetyczne 2225 m @ stal 8"
	USA	Dwa przekroczenia powyżej 2 km każde tworzące jedną linię	Zatoka Nueces w Teksasie – Laney (USA) Ropociąg 2210 m / 2226 m @ stal 16" HDI = 35.616
2012	Kolumbia	Trzy przekroczenia dużych rzek w ramach projektu Bicentennial Pipeline	Rzeka Tame – Nacap (Holandia) Ropociąg 1615 m @ stal 42" HDI = 67.830
	Niemcy	Cztery długie instalacje 36" w ramach projektu Jemgum	Jemgum – DrillTec Gut (Niemcy) Gazociąg 1716 m @ stal 36" HDI = 61.776
	USA	Instalacja energetyczna pod dnem zatoki w Alabamie	Wolf Bay – Southeast Directional Drilling (USA) Energetyka 1890 m @ stal 36" HDI = 68.040
	USA	Jedna z najdłuższych północnoamerykańskich instalacji zrealizowana metodą Intersect	Jezioro Houston – Laney Directional Drilling Gazociąg 3344 m @ stal 6"
	USA	Budowa linii energetycznej w Północnej Karolinie	Rzeka Cape Fear – Michels Directional Crossings (USA) Energetyka 2072 m @ wiązka kabli w HDPE
	Grenlandia	Dwa przekroczenia linii brzegowej na głębokości 200 m pod dnem morza	Zatoka Greenland Sana – Visser & Smit Hanab (Holandia) Telekomunikacja 2 x 1150 m @ osłona z rur płuczkowych

TAB. 2. cd. Najistotniejsze projekty i wydarzenia w historii techniki HDD. Kolorem czerwonym zaznaczono wydarzenia związane z polskimi firmami lub rynkiem polskim

Rok	Kraj	Wydarzenie	Projekt HDD
2013	USA	Digital Control (DCI) wprowadza F5 SST Guidance System	
	Chiny	Trzy równoległe przekroczenia rzeki Jangcy z użyciem metody Intersect. Jeden z największych projektów w historii	Rzeka Jangcy – China Petroleum Pipeline Bureau (Chiny) Gazociąg 3 x 3279 m @ stal 28" HDI = 91.812
	Zjednoczone Emiraty Arabskie	Przekroczenie szerokiej cieśniny morskiej pomiędzy wyspami Abu Dhabi Metoda Intersect. Najdłuższy otwór na Bliskim Wschodzie	Ras Ghurab Water Supply – Tatco Boring (ZEA) Wodociąg 3829 m @ stal 20" HDI = 76.580
	USA	Dziewięć otworów wierconych w ramach projektu budowy nowej magistrali gazowej New Jersey – Nowy Jork	Cieśnina Kill Van Kull – Michels Directional Crossing (USA) Gazociąg 2469 m @ stal 30" HDI = 74.070
	Holandia	Projekt DNWW w Rotterdamie, pierwszy spektakularny INTERSECT z wykorzystaniem metody GST RADAR	Kattendrecht, Rotterdam – Visser & Smit Hanab (Holandia) Ciepłownictwo 1500 m @ stal 24" HDI = 36.000
	Nigeria	Jedna z najdłuższych instalacji na kontynencie afrykańskim	Rzeka Niger – Fenog (Nigeria) Gazociąg 2800 m @ stal 26" HDI = 72.800
	Chiny	Aplikacja urządzenia wiertniczego klasy 10.000 kN Masa rurociągu: 1180 t	Rzeka Qinhe – Hongtai HDD Engineering (Chiny) Wodociąg 1827 m @ stal 40" HDI = 73.080
	USA	Metoda Intersect, wiercenie pod trudno dostępnym terenem bagiennym	Rzeka Sabine w Teksasie – Ranger Field Services (USA) Gazociąg 3372 m @ stal 12" HDI = 40.464
	Holandia	Zabudowa wstępnie wygiętych rur w otworze o promieniu 250 m, spawanie w trakcie procesu instalacji	Beverwijk – Wijngaarden – Visser & Smit Hanab (Holandia) Gazociąg 169 m @ stal 48"
	USA	Skomplikowana geometria, dwie krzywizny horyzontalne, Intersect, dwa casingi	Rzeka Elizabeth – Mears Group (USA) Wodociąg 1362 m @ stal 36" HDI = 49.032
2014	Polska	Największy kontrakt w historii polskiego HDD – 19 przekroczeń w ramach projektu Gustorzyn – Rembelszczyzna	Rzeka Wisła – Nawitel Wrocław Gazociąg 1342 m @ stal 28" HDI = 37.576
	USA	Najwyższy wskaźnik trudności otworu w historii Objętość zainstalowanego rurociągu 1808 m ³	Rzeka Missisipi – Michels Directional Crossing (USA) Ropociąg 2755 m @ stal 36" HDI = 99.180
	Holandia	Jeden z największych kontraktów wiertniczych w Europie zakładający ponad 30 instalacji rurociągu 48"	Wijngaarden – Beverwijk Visser&Smit Hanab (Holandia) Gazociąg 1602 m @ stal 48" HDI = 76.896
	Holandia	Cztery wiercenia Intersect o długości 2,5 km każde, dające w sumie dwie 5 km linie energetyczne	Projekt Haringvliet – Visser&Smit Hanab (Holandia) Kable energetyczne 4 x 2500 m @ HDPE 18"
	Indie		Rzeka Narmada – Punj Lloyd (Indie) Gazociąg 2098 m @ stal 24" HDI = 50.352
	Meksyk		Projekt Burelo (tereny prywatne) – Arendal (Meksyk) Ropociąg 1598 m @ stal 36" HDI: 57.528
	Polska	Dwa wiercenia w ramach budowy magistrali gazowej Gdańsk – Szczecin. Pierwszy przypadek użycia wiertnic klasy 1000kN dla instalacji rurociągów 28" na dystansie powyżej 1000 m	Bukowy Las Górki / Dolina Łupawy – PPI Chrobok Gazociąg 1183 m @ stal 28" Gazociąg 1113 m @ stal 28" HDI = 33.124
	Polska	Rekordowa zmiana azymutu w trakcie wiercenia (60 stopni)	Projekt Elektrociepłownia gazowa Orlen – Nawitel Gazociąg 1335 m @ stal 12 ½"
	Indie		Rzeka Ganges – Trenchless Engineering Services (Indie) Gazociąg 2325 m @ stal 24" HDI = 55.800

TAB. 2. cd. Najistotniejsze projekty i wydarzenia w historii techniki HDD. Kolorem czerwonym zaznaczono wydarzenia związane z polskimi firmami lub rynkiem polskim

Rok	Kraj	Wydarzenie	Projekt HDD
2015	Świat	Szacuje się, że liczba pracujących wiertnic HDD przekroczyła 30 tysięcy	
	Holandia	Pierwsze w pełni funkcjonalne urządzenie HDD z napędem elektrycznym. Projekt, koncepcja i produkcja – Normag bv	
	Kanada	Najdłuższa instalacja rurociągu stalowego 42" w historii w ramach projektu Northern Courier Pipeline	Rzeka Athabasca – Michels Directional Crossing (USA) Ropociąg 2195 m @ stal 42" HDI = 92.190
	Chiny	Najdłuższe przekroczenie w Chinach	Rzeka Jangcy – China Petroleum Pipeline Bureau (Chiny) Gazociąg 3440 m @ stal 24" HDI = 82.660
	Litwa	Najdłuższa instalacja HDD wykonana przez polską spółkę wiertniczą. Otwór wywierony pojedynczym urządzeniem klasy 4000kN	Kłajpeda Terminal LNG – Albrehta Biała Podlaska Gazociąg 2300 m @ stal 28" HDI = 64.400
	Malezja		Cieśnina Malakka – Mersing Construction and Engineering (Malezja) Wodociąg 1960 m @ stal 16" HDI = 31.360
2016	Kanada	Szereg przekroczeń linii brzegowej o długości powyżej 2 km dla połączenia Nowej Funlandii i Nowej Szkocji podmorską linią energetyczną	Projekt Maritime Link Kable energetyczne – Direct Horizontal Drilling (Kanada)
	Bangladesz	Wiercenie w złożonych warunkach geologicznych na głębokości 70m	Rzeka Padma – China Petroleum Pipeline Bureau (Chiny) Gazociąg 2210 m @ stal 30" HDI = 66.300
	Bułgaria – Rumunia	Dwa równoległe otwory wywiercone w krasowej skale wapiennej pod dnem granicznej rzeki	Rzeka Dunaj – LMR Drilling (Niemcy) Gazociąg 2085 m @ 20" & 2079 m @ stal 20" HDI = 41.700
	USA	Dwa równoległe otwory o długości powyżej 3 km każdy	Sztuczne jezioro Sakakawea – Michels Directional Crossing (USA) Ropociąg 3421 m @ stal 16" Gazociąg 3472 m @ stal 16" HDI = 55.552
	Niemcy	Jednostopniowe poszerzenie otworu wiertniczego do średnicy 70"	Rzeka Szprewa – Visser & Smit Hanab (Holandia) Odwodnienie kopalni 220 m @ HDPE 56"
	Polska	Pierwsze instalacje rurociągów stalowych DN1000 w Polsce	Magistrala gazowa Czeszów – Wierzchowice Cztery przekroczenia DN1000 – PPI Chrobok i ZRB Janicki o długości od 480 do 670 m
	Polska	Najdłuższe przekroczenie linii brzegowej w ramach projektu we Władysławowie dla Lotos Petrolbaltic	Landfall – Nawitel Wrocław Gazociąg 1433 m @ 5"
2016 – 2017	Turcja	Cztery przekroczenia dla instalacji rur stalowych DN 1400 w ramach budowy magistrali gazowej TANAP Najdłuższa instalacja tej klasy rurociągu w Europie	Rzeka Sakarya – Visser and Smit Hanab (Holandia) Gazociąg 1104 m @ stal 56" HDI = 61.824
2017	Holandia	Pierwsze przekroczenie powyżej 4 km Najdłuższa instalacja HDD w historii Radar Intersect, głębokość wiercenia 85 m	Cieśnina morską pomiędzy Texel i Den Helder LMR Drilling (Niemcy) Wodociąg 4608 m @ stal 12" HDI = 55.296
	Nowa Zelandia	Metoda Intersect, rock drilling	Zatoka portowa Tauranga – AJ Lucas (Australia) Kanalizacja 1550 m @ stal 36" HDI = 55.800
	Egipt		Rzeka Nil – FlowTex Egypt Gazociąg 976 m @ stal 42" HDI = 40.992
	Polska	Najdłuższy otwór w Polsce wywierony w litej skale (flisz karpacki)	Rzeka San – ZRB Janicki Gierattowice Gazociąg 980 m @ stal 28" HDI = 27.440
2018	Grecja	Najdłuższa instalacja rurociągu stalowego DN1200 w historii w ramach budowy międzynarodowej magistrali gazowej Trans Adriatic Pipeline	Rzeka Axios – HDI Horizontal Drilling International (Francja) Gazociąg 1809 m @ stal 48" HDI = 86.832
	Australia	Projekt Caloundra Sewerage Pipeline	Nicklin Way – Pipeline Drillers (Australia) Kanalizacja 1600 m @ HDPE 36" HDI = 56.693

TAB. 2. cd. Najistotniejsze projekty i wydarzenia w historii techniki HDD. Kolorem czerwonym zaznaczono wydarzenia związane z polskimi firmami lub rynkiem polskim

Planowanie i realizacja projektów HDD

CZĘŚĆ III: WERYFIKACJA ZAŁOŻEŃ PROJEKTOWYCH



Proces inwestycyjno-budowlany obejmuje kilka następujących po sobie etapów: przygotowanie inwestycji, projektowanie i prace konstrukcyjne – od ogólnej koncepcji do szczegółowych rozwiązań techniczno-technologicznych. Stopniowe doprecyzowanie założeń i stowarzyszonych z nimi metod znajduje swoje odzwierciedlenie w kolejnych logicznych działaniach. Trzecia część naszego cyklu poświęcona jest dokumentacji projektowej, rekomendacjom dotyczącym badań geologicznych, analizie parametrów geometrycznych otworu wiertniczego i założeniom do uproszczonej analizy ciśnień

Fazy powstawania projektu HDD

Na początku musi pojawić się **koncepcja programowo-przestrzenna** lub **wstępne studium wykonalności**. Za powstanie takiego dokumentu, który stanowi ramowy program inwestycji i powiązaną z nim wizję planowanych obiektów, odpowiedzialny jest inwestor. W przypadku budowy rurociągów podziemnych dokument ten określa prawdopodobny

przebieg trasy, w tym także miejsca występowania naturalnych lub sztucznych przeszkód terenowych, do których zaliczamy m.in. rzeki, tereny chronione, tereny bagienne, istotną infrastrukturę drogową i kolejową. Koncepcja wynikająca ze studiowania map musi zostać potwierdzona wizją w terenie dla wstępnej oceny i weryfikacji. W ramach tego etapu może już zostać wybrany najkorzystniejszy wariant lokalizacji danego przedsięwzięcia rurociągowego.

Inwestor i jego konsultanci są odpowiedzialni za przygotowanie i przeprowadzenie procedury przetargowej na wykonanie dokumentacji projektowej. Wyłonione w jej wyniku biuro ma za zadanie w ciągu ściśle określonego czasu przedstawić szereg dokumentów, w tym m.in. projekt wstępny, selekcję i analizę możliwości zrealizowania przekroczeń za pomocą technik bezwykopowych, decyzję środowiskową, decyzję lokalizacyjną, projekt budowlany oraz projekt wykonawczy.



Robert Osikowicz

(ur. 1966), absolwent Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Zajmuje się technologią wiercenia otworów kierunkowych i praktycznymi aplikacjami płynów wiertniczych w otworach różnego przeznaczenia. Jest autorem szeregu publikacji dotyczących konfiguracji sprzętu, optymalizacji techniki wiercenia, analiz rynku technologii bezwykopowych, zarządzania jakością i ryzykiem w działaniach wiertniczych, tworzenia harmonogramów i budżetów projektów. Od 2009 r. pracuje dla firmy Robert Osikowicz Engineering. Firma jest członkiem branżowej organizacji wiertniczej Drilling Contractors Association (DCA-Europe).

W trakcie przygotowania **projektu wstępnego** konieczne jest szczegółowe rozpoznanie terenu przewidzianego dla trasy nowego rurociągu, ze wskazaniem rodzajów przekroczeń bezwykopowych, przy uwzględnieniu panujących warunków geologicznych, wodnych oraz istniejącej w pobliżu infrastruktury. Poza naturalnymi przeszkodami, które w oczywisty sposób wskazują na wykorzystanie technik bezwykopowych, pod szczególnym nadzorem powinny znaleźć się tereny niedostępne, gęsto zabudowane, tereny górnicze, zalewowe i podmokłe, a także tereny niestabilne i zagrożone procesami osuwiskowymi. Dla podjęcia decyzji o wyborze metody konstrukcyjnej niezbędne jest wykonanie dokumentacji geologicznej podłoża. Typ badań, ich zasięg i stopień szczegółowości rozpoznania geologicznego jest w znacznym stopniu uzależniony od wymagań formalnych oraz wytycznych, które opracował inwestor. Zlecającym badania geologiczne w większości przypadków jest projektant.

Po wskazaniu metody HDD (ang. *Horizontal Directional Drilling*, pol. *horyzontalne wiercenie kierunkowe*) jako najkorzystniejszej dla danego przekroczenia, należy określić lokalizację oraz minimalną wielkość placów maszynowych i montażowych. Wymagane rozmiary placów są ściśle związane z klasą analizowanego przekroczenia. Zarówno place maszynowe (strona wiertnicy), jak i place montażowe (strona rurociągu) powinny mieć zagwarantowaną możliwość dojazdu drogami istniejącymi lub też tymczasowymi drogami przygotowywanymi specjalnie dla realizacji zadań konstrukcyjnych. Rekomenduje się też zapewnienie dostępu do terenu położonego pomiędzy punktem wejścia i wyjścia otworu wiertniczego. Może on być wykorzystany m.in. do wykonania tymczasowych kablowych pętli pomiarowych lub też do położenia rurociągu służącego do transferu szlamu wiertniczego pomiędzy dwoma stronami przekroczenia.

Na etapie projektu wstępnego może pojawić się konieczność przygotowania analizy techniczno-ekonomicznej, potwierdzającej słuszność wybranej metody budowy. Opis przekroczenia powinien zawierać co najmniej: nazwę i typ przekraczanej przeszkody, miejsce przekroczenia w kontekście kilometrażu całego rurociągu, długość otworu w planie, określenie parametrów technicznych projektowanego rurociągu (materiał, geometria, rodzaj i grubość powłok ochronnych, lokalizację

i opis merytoryczny otworów geologicznych. Projektant powinien zwrócić się do inwestora (zamawiającego) o zatwierdzenie przyjętych rozwiązań. Z kwestiami technicznymi równolegle prowadzone są uzgodnienia formalno-prawne. Projektant występuje do zarządców i właścicieli przekraczanych przeszkód oraz obiektów o wskazanie (potwierdzenie) wymaganych warunków technicznych stawianych wobec przekroczenia. Wśród zainteresowanych podmiotów znajdują się m.in.: zarządcy dróg wszelkiego typu, szlaków kolejowych, rzek i innych cieków wodnych. W zakresie swoich kompetencji odpowiadają także m.in.: starostwa, okręgowe urzędy górnicze, Państwowe Gospodarstwo Wodne „Wody Polskie”.

Projekty związane z budową infrastruktury podziemnej, w tym rurociągów i kabli różnego przeznaczenia, wymagają tzw. **decyzji środowiskowej**. Jest to decyzja administracyjna, której zadanie polega na takim ukształtowaniu planowanego przedsięwzięcia, aby w możliwie najmniejszym stopniu ingerowało w otoczenie projektu. Decyzję środowiskową poprzedza procedura oceny oddziaływania na środowisko przyrodnicze i społeczne. Raport oddziaływania inwestycji na środowisko powstaje w oparciu o inwentaryzację przyrodniczą. Należy wskazać możliwości oraz sposoby zapobiegania i łagodzenia negatywnego oddziaływania inwestycji oraz wymagany zakres monitoringu. Dobrze widziane jest zapewnienie udziału zainteresowanych grup społecznych w postępowaniu. Wydanie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach wymaga wielu opinii i uzgodnień, np. z Regionalną Dyрекcją Ochrony Środowiska czy Państwową Inspekcją Sanitarną. Prawo nakłada obowiązek uzyskania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach przed uzyskaniem innych decyzji i pozwoleń administracyjnych. Decyzja środowiskowa wiąże organy wydające późniejsze decyzje w ramach procesu inwestycyjnego, determinując tym samym istotne cechy projektu. W ramach pozyskiwania stosownych dokumentów projektant zwraca się do zarządców rzek i firm wodociągowych o zgodę na pobór wody technologicznej, potrzebnej zarówno do przygotowania płuczki wiertniczej, jak i do prób ciśnieniowych rurociągów (jeśli takowe są wymagane). Analizie poddawane są ilości pobranej wody, objętości szlamu i urobku pozostającego po procesie wiercenia otworu i instalacji rurociągu

Kolejnym wymagany dokumentem jest **decyzja lokalizacyjna**. Projektant składa wnioski o wydanie decyzji w odpowiednim miejscowo urzędzie wojewódzkim. Obowiązkiem projektanta jest wskazanie na planie sytuacyjnym placów maszynowych, placów prefabrykacji rurociągu, dróg dojazdowych oraz przygotowanie operatów wodnoprawnych. Na ich podstawie uzyskuje się pozwolenia wodnoprawne, istotne przy przekraczaniu rzek, jezior czy mniejszych cieków wodnych. Uzyskanie decyzji o ustaleniu lokalizacji inwestycji obowiązuje przy zamierzeniach budowlanych, które w świetle prawa wymagają uzyskania pozwoleń na budowę. Wniosek o ustalenie lokalizacji planowanej inwestycji powinien precyzyjnie określać na mapie granice terenu niezbędnego do przeprowadzenia prac konstrukcyjnych, a także potencjalnie teren, na który inwestycja może (będzie) oddziaływać. Wniosek może określać także ewentualne zapotrzebowanie na wodę i energię.

Konsekwencją wcześniejszych działań biura projektowego jest przygotowanie **projektu budowlanego**, tj. dokumentu formalnego, który przedstawia przyjęte rozwiązania projektowe dla danej inwestycji rurociągowej czy kablowej. Stanowi on podstawę do uzyskania wymaganych prawem opinii, zgód i pozwoleń. Wykonany w oparciu o aktualne przepisy zawiera część opisową i rysunkową, uwzględniając przy tym wymagania inwestora. W zakresie technologii bezwykopowych w projekcie funkcjonuje tabelaryczne zestawienie planowanych przekroczeń oraz ogólny opis rozwiązań technicznych. Wymagana jest lista skrzyżowań z przeszkodami wodnymi (rzekami, ciekami, rowami melioracyjnymi), liniami kolejowymi, drogami komunikacyjnymi, innymi instalacjami rurowymi, elektrycznymi liniami kablowymi, podziemnymi liniami telekomunikacyjnymi. W projekcie wskazuje się miejsca poboru wody technologicznej dla procesów wiertniczych i testów ciśnieniowych. Rekomendowane jest także wskazanie sposobu zagospodarowania płuczki wiertniczej i odseparowanego urobku. W ramach czynności projektanta znajdują się m.in.: wystąpienie o warunki techniczne każdego przekroczenia do zarządców i właścicieli, wystąpienie do zarządcy o możliwość zaprojektowania i wykonania jazdów tymczasowych na czas realizacji projektu, wystąpienie do stosownych instytucji o informacje związane z terenami zalewowymi, terenami górniczymi

czy terenami narażonymi na przemieszczanie się mas ziemnych, zwierzelinowych i skalnych (tworzenie osuwisk). Uzupełnieniem projektu jest dokumentacja geologiczna, przygotowana z zgodnie z obowiązującym prawem i uwzględniająca wytyczne oraz wymagania inwestora. Do projektu budowlanego powinna zostać dołączona informacja dotycząca bezpieczeństwa i ochrony zdrowia w warunkach specyficznego projektu budowlanego, zakładającego wykorzystanie techniki wiertniczej.

Projekt wykonawczy jest kolejnym podstawowym składnikiem dokumentacji projektowej. Powinien on uzupełniać i uszczegóławiać projekt budowlany w zakresie i stopniu dokładności niezbędnym do wykonania kosztorysu inwestorskiego, tworzenia harmonogramów, przygotowania oferty przez wykonawcę i realizacji robót konstrukcyjnych, w tym robót wiertniczych. W tym sensie powinien on nosić cechy projektu technologicznego. W projekcie należy uwzględnić wszelkie obowiązujące wytyczne i normy branżowe, w tym wytyczne organizacji wiertniczych i kluczowych dla rynku inwestorów. Projekt powinien zawierać szczegółowy opis techniczny wybranej metody bezwykopowej, w tym wypadku HDD, bazujący na literaturze przedmiotu i doświadczeniu firm wykonawczych. Na jego podstawie można opracować plan prac związanych z podstawowymi pracami HDD i czynnościami je wspierającymi. Projekt powinien zawierać co najmniej następujące informacje w formie graficznej i opisowej:

- plan ogólny dla określenia dróg dojazdowych, placów montażowych strony rurowej i maszynowej, miejsca składowania rur, miejsca montażu rurociągu;
- parametry trajektorii przewiertu HDD, w tym określenie punktów wejścia i wyjścia, kątów wejścia i wyjścia, długości sekcji prostoliniowych i krzywoliniowych, minimalnych wymaganych promieni krzywizny, całkowitą długość otworu w planie i długość rzeczywistą, maksymalną głębokość planowanego przekroczenia i przykrycie w naturalistycznych punktach trasy;
- profil podłużny z naniesionymi rzędnymi i wrysowaną geologią;
- kalkulacje uzasadniające przyjęte rozwiązania geometryczne dla trajektorii i overbendu;
- kalkulacje spodziewanych ciśnień w głębinach i ich korelacja z ciśnieniami dopuszczalnymi;

- rekomendacje dotyczące płynu wiertniczego i programu płuczkowego;
- kalkulacje służące estymacji obciążeń przewodu wiertniczego w trakcie procesu wiercenia oraz instalacji rurociągu;
- kalkulacje służące wskazaniu potencjalnych naprężeń w instalowanym rurociągu;
- rekomendacje co do minimalnej wymaganej średnicy otworu;
- rekomendacje dotyczące minimalnej konfiguracji sprzętu wiertniczego, jaki powinien zmobilizować wykonawca robót;
- rekomendacje w zakresie wymaganych referencji spółki i kwalifikacji kluczowego personelu wykonawcy.

Zaprezentowane w projekcie budowlanym i projekcie wykonawczym rozwiązania powinny być nie tylko wykonalne, ale i poprawne pod względem formalnym oraz technicznym

Analiza wykonalności

Jest rzeczą oczywistą, że zaprezentowane w projekcie budowlanym i projekcie wykonawczym rozwiązania powinny być nie tylko wykonalne, ale i poprawne pod względem formalnym oraz technicznym. Muszą cechować się wewnętrzną spójnością i wskazywać na logiczny ciąg zdarzeń, które należy przeprowadzić dla osiągnięcia sukcesu w zakresie przedmiotu zadania przy założonym harmonogramie i budżecie. Do weryfikacji założeń projektowych powinna posłużyć analiza wykonalności, która po pewnych modyfikacjach mogłaby zostać uznana za plan wykonalności projektu HDD.

Analiza tego typu może powstać w biurze projektowym, może też zostać zlecona firmie konsultingowej specjalizującej się w analizach technicznych projektów. Niezależnie od tego, kto jest autorem takiego dokumentu, może on być tworzony w różnych fazach prac nad projektem: na etapie selekcji metody konstrukcyjnej (analiza wstępna), na etapie tworzenia projektu wykonawczego (analiza pośrednia) oraz na etapie zamknięcia prac projektowych (analiza finalna). Spółka wiertnicza powinna natomiast sporządzić dokument wymagany dla dopuszczenia jej do etapu konstrukcyjnego, który ma charakter szczegółowej instrukcji postępowania (plan wykonalności).

Analiza wykonalności bazować powinna na zobiektywizowanych kryteriach oceny, do których należą:

- wytyczne i standardy branżowe,
- wytyczne inwestora (o ile takowe istnieją),
- wytyczne uznanych organizacji technicznych,
- publikacje firm wiertniczych i firm konsultingowych,
- studia przypadków.

Analiza powinna poruszać co najmniej następujące aspekty: uzasadnienie dla wybranej metody budowy (jako analiza porównawcza bazująca na powszechnie akceptowanych kryteriach), ocenę raportu geologicznego, ocenę parametrów geometrycznych otworu, estymację dopuszczalnych ciśnień wynikających z obecności warstw nadległych, szacowanie spodziewanych ciśnień dennych dla stanów statycznych i stanów dynamicznych oraz analizę możliwych rozwiązań technicznych. Ostatni element analizy zawierać może propozycje dotyczące sposobu zarzucenia otworu, wyboru optymalnej technologii wiercenia, symulację sił osiowych i momentów obrotowych dla poszczególnych etapów robót. W bardziej rozbudowanych dokumentach mogą pojawić się rekomendacje dotyczące minimalnych wymaganych parametrów sprzętu wiertniczego i przepustowości stowarzyszonego z nim systemu płuczkowego.

Zakres stosowania analizy i zyski z niej płynące

Zdaniem autora dokument powinien być przygotowany dla każdego projektu o wskaźniku trudności otworu HDI (*Hole Difficulty Index*) powyżej 20 000, a także do innych projektów, które z racji trudnej geologii, skomplikowanej trajektorii czy nietypowych warunków zabudowy mogą narażać na problemy wykonawczych. Dzięki przygotowaniu dokumentów weryfikujących założenia projektowe dostajemy czytelną ocenę stopnia złożoności zadania oraz określenie wymaganych środków (zasobów)

technicznych, poziomu kompetencji i potencjału finansowego. Dla firm wiertniczych rzetelnie opracowany dokument jest nieocenionym wsparciem przy podejmowaniu decyzji. Jest też traktowany jako wstępna analiza ryzyka (ocena szans i zagrożeń) oraz baza dla szacowania czasu trwania poszczególnych etapów i wymaganego budżetu.

Brak analizy wykonalności lub jej niska jakość są źródłem zagrożeń, które trudno będzie wyeliminować na późniejszych etapach realizacji inwestycji. Wśród potencjalnych uchybień znajdują się: niedostosowanie zakresu badań geologicznych i stowarzyszonej z nimi dokumentacji do klasy projektu, błędne założenia projektowe w zakresie geometrii otworu, nierzetelne lub nierealistyczne rekomendacje, brak prawidłowej hierarchii w ocenie ryzyka, niedoszacowanie harmonogramu i budżetu.

Geologia

Weryfikację i ocenę projektu rozpoczynamy od bazowej dokumentacji geologicznej. Definiuje ona obszar objęty budową i determinuje wszystkie działania spółki wiertniczej. Budowa

rurociągów metodą HDD wymaga starannego i dostosowanego do klasy przekroczenia rozpoznania geologicznego. Dla mniej skomplikowanych projektów (HDI poniżej 5 000) wykonuje się na ogół opinie geotechniczne. Projekty bardziej złożone wymagają przygotowania rozbudowanej dokumentacji badań podłoża gruntowego w celu określenia warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb inwestycji.

Wymagania inwestorów z różnych branż nie są spójne. Co więcej, wielu inwestorów nie stawia szczegółowych (specyficznych) warunków, które dokumentacja geologiczna powinna spełniać. Wyraznym wyjątkiem od tej reguły jest spółka Gaz-System S.A., posiadająca własne wytyczne dla badań geologicznych wykonywanych w celu rozpoznania warunków zabudowy.

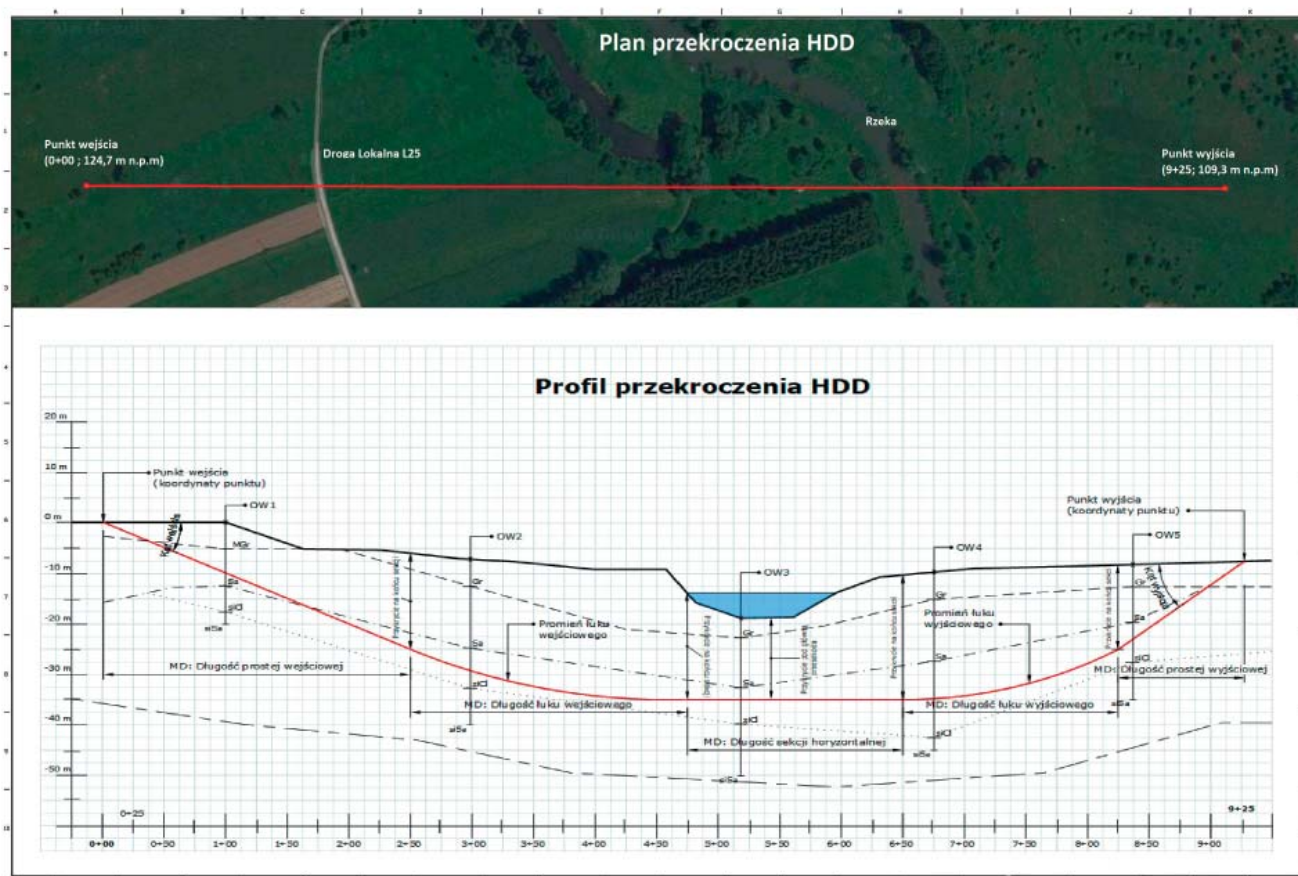
Rekomendacje obejmują poniższe metody badawcze: wiercenia geologiczne (w tym te z pełnym poborem rdzenia), sondowania różnego typu oraz badania geofizyczne.

Na podstawie wyżej wymienionych badań oczekuje się określenia takich parametrów, jak:

- stopień zagęszczenia dla gruntów sypkich (niespoistych);

- stopień plastyczności i granic Atterberga (dla gruntów spoistych);
- wytrzymałość na ścinanie bez odpływu w stropie i spągu warstwy;
- wilgotność naturalna;
- rozkład granulometryczny;
- gęstość objętościowa szkieletu gruntowego;
- spójność;
- kąt tarcia wewnętrzny;
- edometryczny moduł ścisłości;
- współczynnik Poissona;
- wytrzymałość na ściskanie R_c – dla litych skał;
- wskaźnik spękań formacji skalnej RQD;
- wskaźnik jakości masywu skalnego RMR.

Przed rozpoczęciem prac geologicznych należy wykonać analizę archiwalnych materiałów geologicznych i przeprowadzić wizję lokalną na terenie przekroczenia. Otwory badawcze powinny być wykonywane w odstępach nie mniejszych niż 100 m, wzdłuż trasy planowanego rurociągu w odległości od 5 do 20 m od osi otworu, po obu jej stronach naprzemiennie. Ciekły wodne o szerokości do 50 m powinny zostać rozpoznane geologicznie



poprzez wykonanie dwóch otworów po obu brzegach, a obszar pomiędzy nimi powinien być zinterpretowany przez badania geofizyczne. Cieki wodne o większej rozpiętości powinny dodatkowo posiadać rozszerzone rozpoznanie o otwór badawczy wykonany w dnie rzeki. Głębokość otworów badawczych powinna sięgać 10 m poniżej planowanej rzędnej posadowienia rurociągu. W przypadku istotnych inwestycji wykonywane otwory powinny być otworami pełnordzeniowymi, a pobrany materiał należy badać zgodnie z obowiązującymi normami. Otwory geologiczne muszą zostać zlikwidowane za pomocą korków cementowych lub itowych, a likwidacja powinna być potwierdzona stosownym protokołem.

Najważniejsze pytania, jakie sobie musimy postawić na etapie weryfikacji, dotyczą następujących kwestii: jaki był zakres badań konwencjonalnych i geofizycznych; czy otwory wiercone i sondowania są wykonane; czy wykonane są badania i testy laboratoryjne; czy dostępna jest dokumentacja fotograficzna potwierdzająca działania geologów; czy część opisowa dokumentacji jest wystarczająco szczegółowa i zrozumiała, czy doprecyzowane są ryzyka geologiczne, czy badania należy rozszerzyć o dodatkowe czynności?

Raport informuje nas o podziale warstw i ich wieku. Każdej wyodrębnionej warstwie przydzielone są charakterystyczne parametry, w tym m.in.: gęstość, stopień zagęszczenia, stopień plastyczności, kohezja, rozkład granulometryczny, a dla formacji skalnych wskaźnik jakości rdzenia czy jego wytrzymałość na ściskanie. Geolog, mając świadomość tego, jakie jest przeznaczenie jego raportu, powinien: dokonać obiektywnej oceny stanu faktycznego podłoża w kontekście specyfiki metody HDD, określić przydatność poszczególnych warstw dla celów wiertniczych (wytworzenie w niej stabilnego otworu) i zapewnienia równowagi ciśnień, oszacować prawdopodobieństwo kolizji z dużymi obiektami, skupiskami kamieni, rumoszu i żwiru, określić parametry masywów ilastych (iłów, glin ilastych, iłowców itp.), a w przypadku występowania skał litych odnieść się do jakości rdzenia, parametrów wytrzymałościowych i potencjalnej zwieralności formacji.

Geolog dokonuje rozróżnienia typów warstw na nośne i nienośne, spoiste i niespoiste, skały lite, zwietrzelinę i rumosz. Zarówno projektant, jak i wykonawca robót wiertniczych musi umieć zinterpretować raport geologiczny i odnieść go

do specyfiki metody HDD. Po jego lekturze powinniśmy umieć ocenić parametry geotechniczne warstw przewiercanych jako korzystne lub niekorzystne, ocenić jakość nadkładu i warunki hydrogeologiczne, skorelować warstwy z profilem wiercenia, skontrolować wykonalność zaplanowanej trajektorii, opracować możliwie najbardziej szczegółową strategię działania.

Obserwując rynek wiertniczy, dochodzimy do wniosku, że na badaniach geologicznych nie warto oszczędzać. Nie dostrzegając zagrożeń, popełniamy błędy projektowe i wykonawcze, nie potrafimy tworzyć planów alternatywnych, ponieważ nie znamy precyzyjnie otoczenia geologicznego. Zdajemy się często na przypadek i płacimy za zdarzenia nieoczekiwane w taki sposób, że musimy stawić czoła komplikacjom i awariom wiertniczym. W konsekwencji narażamy się na ryzyko sporów pomiędzy stronami kontraktu. Kwestionowana może być przy tym wysokość budżetu, a ryzyko opóźnień jest wówczas wysokie.

Obserwując rynek wiertniczy, dochodzimy do wniosku, że na badaniach geologicznych nie warto oszczędzać

Geometria otworu – trajektoria

Planowanie otworów kierunkowych jest zajęciem wymagającym od projektanta interdyscyplinarnych umiejętności. Trajektorია otworu musi być wykonalna w kontekście topografii, geologii, techniki wiertniczej i parametrów zaplanowanego rurociągu. Jej kształt powinien zostać pozytywnie oceniony według kryteriów wynikających z wytycznych branżowych i dotychczasowych doświadczeń rynku. Powinien być ponadto zgodny z możliwościami sprzętowymi (dopasowanie do urządzenia wiertniczego i przewodu wiertniczego).

Czwarta edycja wytycznych opracowanych przez Drilling Contractors Association zawiera ogólne rekomendacje, które odnoszą się do geometrii otworu, kątów, odległości, długości

sekcji, głębokości otworu, dokładności wiercenia oraz wymaganego przykrycia.

Punkt wejścia i wyjścia powinny zostać precyzyjnie zdefiniowane i wyznaczone w terenie przez uprawnionego geodetę. Odchyłka w punkcie wejścia nie powinna być wyższa niż 0,3 m.

Kąt wejścia i wyjścia otworu kierunkowego ma być odpowiedni w stosunku do średnicy i specyfiki materiału instalowanego rurociągu. Co do zasady, kąt wejścia powinien pozostać w przedziale pomiędzy 6° a 18°. Kąt wyjścia determinowany jest również przez rodzaj i wielkość urządzenia wiertniczego, ukształtowania terenu, odległości od przeszkody głównej. Od każdej reguły istnieją wyjątki. Nie jest więc niczym nadzwyczajnym znaleźć urządzenie kompaktowe, wierzące przy pochyleniu powyżej 20°. Równocześnie, jako generalna zasada, jest uznawane, że kąt wyjścia powinien być tym mniejszy, im większa jest średnica rurociągu. W praktyce spotyka się więc kąty wyjścia na poziomie od 4° do 15°. Dla zastosowanego kąta wyjścia należy prawidłowo zaprojektować i wykonać overbend, by stalowy rurociąg był swobodnie wprowadzany do otworu podczas instalacji. Rurociągi wykonane z tworzyw sztucznych mogą być instalowane bez wykonywania overbendu.

Sekcje wejścia i wyjścia powinny zostać zaprojektowane jako odcinki prostoliniowe, bez istotnych zmian kątowych zarówno po stronie inklinacji, jak i azymutu. Podyktowane jest to mniejszą miąższością nadkładu i słabszą (mniej zwartą) formacją. Długość początkowych i końcowych odcinków otworu jest tym większa, im większa jest całkowita długość przekroczenia i głębokość otworu. Dodatkowa rekomendacja wynika ze średnicy i masy przewodu wiertniczego. Im jest on bardziej ciężki i sztywny, tym odcinek początkowy i końcowy powinny być dłuższe. W praktyce oznacza to, że długość sekcji wejściowej waha się od kilkunastu do nawet 200 m. Sekcja wyjściowa służy do korekty aktualnej pozycji narzędzia w stosunku do pozycji zaprojektowanej. Konieczność korygowania przebiegu trajektorii w ostatniej fazie wiercenia determinowana jest wymaganą dokładnością w punkcie wyjścia.

Sekcje łuku wejściowego i wyjściowego służą do osiągnięcia określonej głębokości przy promieniu krzywizny nie mniejszym od określonych w wymaganiach techniczno-technologicznych. Promienie łuków wejściowych i wyjściowych mogą się między sobą różnić.

Sekcja głęboka o stałej inklinacji (sekcja horyzontalna) jest opcjonalnym odcinkiem otworu. Z rekomendacji doświadczonych firm świadczących usługi nawigacyjne w otworach wynika, że nie powinna być ona krótsza niż 10% długości otworu. ROE rekomenduje, aby nadatek ciśnienia dopuszczalnego nad potencjalnym dynamicznym ciśnieniem dennym wynosił w sekcji głębokiej otworu nie mniej niż 1 bar dla otworów o długości do 500 m i powyżej 2 barów dla otworów o długości powyżej 1000 m.

Długość rzeczywista otworu to całkowita (łącznie) długość wszystkich sekcji prostych i zakrzywionych pomiędzy punktem wejścia i wyjścia, mierzona w jego osi. Jest to zawsze większa wartość niż długość otworu w planie, która uwzględnia długości sekcji będących rzutem na płaszczyznę poziomą.

Głębokość otworu i przykrycie to dwa zbliżone do siebie pojęcia. Pierwsze oznacza różnicę w rzędnych pomiędzy punktem wejścia i dowolnym punktem trajektorii (osi wierconego otworu), drugie jest związane z odległością mierzoną w pionie od dowolnego punktu trajektorii do jego odpowiednika na powierzchni terenu czy też na dnie przeszkody wodnej. W specyficznych warunkach terenowych (stała rzędna powierzchni) głębokość otworu będzie równa przykryciu. Minimalne wymagania stawiane przykryciu pod jeziorami, rzekami, wałami przeciwpowodziowymi i innymi newralgicznymi miejscami dla instalacji rurowych nie powinny być mniejsze niż 5 m lub piętnastokrotność średnicy zewnętrznej rury. Jest to jednak tylko wartość orientacyjna. Dla większości dłuższych przekroczeń HDD wartość przykrycia jest większa, gdyż musi zapewnić prawidłowy obieg płuczki w otworze i równoważenie potencjalnego ciśnienia dennego przez warstwy nadkładu. Generalnie, im większe jest przykrycie, tym mniejsze jest ryzyko szczelinywania hydraulicznego do powierzchni terenu i destabilizacji (wynoszenia i zapadania się gruntu). Wartości ciśnień dopuszczalnych można oszacować, posługując się modelami geotechnicznymi, i skorelować z danymi pochodzącymi z rzeczywistych otworów wierconych w podobnych warunkach.

Relacja długości otworu do jego głębokości i przykrycia – jest to jeden z kluczowych wskaźników determinujących stopień trudności otworu kierunkowego. Wartość ilorazu długości całkowitej do średniego przykrycia w sekcji głębokiej otworu powinna być mniejsza niż 30 dla większości typowych warunków geologicznych.

Różnica w elewacjach pomiędzy newralgicznymi punktami trajektorii powinna być przedmiotem wnikliwej analizy. Powinny zostać określone różnice rzędnych pomiędzy punktami wejścia (strona maszynowa) i wyjścia (strona rurociągową), a także różnice pomiędzy punktami skrajnymi a dnem przeszkód wodnych. W warunkach otwartego z dwóch stron otworu można spodziewać się tendencji do wyrównywania w nim poziomów płuczki. W przypadku różnicy wejście/wyjście wynoszących powyżej 5 m należy przeanalizować dokładnie warunki geologiczne w obszarze punktu wyższego i wprowadzić ewentualne plany zaradcze w celu ograniczenia ryzyka destabilizacji ściany otworu. Środki zaradcze powinny zostać opisane szczegółowo w planie wykonalności opracowanym przez spółkę wiertniczą.

Promień krzywizny trajektorii wierconego otworu są determinowane wieloma czynnikami technicznymi, do których należą: parametry instalowanego rurociągu, parametry stosowanych elementów przewodu wiertniczego, długość otworu i otoczenie geologiczne. Promień krzywizny ma szczególne znaczenie przy planowaniu instalacji rurociągów stalowych. Stosowana powszechnie przez biura projektowe formuła DCA koreluje trzy parametry: zewnętrzną średnicę i grubość ścianki rury, a także dominujące warstwy geotechniczne, przez które wiercony jest otwór.

- $R_{\text{projektowany}} = C \times \sqrt{(D_a \times s)}$
- R projektowany – planowany minimalny promień (m)
 - C – stała charakterystyczna dla otoczenia geologicznego (wg tabeli zamieszczonej w wytycznych DCA)
 - D_a – zewnętrzna średnica rurociągu (m)
 - s – grubość ścianki rurociągu (m)

Krzywizny horyzontalne (łuki w płaszczyźnie poziomej) to zaprojektowane odcinki otworu o zmieniającym się azymucie (kierunku wiercenia). Promienie takich łuków nie powinny być mniejsze niż dla łuków realizowanych w płaszczyźnie pionowej. Nie rekomenduje się bez wyraźnej potrzeby planowania otworów z jednoczesną zmianą inklinacji i azymutu. Dla skutecznej kontroli zachowania się osi otworu wierconego ze zmianą azymutu wymagane jest stosowanie żyrokompasowego lub magnetycznego systemu nawigacji.

Suma zaplanowanych zmian kątowych to jeden z parametrów determinujących stopień

trudności otworu kierunkowego. Należy przy tym pamiętać, że są to wartości teoretyczne. Praktyka wiertnicza i weryfikujące ją pomiary w otworze wskazują, że suma rzeczywistych zmian kątowych będzie wyższa. Wyróżniamy otwory o trajektoriach prostych (suma do 15° zmian kątowych), umiarkowane złożonych (od 15° do 30°), złożonych (od 30° do 60°) i skomplikowanych (powyżej 60°). Dodatkowym parametrem weryfikującym jest średnia intensywność zmian kątowych na 100 m wierconego otworu.

Planowanie otworów
kierunkowych jest zajęciem
wymagającym od projektanta
interdyscyplinarnych
umiejętności

Overcut to parametr określający stosunek nominalnej średnicy otworu do średnicy zewnętrznej rurociągu instalowanego. Jako wielkość odniesienia powinna być brana średnica rury w najszerszym miejscu (jako zasada w miejscu łączenia: żeliwne rury, złącza elektrooporowe). Odpowiednio zaprojektowany overcut to jeden z wymogów dla bezpiecznej instalacji. Ogólnie akceptowalne współczynniki mieszczą się w granicach od 1,5 (rury o małych średnicach i/lub formacje niestabilne) do 1,2 (dla rur o większych średnicach i otworów wierconych w formacjach stabilnych). Należy w tym miejscu zaznaczyć, że nie ma powszechnie przyjętych metod, które pozwoliłyby oszacować minimalną i zarazem bezpieczną średnicę dla otworów HDD (pojedyncze rury lub wiązki rur). W związku z tym trzeba odnieść się do praktyki wiertniczej, która została opisana powyżej.

Wymagana dokładność wiercenia to wskazanie wymaganych tolerancji, w jakich powinna się zmieścić spółka wiertnicza realizująca projekt. Zgodnie z wytycznymi organizacji wiertniczych dla wykonania otworu pilotowego mają miejsce następujące rekomendacje:

- oś instalacji może odbiegać w każdym kierunku o max. 10% maksymalnej głębokości

wierconego otworu, oprócz punktu wejściowego i wyjściowego. Linia odniesienia jest prostą łączącą punkt wejściowy i wyjściowy otworu;

- faktyczny promień krzywizny osi otworu nie powinien odbiegać w dół więcej niż o 10% od założonego promienia konstrukcyjnego;
- odchylenia w punkcie wejściowym mogą wynieść tyle, ile średnica rury, jednak maksymalnie 0,3 m;
- odchylenia w punkcie wyjściowym mogą wynieść maksymalnie 2% długości otworu, ale nie więcej niż 5 m;
- przy ocenie tolerancji muszą zostać wzięte pod uwagę: dokładność pomiarów, obliczeń i poziom zidentyfikowanych zakłóceń mogących mieć wpływ na pracę systemów nawigacji.

Jeśli na etapie wykonawstwa otworu pilotowego odchylenia osi będą większe niż rekomendowane przez organizacje branżowe lub określone bezpośrednio w projekcie, spółka wiertnicza powinna uzyskać akceptację dla tego typu zdarzenia od swojego klienta, właściciela inwestycji i właściwego dla tego zadania biura projektowego. Finalny raport dotyczący wiercenia pilotowego powinien zostać przedłożony przez spółkę do akceptacji przed rozpoczęciem fazy poszerzania otworu.

Analiza ciśnień

Analiza ciśnień to jedna z kluczowych i wymaganych przez normy branżowe kalkulacji, która powinna być zamieszczona w projekcie i/lub w analizie jego wykonalności. Jej waga wynika z faktu, że wiercenie HDD to działanie, w którym należy zachować właściwe proporcje pomiędzy zwierzaną fazą stałą, tłoczonym do otworu strumieniem płuczki oraz panującym w otworze ciśnieniem. Proces drążenia otworu powinien być procesem kontrolowanym i opomiarowanym. W jego wyniku powstanie stabilne wyrobisko wypełnione płuczką wiertniczą zmieszaną z urobkiem. Przy założeniu prowadzenia prac na właściwej głębokości i przy prawidłowym przykryciu, w otoczeniu nośnego gruntu rodzimego, proces przebiega w sposób mało inwazyjny i bezpieczny dla bezpośredniego otoczenia. Projektant powinien założyć, że warunkiem koniecznym dla prawidłowego prowadzenia robót wiertniczych jest właściwy bilans ciśnień. Ciśnienie dopuszczalne, wynikające z obecności

warstw nadległych, jest limitem, który musimy respektować, planując i realizując prace. Trwałe przekroczenie wartości ciśnienia dopuszczalnego wewnątrz otworu skutkuje pęknięciem ściany, tworzeniem się szczelin i niekontrolowaną migracją płuczki na powierzchnię terenu lub też w głąb przewiercanej formacji.

Analiza ciśnień wykonana przez projektanta musi wykazać, że:

- ciśnienie wynikające z jakości nadkładu powinno być większe od potencjalnego ciśnienia dennego (panującego wewnątrz otworu), wytworzonego w procesie wiercenia;
- ciśnienie dennie powinno być jednocześnie większe od ciśnienia porowego.

Gradient ciśnienia porowego dla młodych osadów czwartorzędu i neogenu zbliżony jest do wartości 1 bar/10 m. Oznacza to, że otwór pozostanie stabilny dopóki będzie się w nim znajdował płyn wiertniczy. Zaleca się, aby wierząc na niedużych głębokościach typowych dla techniki HDD, nie przekraczać ciężaru właściwego płuczki w otworze wynoszącego 1,4 G/cm³. Niższa koncentracja fazy stałej wpływa bowiem korzystnie zarówno na ciśnienie hydrostatyczne, jak też na opory przepływu cieczy lepkiej w przestrzeni pierścieniowej otworu.

Poziom ryzyka
identyfikowanego dla
technologii HDD rośnie wraz ze
wzrostem skali projektu

Rozpoczynając prace analityczne nad uproszczoną analizą ciśnień dopuszczalnych, należy dokonać podsumowania wyodrębnionych w wyniku badań geologicznych warstw. Każdej z wyodrębnionych warstw należy przypisać zakres spodziewanego (estymowanego na podstawie dotychczasowych doświadczeń i praktyki) gradientu szczelinowania. Do dobrego zwyczaju należy podanie kluczowych parametrów geotechnicznych pozyskanych w badaniach laboratoryjnych lub oszacowanych na podstawie obserwacji poczynionych w trakcie wierceń badawczych. Na tej podsta-

wie można przewidzieć zachowanie (odporność) formacji wobec działania wiertniczego.

Szacunkowe wartości gradientu ciśnienia szczelinowania wynoszą:

- woda w rzece lub innym zbiorniku wodnym traktowana jako nadkład 1,0 bar/10 m słupa wody;
- warstwy nienośne i słabonośne: 1,2–1,9 barów/10 m miąższości warstwy;
- warstwy piaszczysto-żwirowe: 1,8 do 2,6 barów/10 m miąższości warstwy;
- warstwy ilaste (pyły, gliny, iły) 2,6–4 barów/10 m miąższości warstwy;
- warstwy identyfikowane jako skały lite > 4 barów/10 m miąższości warstwy.

Klasyfikowanie warstw i przydzielanie im hipotetycznego gradientu ciśnienia szczelinowania powinno odbywać się w korelacji z parametrami geotechnicznymi gruntu, warunkami jego zalegania, przebiegiem granic warstw, występowaniem stref słabonośnych i nienośnych. Analizy takiej powinien dokonać doświadczony geotechnik. W przypadku braku oszacowania takich gradientów należy odwołać się do doświadczenia spółek wiertniczych i firm konsultingowych, monitorujących proces wiercenia i analizujących zaistniałe przypadki szczelinowania hydraulicznego. Jeśli takie przypadki zostały opomiarowane za pomocą ciśnieniomierzy wgłębnych, mamy realne dane do wyliczenia gradientów ciśnienia szczelinowania. Każdorazowo w takim przypadku należy oszacować stan nadległego gruntu, korzystając z dostępnego raportu geologicznego.

W kolejnym kroku należy wskazać na punkty pomiarowe, dla których obliczymy ciśnienie dopuszczalne. Mogą to być punkty związane z wierconymi otworami (o ustalonej budowie geologicznej), ale też punkty pośrednie, dla których dokonujemy ekstrapolacji. Nie może przy takim podejściu zabraknąć punktów określających newralgiczne punkty przekroczenia (dno przeszkody wodnej, linia kolejowa, droga itp.). W wyniku analizy powinniśmy uzyskać krzywą ciśnień dopuszczalnych (ciśnień szczelinowania hydraulicznego nadkładu). Analiza ciśnień dopuszczalnych może być przeprowadzona także według innego modelu dostępnego na rynku. Do takich analiz z powodzeniem można wykorzystać symulacje wynikające z formuł opracowanych przez holenderską

politechnikę z Delft. Oprogramowanie tego typu powinno się znaleźć w zasobach każdego renomowanego biura projektowego.

Mając wypracowaną linię ciśnień dopuszczalnych w układzie X (długość otworu), Y (wartość ciśnienia), poszukujemy dwóch kolejnych krzywych określających zmiany ciśnienia hydrostatycznego w otworze wraz z jego długością oraz, co istotniejsze, krzywą odwzorującą ciśnienia denne o charakterze dynamicznym. Dla tych samych punktów pomiarowych, dla których określiliśmy ciśnienie dopuszczalne, należy obliczyć ciśnienie denne, bazując na spodziewanych ciśnieniach hydrostatycznych i szacunkowych (lecz prawdopodobnych) gradientach ciśnień cyrkulacyjnych. Ciśnienie cyrkulacyjne interpretujemy jako opór przepływu cieczy lepkiej od punktu pomiarowego do charakterystycznego punktu wejścia (lub wyjścia) na powierzchni terenu. W wyniku działań analitycznych otrzymujemy trzy krzywe: ciśnień dopuszczalnych, ciśnień dennych hydrostatycznych (brak cyrkulacji w otworze) i ciśnień dennych dynamicznych (cyrkulacja w otworze). Projektant ma obowiązek porównać uzyskane krzywe i wyciągnąć wnioski. Przebieg krzywych potwierdzi lub wykluczy przyjętą wstępną trajektorię otworu. Krzywa ciśnień dopuszczalnych powinna pozostawać powyżej krzywej dennych ciśnień dynamicznych na co najmniej 70% długości otworu pilotowego i 100% długości otworu w fazie jego poszerzania oraz w fazie instalacji rurociągu. Dla fazy wiercenia pilotowego należy przygotować wykresy w dwóch wariantach: dla pierwotnej wersji punktów wejścia i wyjścia, a także dla wersji alternatywnej, polegającej na zamianie funkcjonalnej stron (punkt wyjścia staje się nowym punktem wejścia).

W niektórych rozwiązaniach projektowych, ze względu na skomplikowaną sytuację wynikającą z lokalizacji, długości przekroczenia i średnicy rurociągu, sytuacji geologicznej i powiązanej z nią rozkładem ciśnienia dennego w relacji do ciśnienia dopuszczalnego, istnieje kilka możliwych wariantów postępowania. Dopuszcza się wiercenie otworu pilotowego wiertnicą zlokalizowaną w punkcie o niższej rzędnej, a następnie przesunięcie jej do punktu wyższego w celu wykonania pozostałych faz robót. Dzięki takiemu zabiegowi rozkład ciśnień jest korzystniejszy i redukujemy ryzyko zaburzeń w prawidłowym obiegu płuczki wiertniczej.

Weryfikacja organizacji placu budowy

Obowiązkiem projektanta jest przedstawienie planu sytuacyjnego. Plan taki powinien zawierać według wytycznych branżowych co najmniej następujące szczegóły: topografię terenu, współrzędne punktów wejścia i wyjścia przewiertu w relacji do odpowiedniego geodezyjnego systemu odniesienia, trajektorię osi przewiertu, szczegóły dotyczące promieni krzywizn realizowanych w płaszczyźnie poziomej, naniesioną pozycję wierceń i sondowań oraz ich zasięg, lokalizację zidentyfikowanych potencjalnych kolizji, np. istniejących rurociągów, fundamentów, umocnień itp. Na planie powinien być też wskazany kierunek północy geograficznej.

Elementem dokumentacji jest także plan zagospodarowania placu budowy, uwzględniający zarówno stronę maszynową, jak i rurociągową. Należy określić na nim wymiary placów maszynowych, drogi manewrowe czy drogi dojazdowe. Na planie powinny zostać rozmieszczone główne komponenty systemu wiertniczego, w tym: wiertnica horyzontalna, kabina wiertacza (jeśli nie jest zintegrowana z urządzeniem), system płuczkowy (w tym pompa wysokociśnieniowa, system kondycjonowania płuczki, system separacji faz, zbiorniki na wodę technologiczną). Ponadto wskazane powinny zostać: sposób zakotwienia wiertnicy, pozycja i wymiary zbiorników ziemnych na płuczkę i urobek, lokalizacja miejsc składowania materiałów płuczkowych, kontenerów warsztatowych i biurowych (o ile są przewidziane dla tej klasy projektu), miejsce składowania przewodu wiertniczego i narzędzi wgłębnych. Rozmieszczenie sprzętu oraz wykopy na płuczkę należy zaprojektować w obrębie pasów montażowych.

Dla strony rurociągowej powinien powstać plan konstrukcyjny overbendu, wskazujący na jego promień oraz maksymalną wysokość. Dokument może definiować też pozycję podpór rolkowych i odległości między nimi. W przypadku długich instalacji możliwe jest przygotowanie liry rurociągu w więcej niż jednym odcinku.

Wykonawca robót wiertniczych winien przedstawić w planie wykonalności komentarz i wnieść ewentualne zmiany do proponowanego przez projektanta planu zagospodarowania placu maszynowego (*Rig Side*) i rurociągowego (*Pipe Side*). Dla projektów angażujących średni i duży sprzęt wiertniczy

plac maszynowy i rurowy po wcześniejszym wyrównaniu powinny zostać wyłożone płytami stalowymi lub płytami betonowymi. Wskazane drogi dojazdowe powinny posiadać nośność i trwałość adekwatną do specyfiki zaangażowanego sprzętu oraz zastosowanej technologii prac wiertniczych. Zjazdy oraz ostatnie odcinki dojazdowe do budowy mogą zostać wykonane z płyt betonowych. Sprzęt wiertniczy jest dostarczany transportem kołowym. W zależności od klasy projektu, trzeba dostarczyć od kilku do około dwudziestu ciężkich transportów na etapie mobilizacji oraz dodatkowych transportów z materiałami pędnymi i eksploatacyjnymi (np. materiały płuczkowe). Konieczny jest też bieżący odbiór z terenu wiertni urobku i pozostawienie go po pracach wiertniczych szlamu.

Podsumowanie

Poziom ryzyka identyfikowanego dla technologii HDD rośnie wraz ze wzrostem skali projektu. W związku z tak postawionym problemem wydaje się uzasadnione położenie dużego nacisku na etap projektowania i planowania operacji wiertniczych. Biura projektowe specjalizujące się w aplikowaniu techniki HDD wykazują coraz więcej zrozumienia dla konieczności weryfikacji tworzonej dokumentacji. Wzrasta też świadomość tego, co jest realistyczne i wykonalne, a co mało prawdopodobne. Dysponowanie wiedzą wynikającą z obserwacji i analizy bieżących projektów może poprawić jakość przyszłych projektów. Kolejnym krokiem może być wzbogacenie wiedzy teoretycznej o doświadczenie polowe. Wtedy okaże się, dlaczego tak ważne są precyzyjne i dobrze udokumentowane raporty geologiczne, wykonana w oparciu o realistyczny model analiza ciśnień czy zrozumienie zjawisk zachodzących w wierconych otworach. 

W najbliższych numerach kwartalnika „Inżynieria Bezwypokowa” zostaną opublikowane kolejne części artykułu. Będą to:

Część IV: Selekcja urządzeń i materiałów

Część V: Konfiguracja wyposażenia wgłębного

Część VI: Programy technologiczne i technika wiercenia

Część VII: Dokumentacja i raporty. Wymagania kompetencyjne

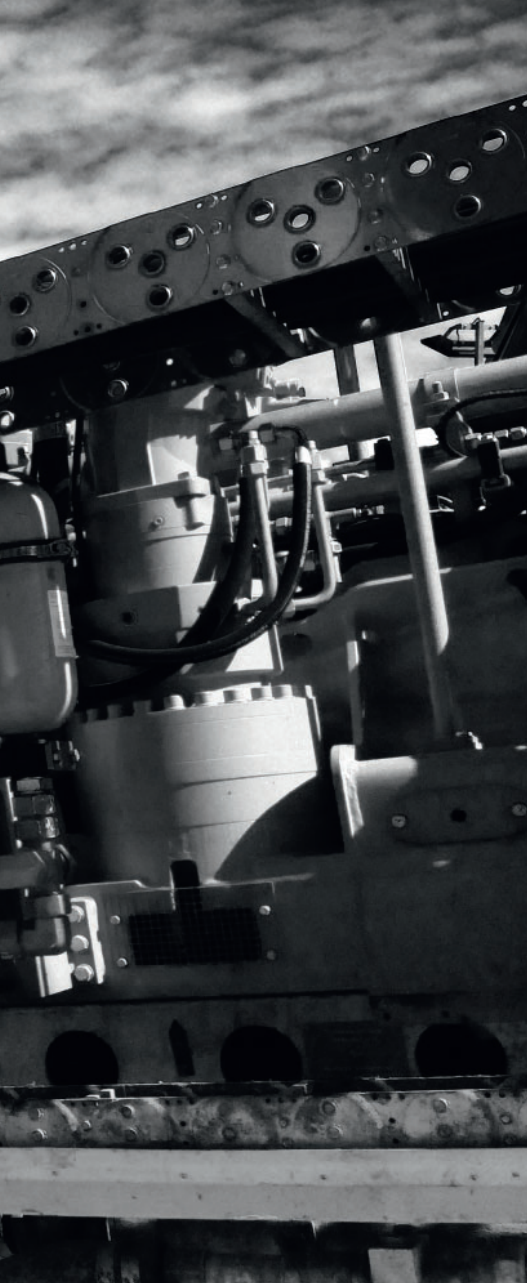
Część VIII: Zarządzanie projektem. Harmonogram i budżet.



BEZWYKOPOWA BUDOWA

PLANOWANIE I REALIZACJA PROJEKTÓW HDD

CZĘŚĆ IV: KATEGORYZACJA I SELEKCJA URZĄDZEŃ



ROBERT OSIKOWICZ
ROE

(ur. 1966), absolwent Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Zajmuje się technologią wiercenia otworów kierunkowych i praktycznymi aplikacjami płynów wiertniczych w otworach różnego przeznaczenia. Jest autorem ponad 20 referatów wygłoszonych na międzynarodowych konferencjach technicznych, a także szeregu publikacji dotyczących konfiguracji sprzętu, optymalizacji techniki wiercenia, analiz rynku technologii bezwykopowych, zarządzania jakością i ryzykiem w działaniach wiertniczych, tworzenia harmonogramów i budżetów projektów. Od 2009 r. pracuje dla firmy Robert Osikowicz Engineering. Firma jest członkiem międzynarodowej branżowej organizacji wiertniczej Drilling Contractors Association (DCA-Europe).

Jakie są główne elementy wyposażenia stosowanego na powierzchni terenu i kryteria wyboru bazujące na możliwie precyzyjnym dostosowaniu urządzeń do stopnia złożoności projektu? Za dostarczenie sprzętu odpowiedniej klasy odpowiada spółka wiertnicza, jednak już na etapie tworzenia koncepcji technicznej, projektant i jego konsultacji powinni określić minimalne wymagania co do zaangażowanych urządzeń wiertniczych i systemów płuczkowych. Lepsze lub gorsze dopasowanie sprzętu rodzić będzie niższe lub wyższe ryzyko związane z niedotrzymaniem harmonogramu, nieuzyskaniem wymaganej jakości, czy przekroczeniem założonego budżetu

KATEGORIE REALIZOWANYCH PROJEKTÓW WG WSKAŹNIKA HDI

Jak wynika z analizy statystycznej przeprowadzonych dotychczas w Polsce projektów HDD, istnieje wyraźna korelacja pomiędzy klasą projektu a wykorzystanym urządzeniem wiertniczym. Zaproponowany przez ROE wskaźnik trudności otworu HDI (*Hole Difficulty Index*) jest iloczynem średnicy rurociągu (cale) i długości instalacji (metry), przy czym długość otworu ma wyższy priorytet niż pole przekroju poprzecznego zabudowywanej rury. Poniżej wskazano na sześć kategorii realizowanych projektów HDD od bardzo małych (HDI poniżej 2.000) do ekstremalnych (HDI powyżej 40.000). Zaproponowane kategorie (przedziały) zostały wyodrębnione na podstawie doświadczenia autora i aktualnego poziomu techniki HDD w Polsce. Wskaźnik HDI należy traktować jako jeden z parametrów wpływających na ewaluację projektu. Do innych istotnych czynników wpływu należy zaliczyć: rodzaj pokonywanej przeszkody, warunki geologiczne i hydrologiczne, trajektorię otworu, zastane lub stworzone warunki zabudowy.

Dla lepszego zrozumienia problemu selekcji i doboru sprzętu do analizowanego projektu, dostępne na rynku wiertnice HDD podzielono na dwa obszary: urządzenia kompaktowe i pełnowymiarowe. Dodatkowo w każdej z tych grup wydzielono po dwie klasy sprzętu: mini i midi wśród wiertnic kompaktowych oraz maxi i mega wśród wiertnic obsługujących przewód wiertniczy o długości pojedynczego kawałka powyżej 9 m. Drugą zmienną w dwuwymiarowej macierzy jest kategoria projektu

wynikająca z poziomu wskaźnika HDI. Ilość zrealizowanych projektów została oszacowana na podstawie aktualnych list rankingowych publikowanych regularnie przez firmę ROE na łamach „Inżynierii Bezwykopowej”. Łączna ilość projektów określonych jako średnie, duże, bardzo duże i ekstremalne nie przekracza dziesięciu procent. To wskazuje, że codziennością są projekty małe i bardzo małe, które można traktować jako rutynowe. Projekty większe (HDI powyżej 5.000 punktów) nie są tak powszechne, tym niemniej odpowiadają za ponad 50% wartości sprzedanych specjalistycznych usług. Na podstawie list projektów obejmujących lata 1991–2019 można wskazać najczęściej wykorzystywane konfiguracje sprzętowe. Należy założyć, że im wyższy udział danej klasy sprzętu w poszczególnych kategoriach projektów, tym lepsze dopasowanie sprzętu do wymagań projektowych, nie tylko pod względem technicznym, ale i finansowym. Zaproponowane parametry należy traktować jako orientacyjną wytyczną.

KLUCZOWE KOMPONENTY SYSTEMÓW WIERTNICZYCH

Istnieje kilka podstawowych układów (podsystemów) wymaganych dla wykonywania robót wiertniczych w ramach budowy rurociągowych instalacji podziemnych:

- wiertnica kierunkowa służąca do wywierania sił osiowych (pchanie i ciągnięcie) na przewód wiertniczy oraz podtrzymywanie obrotów przewodu, a w konsekwencji do zapewnienia wymaganego momentu obrotowego;

Średnica Długość	6"	8"	10"	12"	16"	20"	24"	28"	32"	40"	
100	600	800	1.000	1.200	1.600	2.000	2.400	2.800	3.200	4.000	
200	1.200	1.600	2.000	2.400	3.200	4.000	4.800	5.600	6.400	8.000	
300	1.800	2.400	3.000	3.600	4.800	6.000	7.200	8.400	9.600	12.000	
400	2.400	3.200	4.000	4.800	6.400	8.000	9.600	11.200	12.800	16.000	
500	3.000	4.000	5.000	6.000	8.000	10.000	12.000	14.000	16.000	20.000	
600	3.600	4.800	6.000	7.200	9.600	12.000	14.400	16.800	19.200	24.000	
700	4.200	5.600	7.000	8.400	10.200	14.000	16.800	19.600	22.400	28.000	
800	4.800	6.400	8.000	9.600	12.800	16.000	19.200	22.400	25.600	32.000	
900	5.400	7.200	9.000	10.800	14.400	18.000	21.600	25.200	28.800	36.000	
1000	6.000	8.000	10.000	12.000	16.000	20.000	24.000	28.000	32.000	40.000	
1200	7.200	9.600	12.000	14.400	19.200	24.000	28.800	33.600	38.400	48.000	
1400	8.400	11.200	14.000	16.800	22.400	28.000	33.600	39.200	44.800	56.000	
1600	9.600	12.800	16.000	19.200	25.600	32.000	38.400	44.800	51.200	64.000	
1800	10.800	14.400	18.000	21.600	28.800	36.000	43.200	50.400	57.600	72.000	
2000	12.000	16.000	20.000	24.000	32.000	40.000	48.000	56.000	64.000	80.000	
2500	15.000	20.000	25.000	30.000	40.000	50.000	60.000	70.000	80.000	100.000	
Klasa projektu	Projekty bardzo małe HDI <2.000		Projekty małe 2.000 < HDI < 5.000		Projekty średnie 5.000 < HDI < 10.000		Projekty duże 10.000 < HDI < 20.000		Projekty bardzo duże 20.000 < HDI < 40.000		Projekty ekstremalne HDI > 40.000

Tab. 1. | Ocena stopnia trudności instalacji HDI (Hole Difficulty Index) w funkcji długości (m) i średnicy instalowanego rurociągu (cale)

- układ płuczkowy służący do inicjowania i podtrzymywania obiegu płuczki wiertniczej;
- system nawigacji w otworze kierunkowym;
- przewód wiertniczy, narzędzia i osprzęt wgłębny umożliwiający bezpośrednio proces drążenia otworu;
- inne elementy niezbędne do realizacji projektów wiertniczych, takie jak: mobilne układy do kontrolowanego skręcania i rozkręcania połączeń gwintowych, stacje pchające, sprzęt pomocniczy w postaci dźwigów, koparek, samochodów specjalistycznych.

W niniejszym artykule przedmiotem naszego szczególnego zainteresowania będą urządzenia wiertnicze i stowarzyszone z nimi układy płuczkowe. W literaturze przedmiotu podstawowymi wyróżnikami charakteryzującymi systemy wiertnicze będą:

- siła ciągnięcia,
- siła pchania,
- moment obrotowy,
- prędkość obrotowa wrzeczona w funkcji momentu obrotowego,

- zainstalowana moc i typ napędu,
- wydatek pompy płuczkowej i maksymalne ciśnienie robocze,
- przepustowość stowarzyszonego z wiertnicą układu płuczkowego.

Na podstawie praktycznych doświadczeń rynku wiertniczego można określić potencjalny zasięg wiercenia (długość i głębokość otworu) oraz potencjalne zakresy średnic instalowanych rurociągów. Zakresy te będą różniły się pomiędzy sobą w zależności od napotkanych warunków geologicznych (formacje miękkie niespoiste, formacje spoiste, rumosz i lita skała). Należy jednak podkreślić, że uzyskanie założonych parametrów instalacji jest warunkowane zastosowaniem właściwej geometrii przewodu wiertniczego, typu narzędzi, technologii ich zastosowania i adekwatnych do skali przedsięwzięcia procedur wiertniczych.

OSIĄGI SYSTEMÓW WIERTNICZYCH

Z uwagi na to, że urządzenie wiertnicze cechuje się obiektywnymi parametrami technologicznymi (siła osiowa, moment obrotowy

niezbędny dla podtrzymywania wymaganej prędkości rotacji oraz objętość płynu wiertniczego zatłaczanego w jednostce czasu), można pokusić się o opracowanie modelu korelującego poszczególne parametry pomiędzy sobą oraz ich synergiczne użycie w kontekście możliwości zrealizowania danego projektu. Jakkolwiek urządzenia wiertnicze są określane maksymalnymi teoretycznymi parametrami możliwymi do uzyskania z danego układu napędowego, to ich faktyczne możliwości są pochodną wykorzystywanego w praktyce zakresu parametrów.

Dostępne na rynku konstrukcje wiertnic różnią się między sobą typem zabudowy, rodzajem napędu wrzeczona głowicy, mocą zainstalowanych silników, sposobem transportu na miejsce projektu oraz stopniem zaawansowania i przepustowością systemu płuczkowego. W kontekście transportu i możliwości przemieszczania się wiertnic wyróżniamy urządzenia samojezdne, wyposażone najczęściej w mechanizm gąsienicowy, dający możliwość poruszania się po placu budowy i pozbawione cech mobilności wiertnice wymagające do ich montażu urządzeń dodatkowych, np. dźwigów.

Skala projektu		Ilość udokumentowanych przypadków	Klasa rządzenia wiertniczego			
			Kompaktowe < 300 kN mini	Kompaktowe 300–800 kN midi	Pełnowymiarowe 1000–2500 kN maxi	Pełnowymiarowe > 2500 kN mega
Projekty bardzo małe	HDI < 2.000	Nieokreślona	85%	15%	0	0
Projekty małe	2.000 < HDI < 5.000	Nieokreślona	60%	35%	5%	0
Projekty średnie	5.000 < HDI < 10.000	200	12%	66%	20%	2%
Projekty duże	10.000 < HDI < 20.000	100	0	22%	72%	6%
Projekty bardzo duże	20.000 < HDI < 40.000	30	0	0	73%	27%
Projekty ekstremalne	HDI > 40.000	2	0	0	0	100%
Stopień dopasowania urządzenia do klasy projektu			Nieodpowiednie	Dostateczne	Dobre	Bardzo dobre

Tab. 2. | Procentowy udział zdefiniowanych klas urządzeń wiertniczych w różnych kategoriach projektów zrealizowanych w Polsce

Mobilność wiertnic samojedźnych jest cechą, którą można wykorzystać do umieszczenia na obszarze roboczym, do którego dostęp jest ograniczony. Pełnowymiarowe wiertnice klasy maxi i mega, z racji swojej masy i gabarytów, wymagają dobrej jakości dróg dojazdowych i utwardzonych placów maszynowych.

Jak wynika z analizy statystycznej przeprowadzonych dotychczas w Polsce projektów HDD, istnieje wyraźna korelacja pomiędzy klasą projektu a wykorzystanym urządzeniem wiertniczym

Napęd dla wiertnic zapewnia w większości przypadków silnik wysokoprężny, natomiast poszczególne podzespoły mogą korzystać z napędu hydraulicznego, mechanicznego, elektrycznego lub pneumatycznego. Do podstawowych podzespołów systemu wierzącego zaliczają się:

- stalowa ramowa konstrukcja;
- system kotwiący niezbędny dla przejmowania powstałych w trakcie operacji wiert-

niczych obciążeń osiowych i momentów skręcających;

- ruchome sanie z zamontowanym wrzecionem (napęd górny);
- system podawania i odbioru elementów przewodu wiertniczego, wykorzystujący automatyczny podajnik – magazynek (w urządzeniach kompaktowych) lub urządzenie dźwigowe (popularne w większych wiertnicach);
- system imadeł – szczęk dolnych (w bardziej zaawansowanych urządzeniach dolnych i górnych), służący do skręcania z kontrolowanym momentem zworników przewodu i bezpiecznego rozcinania połączeń gwintowych;
- system wytwarzania mocy mechanicznej;
- systemy przekazywania napędu do poszczególnych podzespołów wiertnicy;
- system sterujący posuwem wrzeciona (zębatka, łańcuch lub siłownik hydrauliczny);
- system sterujący obrotem wrzeciona;
- system rejestrujący parametry pracy;
- pulpit sterowniczy w kajucie wiertacza z bezpośrednim dostępem do większości funkcji urządzenia;
- szeroko rozumiany system płuczkowy obejmujący pompy, zbiorniki, armaturę, rurociągi, urządzenia mechanicznego rozdziału faz;
- przewód wiertniczy;
- narzędzia, centralizatory, stabilizatory i inny specjalistyczny osprzęt węglany;
- system nawigacji w otworze kierunkowym

(wraz ze stowarzyszonym powierzchniowym układem pomiarowym);

- systemy dokonujące pomiarów węglanych.

Urządzenia kompaktowe dostępne są w zasadzie wyłącznie na podwoziu gąsienicowym. W urządzeniach klasy powyżej 1000 kN mamy do wyboru znacznie więcej opcji, w tym podwozie kołowe, konstrukcje ramowe i kilkuczęściowe konstrukcje modułowe. Zespół napędowy może być z wiertnicą zintegrowany lub też rozdzielony i umieszczony w zewnętrznych kontenerach.

Współczesne wiertnice posiadają zaawansowane funkcje automatyzacji procesu wiercenia, dające możliwość określenia stałych parametrów pracy lub stałego postępu. System sterowania pompą płuczkową wysokiego ciśnienia pozwala na precyzyjne ustawienia założonego wydatku tłoczenia i kontrolę całkowitego spadku ciśnień w układzie cyrkulacyjnym. Pulpit wiertacza jest nie tylko miejscem manualnej obsługi funkcji roboczych wiertnicy. Dzięki trybom półautomatycznym lub automatycznym można zdefiniować (zadać) optymalny zakres każdego z parametrów pracy. Parametry krytyczne z punktu widzenia procesu wiertniczego i funkcjonowania urządzenia mogą być nie tylko rejestrowane i wyświetlane w czasie rzeczywistym, ale także archiwizowane. Dostęp do gromadzonych danych możliwy jest zarówno w miejscu lokalizacji projektu, ale także dzięki odpowiednie-

Elementy wyposażenia układu wiertniczego	Klasa rządzenia wiertniczego			
	Kompaktowe < 300 kN mini	Kompaktowe 300-800 kN midi	Pełnowymiarowe 1000-2500 kN maxi	Pełnowymiarowe > 2500 kN mega
Wiertnica	samojezdna na podwoziu gąsienicowym	samojezdna na podwoziu gąsienicowym	konstrukcja na gąsienicach, na kołach lub konstrukcja ramowa	konstrukcja na kołach, konstrukcja ramowa lub konstrukcja modułowa
Stacja pchająca (<i>pipe pusher</i>)	nie	nie	opcjonalnie dla HDI > 30.000 i średnicy rurociągu stalowego od DN700	opcjonalnie dla HDI > 40.000 i średnicy rurociągu stalowego od DN700
Wysokociśnieniowa pompa płuczkowa	zintegrowana z wiertnicą do 500 l/min	zintegrowana z wiertnicą do 1000 l/min lub oddzielna do 2000 l/min	oddzielna do 3000 l/min	dwie oddzielne pompy do 5000 l/min
System separacji faz	opcjonalny przepustowość do 1000 l/min	tak przepustowość do 2000 l/min	tak przepustowość do 3500 l/min	tak przepustowość do 5000 l/min
System przygotowania i kondycjonowania płuczki	tak pojemność do 10 m ³	tak pojemność do 20 m ³	tak pojemność do 40 m ³	tak pojemność do 60 m ³
Zbiorniki buforowe i zapasowe	nie	opcjonalnie	tak	tak
Pompy szlamowe (transfer płuczki)	opcjonalnie	tak	tak	tak
Mobilny unit do skręcania i rozkręcania połączeń gwintowych	opcjonalnie 15-30 kNm	opcjonalnie 50-80 kNm	tak 80-120 kNm	tak 120-180 kNm
Klucze manualne (tongi)	tak	tak	tak	tak
Zaplecze kontenerowe budowy	opcjonalne	opcjonalne	tak	tak
System nawigacji magnetycznej lub żyrokompasowej	opcjonalnie	opcjonalnie	tak	tak
Przewód wiertniczy	do 4,5 m długości do 89 mm średnicy calizny	do 6,1 m długości do 127 mm średnicy calizny	do 10 m długości do 168 mm średnicy calizny	do 10 m długości do 193 mm średnicy calizny
Zakres typowych połączeń gwintowych	2 3/8" IF - 3 1/2" IF	3 1/2" IF - 4 1/2" IF	5 1/2" FH - 6 5/8" FH	6 5/8" FHDS - 6 5/8" H90 DS
Świder do wiercenia pilotowego	do 8 1/2" (216 mm)	do 12 1/4" (311 mm)	do 16" (406 mm)	do 20" (508 mm)
Średnica poszerzania otworu	do 28" (711 mm)	do 40" (1016 mm)	do 54" (1371 mm)	do 72" (1828 mm)
Typowy zakres średnic rurociągów	3-20"	6-28"	12- 40"	20-56"
Typowy zakres długości instalacji	do 500 m	300-1000 m	400-1500 m	600-2000 m
Typowy zakres głębokości instalacji	do 20 m	10-30 m	15-50 m	20-100 m
Wymagana powierzchnia placu maszynowego	500 m ²	2000 m ²	4000 m ²	6000 m ²
Ilość personelu na zmianę roboczą	3-4 osoby	5-7 osób	7-10 osób	8-12 osób

Tab. 3. | Podstawowe elementy systemów wiertniczych z podziałem na klasy urządzeń

mu oprogramowaniu może być udostępniony zdalnie uprawnionym (autoryzowanym) użytkownikom sieci.

Uzupełnieniem dla podstawowej konfiguracji placu maszynowego jest sprzęt mobilizowany po stronie rurociągowej przewiertu. Za prefabrykację rurociągu stalowego odpowiada na ogół generalny wykonawca inwestycji. Rurociągi z tworzyw sztucznych mogą być przygotowywane przez spółkę wiertniczą wyposażoną w adekwatny do średnicy rurociągu sprzęt do jego zgrzewania, posiadającą przy tym przeszkolony do wykonywania tych prac personel. Po stronie rurowej wykonuje się

czynności związane ze skręcaniem i rozkręcaniem narzędzi wiertniczych. Jest to ponadto miejsce dokładania kolejnych kawałków przewodu w trakcie operacji poszerzania otworu. W urządzeniach klasy od 450 kN wzwyż wykorzystuje się mobilny zestaw do skręcania przewodu z momentem kontrolowanym. Pompa szlamowa o dużej wysokości podnoszenia jest wykorzystywana do przesyłu płuczki ze strony rurociągowej (*pipe side*) na stronę wiertnicy (*rig side*). Transfer odbywa się uprzednio przygotowanym rurociągiem o średnicy od 6 do 8". W przypadkach szczególnych na stronie rurowej instaluje się dodatkowe urządzenie

wiertnicze wspierające operacje wiertnicze pracujące w tandemie z wiertnicą podstawową. Jego główną rolą jest napinanie przewodu i asekuracja narzędzi wiertniczych. Ponadto, opcjonalnie w trakcie wielkoskalowych projektów, zastosowanie może znaleźć stacja pchająca (*pipe pusher*), służąca jako zabezpieczenie instalacji rurociągów stalowych o średnicy powyżej 24".

SYSTEMY PŁUCZKOWE

HDD jest metodą wykorzystującą płyn wiertniczy jako niezbędny składnik procesu, dlate-

go każde urządzenie wyposażone jest w jedną lub dwie tłokowe pompy wysokociśnieniowe. Pompa płuczkowa jest zintegrowana z wiertnicą (*on board*) w niemal wszystkich urządzeniach klasy do 800 kN. Jest wówczas zasilana z tego samego silnika spalinowego co funkcje posuwu i obrotu. W przypadku większych maszyn producenci oddzielają płuczkową pompę wysokiego ciśnienia i jej napęd od podstawowej wiertnicy. Preferowana jest przy tym zabudowa kontenerowa, ułatwiająca transport i ograniczająca emisję hałasu. Pompy tłokowe charakteryzują się teoretyczną wydajnością od około 100 l/min (dla najmniejszych modeli) do około 3000 l/min. Zakres możliwych do aplikacji ciśnień roboczych mieści się najczęściej w przedziale pomiędzy 40 a 120 bar.

Naturalnym uzupełnieniem pomp płuczkowych są układy produkcji i kondycjonowania płynu. Ich konstrukcja i dostępne pojemności zbiorników są powiązane z klasą urządzenia wiertniczego. Powszechnie stosuje się napędy spalinowe w kompaktowych wiertnicach klasy mini oraz napędy elektryczne w urządzeniach o sile ciągnięcia powyżej 450 kN. Dla urządzeń klasy 150–200 kN dostępne są też układy oczyszczania płuczki wiertniczej o wydajnościach (przepustowościach) około 500 l/min. Dla urządzeń wiertniczych o sile ciągnięcia od 300 kN wzwyż zamknięty obieg płuczkowy powinien być normą i standardowym sposobem postępowania spółki wiertniczej. Dzięki

prawidłowemu zamknięciu obiegu płuczkowego firma jest w stanie realizować bardziej złożone zadania, wymagające dużych objętości płuczki zatłaczanej do otworu. Z zamykaniem obiegu płuczkowego, wyrażającego się wprowadzeniem do układu sit wibracyjnych, hydrocyklonów, pomp szlamowych czy nawet zaawansowanych technicznie szybkoobrotowych wirówek dekantacyjnych, wiąże się szereg potencjalnych zalet i korzyści:

- zastosowanie prawidłowej techniki wiertniczej,
- utrzymywanie koncentracji fazy stałej na pożądanym poziomie,
- wyższa jakość otworu wynikająca z ustabilizowanych parametrów płynu wiertniczego,
- drastyczna redukcja konsumpcji wody i materiałów płuczkowych,
- możliwość powszechnego stosowania systemów inhibitowanych,
- ograniczenie przestojów wynikających z braku wody technologicznej,
- ograniczenie przestojów wynikające z ograniczenia czasu przygotowania płuczki,
- drastyczne obniżenie kosztów utylizacji szlamu.

Wydajność (przepustowość) systemu separacji powinna być skorelowana z planowanymi przepływami i klasą urządzenia wiertniczego. Oznacza to, że nominalna wydajność systemu powinna być o co najmniej 20% wyższa niż

potencjalny wydatek pompy płuczkowej. Inwestycja w zamknięty obieg płuczkowy jest kosztem, który firma powinna uwzględnić w strategii i planie swojego rozwoju. Koszty utylizacji odpadów wiertniczych wzrastają regularnie z roku na rok i przekraczają obecnie nakłady na produkcję płuczki (sposób funkcjonowania zamkniętego obiegu płuczkowego został szczegółowo omówiony w cyklu czterech artykułów opublikowanych na łamach „Inżynierii Bezwykopowej” w numerach od 1/2016 do 4/2016).

KRYTERIA DOBORU URZĄDZEŃ WIERTNICZYCH

W literaturze przedmiotu istnieje kilka możliwych algorytmów wykorzystywanych dla rozwiązania tego problemu. Najbardziej rozsądnym podejściem wydaje się zadanie kilku kluczowych pytań i sformułowanie na nie odpowiedzi:

- Czy jesteśmy w stanie wywiercić otwór pilotowy po założonej trajektorii z wystarczającą dokładnością?
- Czy jesteśmy w stanie poszerzyć otwór do wymaganej średnicy w zastanych warunkach geologicznych?
- Czy jesteśmy w stanie zainstalować rurociąg przy obciążeniach niższych niż rekomendowane dla wiertnicy i samego rurociągu?
- Czy jesteśmy w stanie zapewnić system kotwiący dla maszyny wiertniczej zdolny do

Siła ciągnięcia [kN]	Moment obrotowy [kNm]	Wydatek pompy [l/min]	Optymalna długość otworu [m]	Optymalna średnica rurociągu [mm]	Użyteczny zakres HDI	Maksymalna wartość HDI
50	2	100	30–100	50–200	100–600	1.000
100	5	200	50–300	100–400	600–3.000	4.000
200	12	500	100–500	150–450	2.000–6.000	8.000
400	20	800	250–600	200–500	3.000–10.000	12.000
600	35	1200	300–800	250–600	4.000–12.000	15.000
800	45	1600	350–1000	300–700	5.000–15.000	20.000
1000	60	2000	400–1200	300–800	6.000–25.000	30.000
1500	75	2200	500–1200	300–800	8.000–30.000	35.000
2000	90	2500	500–1300	400–900	10.000–35.000	40.000
2500	100	3000	600–1500	400–1000	12.000–40.000	50.000
3000	120	4000	700–1800	500–1200	15.000–50.000	60.000
4000	150	5000	800–2000	500–1400	20.000–60.000	75.000

Tab. 4. Zakres stosowania urządzeń wiertniczych i stowarzyszonych z nimi systemów płuczkowych

przeniesienia maksymalnych spodziewanych obciążeń wynikających z zastosowanych sił osiowych i momentów obrotowych?

KRYTERIUM ZDOLNOŚCI DO WYTWORZENIA OTWORU

Podstawową przeszkodą dla wiercenia długich otworów kierunkowych jest TARCIE. Jest ono zdefiniowane jako siła przeciwstawiająca się ruchowi obiektów. Siła ta jest zatem zawsze skierowana przeciwnie do prędkości. Zjawisko oporów ruchu w otworze wiertniczym ma charakter skomplikowany, gdyż w grę wchodzi mechanizmy różnego rodzaju: zjawiska związane z tarcieniem posuwistym, tarcieniem tocznym i tarcieniem w płynie wiertniczym. Jeżeli będziemy przesuwali względem siebie dwie stykające się powierzchnie (przewód wiertniczy i ściana otworu), to zaobserwujemy zjawisko tarcia posuwistego, czyli fakt, że ruch ten wymaga stałego działania siły. Również wówczas, kiedy będziemy obracali przewodem wiertniczym wokół jego osi, ten ruch także będzie wymagał stałej siły. Przyczyną tego rodzaju tarcia są nierówności na trących powierzchniach. W typowych sytuacjach tarcia posuwistego stosunek siły tarcia T do nacisku N trących powierzchni jest stały. Jego wartość nazywana jest współczynnikiem tarcia.

$$\mu = T/N$$

Każda aktywność w otworze kierunkowym wytwarza moment obrotowy i siły osiowe (*torque and drag*). Nie ma przy tym znaczenia, czy jesteśmy w fazie wiercenia, zapuszczania casingu czy też instalacji rurociągu produkcyjnego. Dla projektów o HDI powyżej 10.000 punktów analiza spodziewanych obciążeń notowanych na przewodzie wiertniczym powinna być standardowym działaniem. Obejmuje ona kalkulacje zarówno momentu obrotowego, jak i sił osiowych w trzech stanach:

- wiercenie otworu (*on bottom*);
- stany związane z cyrkulowaniem i marszowaniem w otworze (*off bottom*);
- instalacja rurociągu (*pipeline pulling*).

W pierwszym przypadku, poza obciążeniem generowanym przez sam przewód, a wynikającym z jego masy i obecności w kierunkowym

(zakrzywionym) otworze, mamy do czynienia także z obciążeniem będącym skutkiem urabiania (skrawania, kruszenia, odpajania) formacji. Narzędzie urabiające w następstwie wywieranego nacisku na dno otworu i dostarczanych poprzez przewód obrotów generuje moment roboczy, który sumuje się z momentem niezbędnym do obracania przewodem wiertniczym. Należy przy tym zaznaczyć, że moment obrotowy i siły osiowe są wprost proporcjonalne do masy przewodu, średnicy zwornika, kształtu i stopnia skomplikowania trajektorii (intensywności zmian kątowych na jednostkę długości otworu) oraz współczynnika tarcia. Doświadczenia kierunkowego wiertnictwa rurociągowego pozwalają na przyjęcie założenia, że współczynnik tarcia będzie znajdował się w przedziale od 0,3 do 0,9. Współczynnik tarcia jest funkcją jakości otworu (stanu technicznego), otoczenia geologicznego, składu chemicznego płuczki i zawartości w niej fazy stałej. Współczynnik tarcia niższy niż 0,5 oznacza dobrą jakość otworu, współczynnik tarcia wyższy niż 0,9 oznacza jakość niedostateczną lub wręcz nieakceptowalną. Kalkulacje wstępne przeprowadza się dla kilku wariantów zdarzeń, w których symuluje się jakość otworu wiertniczego przez manipulację współczynnikami tarcia.

Podsumowując, siła osiowa (DRAG) jest konsekwencją ruchu posuwistego przewodu wiertniczego i wynika z jego wyciągania z otworu lub zapuszczania do otworu. Po zbliżeniu do ściany i rozpoczęciu fazy wiercenia siła jest powiększana także o efektywny nacisk narzędzia urabiającego wywierany na formację na czole otworu.

$$T = \mu N_{DP}$$

Roboczy moment obrotowy (*torque*) może zostać określony jako siła wymagana do trwałego obracania przewodem wiertniczym i ewentualnie grupą narzędzi wgłębnych. W uproszczonym modelu moment będzie definiowany jako:

$$M = \mu N_{DP} r + \mu N_{TOOL} D/2,$$

gdzie:

μ – współczynnik tarcia (wielkość niemiarowa)

M – moment obrotowy [Nm]

T – siła tarcia posuwistego [N]

N_{DP} – siła dociskająca (siła kontaktowa) wynikająca z ciężaru przewodu wiertniczego i obecności płynu wiertniczego wewnątrz i na zewnątrz przewodu [N]

N_{TOOL} – siła dociskająca (siła kontaktowa) wynikająca z ciężaru zestawu [N]

r – promień obrotu interpretowany jako połowa średnicy zwornika obracanego przewodu [m]

D – średnica narzędzia [m]

T&D jest naszym orężem w działalności wiertniczej. Dobre zrozumienie mechanizmów związanych z tarcieniem w otworze pozwoli skutecznie zaplanować i zrealizować roboty wiertnicze.

KRYTERIUM SKUTECZNEJ INSTALACJI

Na etapie finalizacji projektu przeprowadzamy analizę mającą wskazać na potencjalne ryzyka wynikające z zabudowy rurociągu w otworze wiertniczym. Analiza powinna rozstrzygać co najmniej trzy kwestie:

- Czy siła instalacyjna niezbędna dla pokonania tarcia (przyłożona do głowicy ciągnącej) mieści się w dopuszczalnym zakresie obciążeń dla danego rurociągu? Pytanie to ma szczególne znaczenie w kontekście rurociągów wykonanych z tworzyw sztucznych.
- Czy wiertnica z osprzętem będzie w stanie dostarczyć siłę wystarczającą do bezpiecznej instalacji rurociągu, pozostając w zgodzie z poprzednim punktem?
- Jaki współczynnik bezpieczeństwa uznamy za satysfakcjonujący i jednocześnie racjonalny w kontekście analizowanego projektu?

W analizie technicznej musimy wskazać na maksymalną oczekiwaną siłę ciągnięcia, mogącą wystąpić podczas operacji instalacji rurociągu. Siłę tę ustalamy, mając na uwadze geometrię otworu, jego stan techniczny, wyposażenie wgłębne (przewód wiertniczy, narzędzie prowadzące, złącze obrotowe), geometrię rurociągu, średni ciężar właściwy szlamu wiertniczego w otworze, metodę balastowania wnętrza instalowanej rury, skład płynu wiertniczego mający wpływ na współczynnik tarcia rejestrowany na kontakcie rurociągu ze

ścianą wywierconego tunelu.

Jak wspomniano już wcześniej, tarcie posuwiste ma dwie odmiany: tarcie statyczne i tarcie dynamiczne. Z przypadkiem tarcia statycznego mamy do czynienia wtedy, gdy zaczynamy przesuwac rurociąg. W odróżnieniu od niego tarcie dynamiczne zachodzi już podczas ruchu rurociągu. Ponieważ najczęściej trudniej jest ruszyć ciało z miejsca, niż później podtrzymywać jego prędkość, w większości przypadków tarcie statyczne jest większe od dynamicznego.

Zakładając w dużym uproszczeniu, że otwór wiertniczy składa się z sekwencji sekcji zbliżonych do prostych i sekcji zakrzywionych (wierconych po łuku), siłę niezbędną do pokonania tarcia można przybliżyć za pomocą kilku formuł:

FORMUŁA BAZUJĄCA NA ANALIZIE FIZYCZNEJ (ROE)

Siła F_p potrzebna do pokonania tarcia na odcinkach prostych:

$$F_p = \mu N L + F_F$$

Siła F_c potrzebna do pokonania tarcia na odcinkach zakrzywionych:

$$F_c = e\mu\alpha (\mu N L) + FF,$$

gdzie:

e – podstawa logarytmu naturalnego

α – kąt krzywizny otworu [rad]

N – jednostkowa siła kontaktowa (normalna) pomiędzy rurą i jej otoczeniem [N/m]

μ – współczynnik tarcia pomiędzy rurą i jej otoczeniem [-]

L – długość odcinka [m]

F_F – tarcie pochodzące od ruchu rurociągu w szlamie wiertniczym [N]

Siła kontaktowa (wynikająca z siły wyporu)

$$N_h = \pi D_z^2/4 \gamma_{MUD} - \pi(D_z^2 - D_w^2)/4 \gamma_{PIPE} - \pi(D_z^2 - D_z^2)/4 \gamma_{IZOL} - \pi D_w^2/4 \gamma_{BAL}$$

D_i – średnica zewnętrzna rurociągu z izolacją [m]

D_z – średnica zewnętrzna rurociągu bez izolacji [m]

D_w – średnica wewnętrzna rurociągu [m]

γ_{MUD} – ciężar właściwy płuczki w otworze [N/m³]

γ_{IZOL} – ciężar właściwy materiału izolacji [N/m³]

γ_{PIPE} – ciężar właściwy materiału rury [N/m³]

γ_{BAL} – ciężar właściwy cieczy balastującej [N/m³]

FORMUŁA BAZUJĄCA NA ANALIZIE STATYSTYCZNEJ (DCA)

Jest to próba estymacji potencjalnej siły instalacyjnej bazującej na geometrii rurociągu i sekwencji współczynników korekcyjnych. Poniżej zaprezentowano skrócony wyciąg z analizy. Kalkulacje te należy traktować jako szacunkowe i służące szacowaniu zakresu sił dla końcowego etapu instalacji. Kluczem do poprawności stosowania tej formuły jest prawidłowe określenie współczynnika k , w którym zawarte są warunki zabudowy i geometria otworu.

$$F = \pi L D_z f,$$

gdzie:

F – siła ciągnięcia [kN]

L – długość otworu [m]

D_z – średnica zewnętrzna rurociągu [m]

f – współczynnik korekcyjny (wartość średnia)

Po określeniu teoretycznej siły instalacyjnej należy rozważyć przyjęcie współczynnika bezpieczeństwa, jaki powinien być uwzględniony przy doborze urządzenia wiertniczego, któremu powierzamy przeprowadzenie skutecznej instalacji. Normy branżowe i rekomendacje firm doradczych wskazują na przedział od 1,5 do 3. Im analizowany projekt jest bardziej skompli-

kowany i kosztowny, tym wyższy współczynnik bezpieczeństwa powinien być przyjęty przy podejmowaniu decyzji technicznych i biznesowych. Z kolei, im niższy przyjęty i wdrożony współczynnik bezpieczeństwa (mniejsze urządzenie wiertnicze), tym wyższe wymagania należy postawić wobec jakości otworu.

Podstawową przeszkodą dla wiercenia długich otworów kierunkowych jest tarcie. Jest ono zdefiniowane jako siła przeciwstawiająca się ruchowi obiektów

KRYTERIUM ZAPEWNIENIA DOSTATECZNEJ MOCY

Przeprowadzenie analizy T&D dla wszystkich etapów projektu (wiercenie pilotowe, poszerzanie, kalibracja, instalacja) należy uznać za warunek konieczny dla określenia parametrów mechanicznych i hydraulicznych, jakie musi zapewnić mobilizowany system wiertniczy. Analiza T&D nałożona na wymagania związane z jakością otworu i uzyskiwanym postępem wiercenia będzie więc kryterium weryfikującym przydatność zaproponowanych rozwiązań w zakresie nie tylko sprzętu i osprzętu wiertniczego, ale, co nie mniej ważne, w obszarze wyboru strategii postępowania i technologii wiercenia. Trajektorie otworów powinny być tak zaplanowane, aby minimalizować zarówno siły osiowe, jak i moment obrotowy. Zwłaszcza zdolność do ope-

Parametr	Współczynnik	Zakres (opis)	
Materiał rury	f_m	0,3 (HDPE)	0,4 (stal)
Średnica otworu	f_r	0,5 (mała)	0,3 (duża)
Suma kątów	f_w	0,3 (<15 stopni)	0,5 (>30 stopni)
Przeszkody podziemne	f_h	0,5 (bardzo prawdopodobne)	0,3 (mało prawdopodobne)
Balastowanie	f_b	0,3 (optymalne)	0,5 (nieoptymalne)
Warunki tarcia gruntu	f_μ	0,5 (trudne)	0,3 (standardowe)

Tab. 5. | Wartość współczynnika korekcyjnego (dla metody DCA) z podziałem na poszczególne parametry

Kalkulowany parametr	Rejestrowane czynniki wpływu				Zależność
Moc potrzebna do przesuwania przewodu wiertniczego	siła osiowa T	prędkość poruszania się przewodu w otworze v			iloczyn $T \cdot v$
Moc potrzebna do obracania przewodu wiertniczego	moment obrotowy M_{DP}		prędkość kątowna przewodu ω		iloczyn $M_{DP} \cdot \omega$
Moc potrzebna do obracania narzędzia off bottom	moment obrotowy M_{TOOL}		prędkość kątowna narzędzia ω		iloczyn $M_{TOOL} \cdot \omega$
Moc potrzebna do pracy narzędzia na spodzie otworu (urabianie formacji – on bottom)	nacisk na czoło narzędzia P	średnica narzędzia D	prędkość obrotowa narzędzia n	stała narzędzia wiertniczego uzależniona od jego typu i zwiercalności formacji k	iloczyn $k \cdot P^a \cdot D^b \cdot n$ a, b – wykładniki potęgowe zależne od rodzaju użytego narzędzia
Moc hydrauliczna pompy	strumień przepływu płuczki Q		spadek ciśnienia w układzie Δp		iloczyn $Q \cdot \Delta p$

Tab. 6. | Czynniki wpływające na zapotrzebowanie na moc mechaniczną i hydrauliczną w procesie HDD

rowania przewodem w trybie wiercenia orientowanego jest kluczowa z punktu widzenia osiągnięcia celu wiercenia pilotowego. Wysokie siły osiowe i wysoki (nadmierny) moment obrotowy najczęściej zdarzają się jednocześnie i są wynikiem niskiej jakości wierconego otworu, niestabilnej i zdeformowanej ściany czy też nadmiernej ilości pozostawionych w otworze zwiercin. Dopuszczanie do nadmiernego poziomu obciążeń może skutkować komplikacjami i/lub awariami technicznymi zarówno po stronie sprzętu zlokalizowanego na powierzchni, jak i osprzętu w głębego.

Symulacja zaprogramowanego procesu wiercenia to także sprawdzenie naszych działań pod względem bilansu energetycznego (bilansu dostępnej mocy). W ramach tej procedury należy prześledzić potencjalną konsumpcję energii w kontekście operowania urządzeniem wiertniczym, pompą wysokociśnieniową i stowarzyszonym z nią obiegiem płuczkowym. W tab. 5 podano podstawowe czynniki wpływu na konsumpcję energii w procesie HDD.

Dla realizacji zadania polegającego na wywierceniu otworu i zabudowaniu w nim rurociągu lub wiązki rurociągów niezbędne jest spełnienie kilku warunków brzegowych. Jednym z nich jest zmobilizowanie w odpowiednim zakresie sprzętu wiertniczego, obejmującego zarówno wiertnicę HDD, jak i zaplecze płuczkowe.

Jak starano się uzasadnić w niniejszej pracy, dysponowanie sprzętem o odpowiednim zakresie dostępnych parametrów przekłada

się na sprawność w działaniu, jakość produktu i wysoki poziom bezpieczeństwa projektu. Omawiane współczynniki bezpieczeństwa, jakimi powinniśmy się posługiwać na etapie planowania i selekcji, będą musiały być powiązane z:

- warunkami geologicznymi,
- stopniem złożoności trajektorii,
- przewidywaną techniką i technologią wiercenia,
- doświadczeniem kontraktora,
- jakością wdrożonych procedur wiertniczych.

PODSUMOWANIE

Wybór odpowiedniego sprzętu wiertniczego jest podobny do wyboru kontraktora wiertniczego. Możemy wybrać opcję bezpieczną, choć droższą. Możemy też wybrać opcję spełniającą bez żadnej rezerwy stawiane wymagania, ale za to konkurencyjną cenowo. Wybór urządzenia o zbyt małej mocy może utrudnić, a w pewnych wypadkach wykluczyć możliwość realizacji zadania. Wybór urządzenia o przewymiarowanych parametrach znacząco może wpłynąć na koszty operacyjne i obniżyć rentowność projektu. Jest to dylemat nietłatwy do rozstrzygnięcia. Na etapie tworzenia dokumentacji projektowej problem wymogów stawianych wobec zmobilizowanego sprzętu jest najczęściej pomijany. Z kolei na etapie przetargu od potencjalnego wykonawcy robót wiertniczych (WRB) wymaga się referencji w zakresie

realizacji projektów o podobnej skali. Generalny wykonawca (GW) czy też inwestor mogą nie mieć kompetencji w zakresie oceny przydatności posiadanych przez spółkę wiertniczą urządzeń. Gdyby jednak nawet takie kompetencje posiadali, nie uznaliby zapewne, że jest to argument decydujący o wyborze oferenta. Tym argumentem, dla większości analizowanych projektów, jest cena. A przecież mogłoby być inaczej. To wykonawca robót wiertniczych mógłby być gwarantem zakończenia inwestycji z powodzeniem, w ramach założonego budżetu, harmonogramu i w zgodzie ze standardami technicznymi. To na poziomie WRB dokonuje się najbardziej wnikliwej oceny jakości i wykonalności projektu. To tutaj decyduje się o zmobilizowaniu najbardziej optymalnej konfiguracji urządzeń. Intencją autora niniejszego artykułu było nie tylko sformułowanie kilku pytań skłaniających do refleksji. Jeśli na skutek tej lektury pojawi się potrzeba wykonania szeregu przedprojektowych analiz i symulacji, jego rola będzie dobrze spełniona. |

W najbliższych numerach kwartalnika „Inżynieria Bezwykopowa” zostaną opublikowane kolejne części artykułu poświęcone następującym zagadnieniom:

- Część 5:** Konfiguracja wyposażenia w głębego
- Część 6:** Programy technologiczne i technika wiercenia
- Część 7:** Dokumentacja i raporty. Wymagania kompetencyjne
- Część 8:** Zarządzanie projektem. Harmonogram i budżet



BEZWYKOPOWA BUDOWA

PLANOWANIE I REALIZACJA PROJEKTÓW HDD

CZĘŚĆ V: PRZEWÓD WIERTNICZY
I OSPRZĘT DO WIERCENIA OTWORU PILOTOWEGO



ROBERT OSIKOWICZ
ROE

(ur. 1966), absolwent Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Zajmuje się technologią wiercenia otworów kierunkowych i praktycznymi aplikacjami płynów wiertniczych w otworach różnego przeznaczenia. Jest autorem ponad 20 referatów wygłoszonych na międzynarodowych konferencjach technicznych, a także szeregu publikacji dotyczących konfiguracji sprzętu, optymalizacji techniki wiercenia, analiz rynku technologii bezwykopowych, zarządzania jakością i ryzykiem w działaniach wiertniczych, tworzenia harmonogramów i budżetów projektów. Od 2009 r. pracuje dla firmy Robert Osikowicz Engineering. Firma jest członkiem międzynarodowej branżowej organizacji wiertniczej Drilling Contractors Association (DCA-Europe).

Za dostarczenie oprzyrządowania wgłębnego odpowiedniego typu i jakości odpowiada spółka wiertnicza. Wybór BHA (*Bottom Hole Assembly*) powinien być następstwem szczegółowej analizy raportu geologicznego i zaproponowanego profilu wiercenia. Konfiguracja wynika z praktyki, dotychczasowych doświadczeń i powinna być znana przed rozpoczęciem projektu. W niniejszym artykule zestawiono główne elementy wyposażenia stosowanego wewnątrz wierzonego otworu i podano kryteria wyboru bazujące na możliwie precyzyjnym dostosowaniu przewodu wiertniczego oraz narzędzi wiertniczych do warunków geologicznych, jak i możliwości mechaniczno-hydraulicznych zmobilizowanego sprzętu

ELEMENTY PRZEWODU WIERTNICZEGO

Zgodnie z definicją stosowaną w przemyśle wiertniczym, za elementy przewodu uważa się: rury płuczkowe (ang. *Drill Pipe*), rury płuczkowe grubościennne (ang. *Heavy Weight Drill Pipe*), obciążniki (ang. *Drill Collar*), obudowy sondy pomiarowej (ang. *Sonde Housing*), łącznik napędowy na wrzecionie oraz wszelkie łączniki wiertnicze, stabilizatory spiralne, amortyzatory drgań, łączniki cyrkulacyjne i łączniki zawierające zawory zwrotne. Do przewodu nie są wliczane narzędzia (świdry, poszerzacze, centralizatory typu RING i silniki wgłębne).

CECHY IDENTYFIKUJĄCE

Rura płuczkowa składa się z odcinka rury bezszwowej spęczanej na końcach, do której dogrzewa się tarciowo zworniki wyposażone w czop i mufę z naciętymi gwintami. Parametrami, dzięki którym możemy klasyfikować przewód, jest jego geometria (średnica calizny rury, średnica zewnętrzna i wewnętrzna zwornika, grubość ścianki calizny rury), gatunek stali, z której został wykonany zwornik, i calizna oraz typ połączenia gwintowego. Standardowy przewód wiertniczy API dostępny jest w zakresie średnic calizny rury od 2 $\frac{3}{8}$ " (60 mm) do 7 $\frac{5}{8}$ " (193 mm). W małych urządzeniach HDD (*Horizontal Directional Drilling*) stosuje się jednak

również przewód z zakresu od 1" (25 mm) do 2 $\frac{1}{4}$ " (57 mm), a w ekstremalnie dużych wiertnicach przewód o średnicy calizny od 8" (203 mm) do 8 $\frac{3}{4}$ " (222 mm). Przewód wiertniczy wykonywany jest potencjalnie z kilku dostępnych na rynku gatunków stali: E, X, G, S, Z lub V różniących się pomiędzy sobą wytrzymałością mechaniczną. Najpopularniejszym obecnie materiałem w wiertnictwie kierunkowym HDD jest stal S-135, stosowana przez około 80% podmiotów funkcjonujących na rynku. Liczba stowarzyszona z literą oznacza minimalną granicę plastyczności materiału calizny rury i powiązaną z nią wytrzymałość na rozciąganie podawaną w tysiącach psi (funtów na cal kwadratowy). Geometria zwornika jest powiązana z materiałem calizny rury i typem połączenia. Im wyższa jakość stali użytej do produkcji rury, tym zwornik musi charakteryzować się wyższą wytrzymałością mechaniczną. Także wielkość i typ połączenia gwintowego naciętego na zworniku pozostaje w ścisłej korelacji ze średnicą calizny rury.

RODZAJE ELEMENTÓW I ICH PRZEZNACZENIE

Przewód wiertniczy służy do wywierania nacisku na narzędzie poprzez funkcję pchania, jak i ciągnięcia oraz przenoszenia momentu obrotowego niezbędnego do prowadzenia operacji wiertniczej. Wnętrzem przewodu do narzędzia dostarczana jest też

Calizna rury płuczkowej					Zwornik				
Średnica zewnętrzna	Ciężar jednostkowy	Spęczenie	Gatunek stali	Grubość ścianki	Połączenie gwintowe	Średnica zewnętrzna	Średnica wewnętrzna	Długość zwornika czop	Długość zwornika mufa
cale	lbs/ft	-	-	cale	-	cale	cale	cale	cale
2 3/8	6,65	EU	S-135	0,280	NC26	3 5/8	1 3/4	9	10
2 7/8	10,40	EU	S-135	0,447	NC31	4 3/8	1 5/8	9	11
3 1/2	13,30	EU	S-135	0,368	NC38	5	2 1/8	10	12 1/2
	15,50	EU	S-135	0,449	NC40	5 1/2	2 1/4	10	12 1/2
4	14,00	EU	S-135	0,330	NC46	6	3	9	12
	15,70	EU	S-135	0,380	NC46	6	3	9	12
4 1/2	16,60	IEU	S-135	0,337	NC46	6 1/4	2 3/4	9	12
	20,00	IEU	S-135	0,430	NC46	6 1/4	2 1/4	9	12
5	19,50	IEU	S-135	0,362	NC50	6 5/8	2 3/4	9	12
	19,50	IEU	S-135	0,362	NC50DS	6 5/8	3 1/4	9	12
	25,60	IEU	S-135	0,500	NC50	6 5/8	2 3/4	9	12
	25,60	IEU	S-135	0,500	5 1/2" FH	7 1/4	3 1/4	10	12
5 1/2	21,90	IEU	S-135	0,361	5 1/2" FH	7 1/2	3	10	12
	24,70	IEU	S-135	0,415	5 1/2" FH	7 1/2	3	10	12
	24,70	IEU	S-135	0,415	5 1/2" FHDS	7 1/2	3	10	12
5 7/8	23,40	IEU	S-135	0,361	5 1/2" FHDS	7	3 3/4	10	12
	26,30	IEU	S-135	0,415	5 1/2" FHDS	7 1/4	3 1/2	10	12
6 5/8	25,20	IEU	S-135	0,330	6 5/8" FH	8 1/2	4 1/4	10	13
	27,70	IEU	S-135	0,362	6 5/8" FH	8 1/2	4 1/4	10	13
	27,70	IEU	S-135	0,362	6 5/8" FHDS	8 1/2	4 1/4	10	13
7 5/8	33,70	IEU	S-135	0,430	6 5/8" FHDS	8 1/2	4 1/4	13	15
	39,00	IEU	S-135	0,500	6 5/8" FHDS	8 3/4	4	13	15
	33,70	IEU	S-135	0,430	6 5/8" H90DS	8 1/2	3 1/2	13	15
8 3/4	54,30	IEU	S-135	0,625	7 5/8" H90DS	10"	5	12	18

TAB. 1. | Geometryczne parametry przewodu wiertniczego wg specyfikacji API 5DP (źródło: Superior Drillpipe)

płuczka, która także odgrywa kluczową rolę w procesie wiercenia. Przewód służy również innym czynnościom technologicznym w otworze, w tym związanym z instalacją rurociągów i kabli.

Podstawowym składnikiem kolumny przewodu jest rura płuczkowa (ang. *Drill Pipe*), potocznie nazywana także żerdzią wiertniczą. Składa się ona z trzech elementów: zwornika z połączeniem zewnętrznym (czop), calizny rury oraz zwornika z połączeniem wewnętrznym (mufa). Dla rur płuczkowych stosowanych w segmencie HDD średnica zwornika jest zawsze większa niż średnica calizny rury.

Poza przewodem konwencjonalnym

w HDD spotykamy także przewód grubościenny (HWDP) przeznaczony do montażu w tych odcinkach kolumny przewodu (są one narażone na podwyższone obciążenia mechaniczne). Rury płuczkowe grubościenne charakteryzują się nie tylko zwiększoną grubością ścianki, ale także dłuższymi zwornikami i uzbrojonym spęczeniem w części środkowej rury, zabezpieczającym przewód przed wycieraniem. Ich stosowanie zwiększa stabilność dolnej części przewodu wiertniczego. Przewód HWDP występuje w podobnym typoszeregu średnic co przewód konwencjonalny, przy czym najmniejszą dostępną średnicą calizny jest 2 7/8" (73 mm), a największą standardową średnicą jest

6 5/8" (168 mm).

Kolejnym elementem przewodu ulokowanym w jego dolnej części w trakcie wiercenia otworu pilotowego są stalowe, grubościenne obudowy sond pomiarowych pracujących w systemach radiowych i żyrokompasowych. Alternatywnym rozwiązaniem są obciążniki wykonane ze stopów chromowo-molibdenowo-niklowych, w których zapuszczane są narzędzia pomiarowe magnetycznych systemów nawigacji. Poza funkcją ochrony narzędzi służących do nawigacji, obciążniki służą usztywnieniu zestawu i skuteczniejszemu przekazywaniu sił osiowych do czoła narzędzia wierzącego. Obciążnik niemagnetyczny, w zależności od przyjętej techniki wiercenia,

łączony jest krzywym łącznikiem (ang. *Bend Sub*), łącznikiem orientującym sondę pomiarową (ang. *Orienting Sub*) lub łącznikiem wyposażonym w porty do pomiaru ciśnienia wgłębnego (ang. *PWD Sub*).

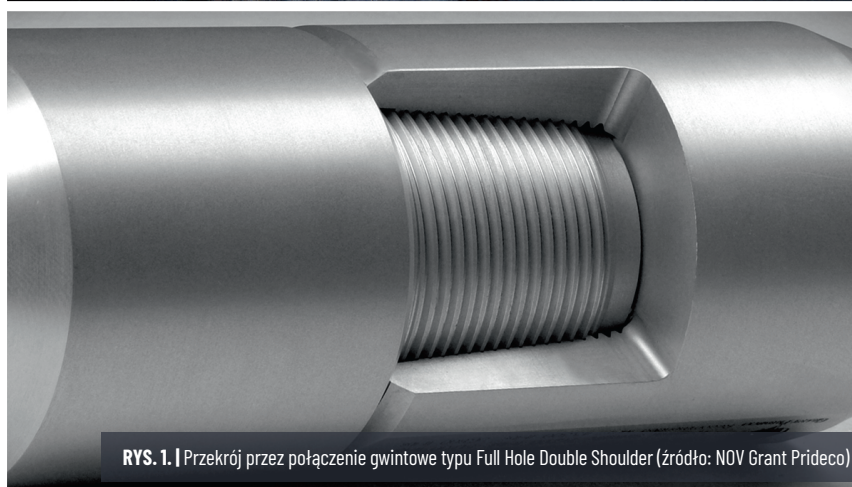
Innym ważnym, a zarazem niezbędnym elementem kolumny przewodu, są stalowe łączniki wiertnicze wykonane z jednego kawałka obciążnika, na którym nacina się połączenia gwintowe. Służą one do łączenia elementów przewodu i narzędzi o tym samym typie połączenia gwintowego (ang. *Sub Saver*) lub dwóch różnych typów połączeń (ang. *X-Over*). Łączone elementy przewodu mogą pełnić nie tylko różne funkcje, ale mogą mieć różną średnicę zewnętrzną i wewnętrzną. Łączniki wykonywane są w trzech typach: czop × mufa, czop × czop, mufa × mufa. Długość stosowanych łączników wiertniczych wynika z funkcji, jaką spełniają w kolumnie przewodu wiertniczego.

W trakcie wiercenia pilotowego można wykorzystywać także nietypowe elementy. Należą do nich spiralne stabilizatory przewodu wiertniczego. Umieszczenie ich w warunkach skalnego wiercenia pozwala na przekazywanie na narzędzie większych nacisków, stabilizuje pracę świdra oraz zmniejsza tendencję do niekontrolowanego odchodzenia od założonej trajektorii. Elementami wykorzystywanymi w zaawansowanym wiertnictwie kierunkowym są amortyzatory drgań (ang. *Shock Tool*). Ich zadaniem jest niedopuszczenie do przeniesienia drgań i uderów z narzędzia wierzącego na przewód wiertniczy i dalej na urządzenie wiertnicze.

Przewód wiertniczy służy do wywierania nacisku na narzędzie poprzez funkcję pchania, jak i ciągnięcia oraz przenoszenia momentu obrotowego niezbędnego do prowadzenia operacji wiertniczej



FOT. 1. | Przewód wiertniczy ze zwornikami uzbrojonymi w hardbanding (źródło: NOV Grant Prideco)



RYS. 1. | Przekrój przez połączenie gwintowe typu Full Hole Double Shoulder (źródło: NOV Grant Prideco)

PROCES PRODUKCJI

Przewód spełniający normę API wykonywany jest najczęściej w technologii zgrzewania tarcowego (ang. *Forged-Friction Welded*). Spęczana na końcach rura płuczkowa jest łączona w kontrolowanym procesie ze zwornikiem. Spęczenie rury ma na ogół charakter na zewnątrz (ang. *EU, External Upset*) lub zarówno na zewnątrz, jak i do wewnątrz (ang. *IEU, Internal External Upset*). Dzięki temu uzyskuje się optymalną grubość ścianki w miejscu połączenia ze zwornikiem. Materiały służące do produkcji rury i zworników przewodu są zwykle różne. Dąży się przy tym do zrównoważenia mechanicznej wytrzymałości zwornika i calizny rury płuczkowej. W czasie produkcji cała długość rury przechodzi obróbkę cieplną i podlega wielokrotnej kontroli jakości. Para zworników – czop i mufa wykonane są oddzielnie. Zworniki przed połączeniem posiadają nacięte gwinty. Ich utwardzone powierzchnie są obrobione

cieplnie i chemicznie. Opcjonalnie zworniki po stronie mufy są wzmacniane poprzez wykonanie napawania (ang. *Hardbanding*). Odcinki rur płuczkowych o długościach do 5 m, stosowane przed urządzenia wiertnicze klasy mini i midi, mogą być wyprodukowane także w jednym kawałku z wykorzystaniem techniki kucia (ang. *One Piece Forged*).

EKSPLLOATACJA POŁĄCZENIA GWINTOWEGO

Połączenie gwintowe przed jego obciążeniem roboczym powinno być skręcone określonym **momentem skręcenia**, który wywołuje w połączeniu na skutek wzajemnego oddziaływania czoł wstępne naprężenia rozciągające w czopie i ściskające w mufie. Każde połączenie gwintowe wymaga skręcenia z kontrolowanym i wymaganym (określonym w tabelach API lub w tabelach producenta) momentem. Wartość zalecanego momentu skręcającego zawiera

się w przedziale od 55 do 60% wytrzymałości zworknika na skręcanie (granicy plastyczności materiału). Zastosowanie prawidłowego momentu skręcającego jest jednym z podstawowych warunków prawidłowej pracy połączenia. Zabezpiecza to przewód przed powstaniem niebezpiecznego zjawiska, jakim jest rozchwianie połączenia i utrata szczelności. O szczelności połączenia decyduje wielkość docisku na kontaktujących się ze sobą czołach czopa i mufy. Rozchwianie powoduje nie tylko utratę szczelności, ale również niesie za sobą ryzyko uszkodze-

nia i deformacji gwintu, a w konsekwencji zmniejszenie jego wytrzymałości i skrócenie czasu możliwej eksploatacji. Gwinty należy czyścić po każdej aplikacji w otworze, a następnie smarować każdorazowo przed ponownym połączeniem. Należy stosować certyfikowany smar i dostosowane do geometrii połączenia ochraniacze gwintów zewnętrznych i wewnętrznych. Urządzenia wiertnicze i szczęki mobilne powinny być wyposażone w precyzyjne zegary dla kontroli momentu stosowanego w trakcie skręcania i rozcinania połączeń gwintowych.

WYTRZYMAŁOŚĆ MECHANICZNA
– ZMĘCZENIE PRZEWODU

Z wytrzymałością mechaniczną przewodu wiążą się maksymalne dopuszczalne obciążenia (siły osiowe, moment obrotowy i momenty zginające), jakie mogą zostać zastosowane w trakcie operacji wiertniczych. Przewód w trakcie pracy podlega działaniu różnych sił:

- siły rozciągającej powstającej pod wpływem ciągnięcia narzędzia wiertniczego lub rurociągów w otworze;

Calizna rury nowa				Zworknik nowy					Zworknik Premium		
Średnica	Ciężar jednostkowy	Wytrzymałość na skręcanie	Wytrzymałość na rozciąganie	Połączenie	Geometria zworknika OD/ID		Wytrzymałość na skręcanie	Wytrzymałość na rozciąganie	Max. moment skręcający połączenie	Średnica zewn. OD	Max. moment skręcający połączenie
cale	lbs/ft	kNm	kN	-	cale		kNm	kN	kNm	cale	kNm
2 3/8	6,65	15,2	1100	NC26	3 5/8	1 1/2	12,1	1730	6,6	3 13/32	5,0
2 7/8	10,40	28,2	1710	NC31	4 3/8	1 5/8	23,1	2770	13,6	4 1/16	10,3
3 1/2	13,30	45,2	2220	NC38	5	2 1/8	35,7	3740	19,6	4 13/16	17,0
	15,50	51,4	2580	NC38	5	2 1/8	35,7	3740	19,6	4 13/16	17,0
	15,50	51,4	2580	NC40	5 1/2	2 1/4	37,5	4350	26,4	5 3/32	19,5
4	14,00	56,8	2280	NC46	6	3	52,9	4660	31,6	5 9/16	21,3
	15,70	63,0	2590	NC46	6	3	52,9	4660	31,6	5 21/32	24,4
4 1/2	16,60	75,2	2640	NC46	6 1/4	2 3/4	60,5	5260	35,9	5 25/32	28,6
	16,60	75,2	2640	NC50	6 5/8	3 1/2	60,2	4930	35,9	6 1/16	28,3
5	19,50	100,5	3160	NC50	6 5/8	2 3/4	85,6	6690	51,3	6 5/16	38,4
	19,50	100,5	3160	NC50 DS	6 5/8	3 1/4	96,7	5640	58,0	6 1/32	38,9
	25,60	127,5	4240	NC50 DS	6 5/8	3 1/4	96,7	5640	58,0	6 5/32	47,9
	25,60	127,5	4240	5 1/2" FH	7 1/4	3 1/4	102,8	7910	63,7	6 15/16	47,8
5 1/2	21,90	123,7	3490	5 1/2" FH	7 1/2	3	117,8	8560	70,2	6 15/16	47,8
	24,70	138,1	3980	5 1/2" FH	7 1/2	3	117,8	8560	70,2	7 1/32	52,5
	24,70	138,1	3980	5 1/2" FHDS	7 1/4	3 1/2	136,9	7200	82,0	6 5/8	55,9
5 7/8	23,40	143,0	3750	5 1/2" FHDS	7 1/4	3 1/2	136,9	7200	82,0	6 5/8	55,9
	26,30	159,9	4270	5 1/2" FHDS	7 1/4	3 1/2	136,9	7200	82,0	6 3/4	61,8
6 5/8	25,20	172,3	3910	6 5/8" FH	8 1/2	4 1/4	147,4	9350	87,7	7 15/16	67,0
	27,70	186,2	4270	6 5/8" FH	8 1/2	4 1/4	147,4	9350	87,7	8 1/32	73,1
	27,70	186,2	4270	6 5/8" FHDS	8	4 1/2	169,8	8430	101,9	7 5/8	77,9
	27,70	186,2	4270	6 5/8" FHDS	8 1/2	4 1/4	230,5	10 130	138,3	7 23/32	96,6
	34,00	247,0	6000	6 5/8" FHDS	8 1/2	4 1/4	230,5	10 130	138,3	7 3/4	98,6
7 5/8	33,70	291,0	5830	6 5/8" FHDS	8 1/2	4 1/4	230,5	10 130	138,3	8	116,0
	39,00	329,5	6720	6 5/8" FHDS	8 3/4	4	257,0	11 070	153,9	8	122,9
	33,70	291,0	5830	6 5/8" H90DS	8 1/2	3 1/2	215,7	9160	129,0	7 1/2	124,0
8 3/4	54,30	531,0	9570	7 5/8" H90DS	10	5	254,0	11 320	151,2	9	147,1

TAB. 2. | Wytrzymałościowe parametry przewodu wiertniczego wykonanego ze stali S-135 (źródło: Superior Drillpipe)

Stan techniczny	Przewód nowy			Klasa Premium		Klasa 2	
Gatunek stali	Średnica zewnętrzna zwornika	Średnica wewnętrzna zwornika	Moment skręcający połączenie gwintowe	Średnica zewnętrzna zwornika	Moment skręcający połączenie gwintowe	Średnica zewnętrzna zwornika	Moment skręcający połączenie gwintowe
	cale	cale	kNm	cale	kNm	cale	kNm
E-75	6 5/8	3 3/4	30,9	5 7/8	21,4	5 13/16	19,1
X-95	6 5/8	3 1/2	37,9	6 1/32	27,3	5 15/16	23,7
G-105	6 5/8	3 1/4	42,1	6 3/32	29,7	6	26,1
S-135	6 5/8	2 3/4	51,6	6 5/16	38,5	6 3/16	33,4

TAB. 3. | Dane techniczne zworników przewodu 5" (połączenie NC50, ciężar jednostkowy 19,50 lbs/ft, grubość ścianki 9,19 mm) z podziałem na klasy zużycia przewodu i gatunki stali wykorzystanej do produkcji calizny rury. W tabeli zaznaczono maksymalny moment skręcający wynikający z geometrii zwornika (źródło: Superior Drillpipe)

- siły ściskającej wywołanej wywieraniem nacisku na świder lub narzędzie poszerzające;
- sił rozciągających i ściskających pochodzących od zginania na skutek istnienia krzywizn otworu i charakteru prac narzędzia (lub zestawu narzędzi);
- sił rozciągających i ściskających powstałych na skutek pchania przewodu i jego wyboczenia (odchylenia osi przewodu od osi otworu);
- sił ciśnienia hydraulicznego powstającego wewnątrz przewodu w trakcie tłoczenia płuczki;
- momentu skręcającego wywołanego momentem oporowym pochodzącym od narzędzia i tarcia przewodu w otworze;
- zmiennych sił różnego rodzaju pochodzących od zjawisk dynamicznych obserwowanych w trakcie komplikacji lub w stanach awarii.

W wiertnictwie kierunkowym całość przewodu pozostaje w skomplikowanym i złożonym stanie naprężeń. W zależności od fazy robót, przewód podlega ściskaniu, rozciąganiu, skręcaniu i zginaniu. Szczególnie niebezpieczna dla przewodu jest faza wiercenia pilotowego i poszerzania w trybie PUSH, kiedy to kolumna przewodu narażona jest na wyboczenia i nieodwracalne deformacje. Przewód wiertniczy przy wykonywaniu prac w otworze, w czasie których jest poddawany ściskaniu, przyjmuje formę zależną od wartości sił, jakie są wywierane przez mechanizm nacisku. Skomplikowany charakter pracy elementów przewodu wynika ze złożoności procesu wiertniczego.

Wprowadzany w ruch obrotowy i ruch posuwisty przewód przemieszcza się przez zakrzywioną trajektorię otworu. Przewód pracuje nie tylko w trakcie rzeczywistej akcji wiertniczej, ale również w trakcie operacji dźwigowych (zapuszczanie i wyciąganie z otworu). W przewodzie powstają naprężenia zmienne wynikające z ruchu obrotowego, ciągnięcia, pchania, zginania, tarcia o ścianę otworu, ciśnienia wewnętrznego, które mogą wzajemnie się nakładać. Przewód podlega cyklicznym obciążeniom, które w konsekwencji będą determinowały czas życia (liczbę cykli pracy) poszczególnych elementów składających się na kolumnę przewodu wiertniczego. Obciążenia zmienne (dynamiczne), jakie dominują w procesie wiertniczym, doprowadzają do uszkodzeń przewodu w miejscu największej akumulacji naprężeń. Dobrze jest znać możliwości wytrzymałościowe przewodu, aby można było właściwie określać parametry jego pracy.

DOPUSZCZALNE PROMIENIE KRZYWIZNY

Istnieje silna korelacja pomiędzy średnicą zewnętrzną calizny rury a dopuszczalnym minimalnym promieniem krzywizny otworu. Biorąc pod uwagę złożony stan naprężeń, rekomenduje się, aby minimalny promień krzywizny otworu, kalkulowany jako złożenie promienia wynikającego z łuków wykonywanych w płaszczyźnie pionowej i poziomej, nie był mniejszy niż iloczyn $1000 \times$ średnica stosowanej rury płuczkowej. Dla przewodu 5" będzie to więc 127 m, a dla przewodu 6 5/8" promień wyniesie 168 m. Należy wziąć też pod uwagę, że jeśli w zestawie przewo-

du znajdują się grubościennne elementy (obciążnik niemagnetyczny, przewód HWD) lub silnik wgłębny (ang. *Mud Motor*), rekomendowana wartość promienia krzywizny ulegnie zwiększeniu zgodnie ze specyfikacją producenta stosowanego osprzętu.

KLASYFIKOWANIE PRZEWODU

Przewód wiertniczy może zostać zakwalifikowany ze względu na swój stan techniczny do czterech klas; nowy (klasa 1), Premium, klasa 2 i klasa 3. Przewód powinien podlegać procesowi okresowej inspekcji. Istotnym problemem jest zużycie zewnętrznych powierzchni przewodu na skutek tarcia o ściany otworu. Należy okresowo sprawdzać, czy nie występują znaczące wytarcia zmniejszające przekrój i wytrzymałość. Najlepszym sprawdzianem są pomiary zużycia i porównanie z wymiarami wyjściowymi. Stopień zużycia gwintów należy skontrolować certyfikowanymi przyrządami. Gwinty zużyte mogą być regenerowane poprzez nacięcie nowego gwintu na tym samym końcu rury płuczkowej.

Inspekcji i ocenie podlega zarówno calizna rury, jak i zwornik. Stopień zużycia powyżej 20% grubości ścianki w caliznie powoduje przeklasyfikowanie przewodu do klasy 2. Również dla każdej geometrii zwornika i typu połączenia gwintowego określa się minimalną zewnętrzną średnicę zwornika jako klasyfikowanego jeszcze do klasy Premium. W wiertnictwie kierunkowym rekomendowane jest użycie wyłącznie przewodu nowego lub pozostającego w klasie Premium. Normy Amerykańskiego Instytutu Naftowego (API, *American Petroleum Institute*) pozwalają

określić aktualny stan techniczny poszczególnych elementów przewodu i związane z nim limity obciążeń. Elementy zużyte (poniżej klasy Premium) powinny być odrzucane, zanim dojdzie do ich zniszczenia pod ziemią. W tab. 3 zamieszczono porównanie geometrii zworników z naciętymi połączeniami NC50 (4 1/2" IF) w funkcji materiału calizny rury i stopnia zużycia.

W wiertnictwie kierunkowym całość przewodu pozostaje w skomplikowanym i złożonym stanie naprężenia. W zależności od fazy robót, przewód podlega ściskaniu, rozciąganiu, skręcaniu i zginaniu

NARZĘDZIA SŁUŻĄCE DO WIERCENIA PILOTOWEGO

Selekcja narzędzi (optymalizacja wyboru) dla określonego projektu musi opierać się na analizie zastanych warunków geologicznych, dostępnej technice wiercenia, długości i średnicy otworu, planowanych promieniach krzywizn, parametrach mechanicznych urządzenia wiertniczego i parametrach hydraulicznych pompy płuczkowej, średnicy

zworników przewodu wiertniczego, zakresie rekomendowanych obrotów narzędzia oraz wymaganej trwałości narzędzia w kontekście planowanego marszu.

Narzędzia wierzące ze względu na przeznaczenie można podzielić na dwie kategorie: świdry do drażenia otworu pilotowego o pełnym przekroju oraz na poszerzacze służące do rozszerzenia średnicy otworu pilotowego, kalibracji otworu i instalacji przewodów rurowych.

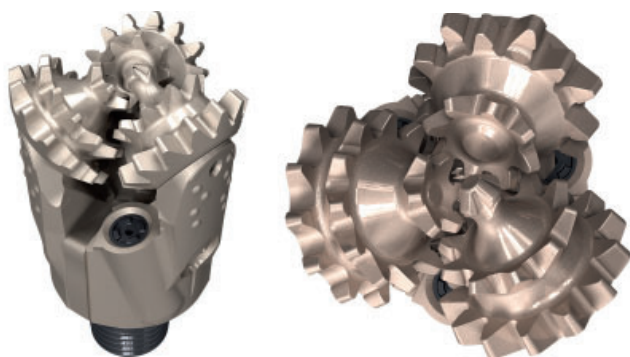
Z kolei podziału świdrów wiertniczych dokonujemy według dwóch kryteriów. Jednym z nich są rozwiązania konstrukcyjne, drugim sposób urabiania formacji.

- **Niesymetryczne (skośne) głowice wyposażone w dysze i płytki sterujące o różnej geometrii i stopniu uzbrojenia** – narzędzia tego typu stosowane są powszechnie w konfiguracjach wiertnic klasy mini i, sporadycznie, midi. Podstawowym sposobem ich działania jest akcja hydrauliczna wynikająca z ataku płuczki przyspieszanej w dyszach narzędzia. Mechaniczne odpajanie ma charakter najczęściej skrawający. Głowice wierzące tego typu nie posiadają ułożyskowanych elementów (gryzów). Świdry asymetryczne jako stosunkowo proste narzędzia wykorzystywane są jedynie w trybie wiercenia jetting i nie znajdują zastosowania w kombinacji z silnikami płuczkowymi (ang. *Mud Motor*).
- **Świdry trójgryzowe** składają się z trzech segmentów zespawanych ze sobą. Każdy segment wyposażony jest w czop, na którym osadzony jest gryz uzbrojony wariantowo we frezowane stalowe zęby MT (*Milled Tooth*) lub słupki TCI. W segmentach świdra wydrążone są kanały doprowadzające płuczkę wiertniczą. Kanały płuczko- we zakończone są wymiennymi dyszami. Ilość dysz uzależniona jest od konstrukcji i średnicy świdra. W większości konstrukcji do średnicy 12 1/4" (311 mm) spotykamy trzy dysze ułożone pomiędzy gryzami. W świdrach większych dodatkowo stosuje się czwartą dyszę o centralnym położeniu. Cechą charakterystyczną świdrów trójgryzowych wykorzystywanych w technice HDD jest posiadanie uszczelnionych łożysk ślizgowych lub tocznych. Jak już wspomniano, struktura tnąca świdra może być wykonana z wyciętych ostrzy (frezów) lub ze słupków z węgla wolframu ułożonych w formie wieńców. Warunkiem konstrukcyjnym jest to, aby wieńce jednego gryza wchodziły pomiędzy wieńce sąsiedniego gryza, zapewniając właściwą akcję wiertniczą i jednocześnie samooczyszczanie się czoła narzędzia. Każdy typ świdra posiada charakterystyczne własności konstrukcyjne uzębienia (wysokość i kąt zaostrenia zębów, podziałkę, ilość zębów, uzbrojenie oraz kształt wieńców kalibrujących).

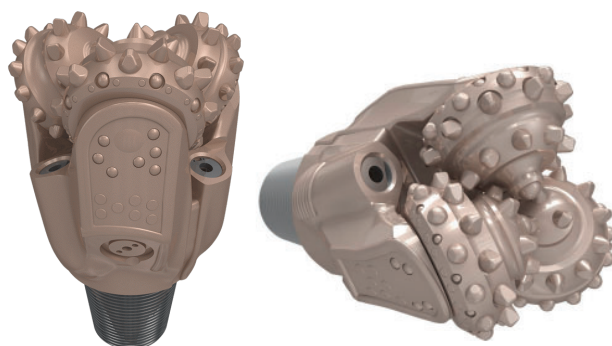
Dla zabezpieczenia narzędzia przed utratą średnicy wzmacnia się jego boczne segmenty węglkami lub pokrywa się je diamentem. Świdry trójgryzowe jako najbardziej uniwersalne narzędzia do wiercenia pilotowego mogą być wykorzystywane zarówno w konfiguracji jetting assembly, jak



FOT. 2. | Niesymetryczne głowice wierzące i nakładki sterująco-urabiające (źródło: Ditch Witch)



FOT. 3. | Świdry trójgryzowe MT wyposażone w stalowe ostrza frezowane (źródło: NOV ReedHycalog)



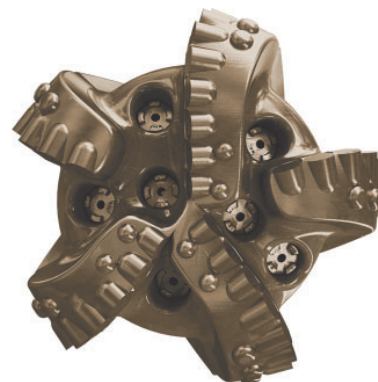
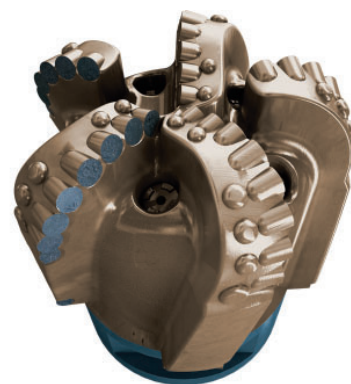
FOT. 4. | Świdry trójgryzowe TCI wyposażone w słupki z węglików wolframu (źródło: NOV ReedHycalog)

i motor assembly. W opcji jetting assembly akcja wiertnicza świdra trójgryzowego opiera się głównie na hydromonitorowym (płuczkowym) oddziaływaniu na formację. Wykorzystuje się do tego celu jedną lub dwie dysze, pozostałe pozostawiając zamknięte. W opcji motor assembly możemy mówić o mechaniczno-hydraulicznej pracy narzędzia, przy czym mechaniczny sposób oddziaływania na formację wykształconą w postaci litej skały polega na kruszeniu, a oddziaływanie na spoiste formacje ilaste zbliżone jest bardziej do skrawania. Wszystkie dysze świdra pozostają w tym przypadku otwarte. Świdry trójgryzowe szczególnie predestynowane są do kruszenia formacji skalnej. Uzbrojony gryz świdra toczy się po dnie otworu, a każdy ząb pod wpływem nacisku i uderu wgłębia się w ścianę, niszcząc tym samym jej strukturę. Następuje przy tym ścinanie skały, które w konsekwencji doprowadza do rozkruszenia i defragmentacji formacji. Do prawidłowej pracy na dnie świdry wymagają stosunkowo wysokich nacisków, optymalnej prędkości obroto-

wej i adekwatnej do średnicy świdra hydraulicznej. Do identyfikacji oraz odpowiedniego doboru świdra trójgryzowego służy klasyfikacja wynikająca z trzycyfrowego kodu opracowanego przez IADC (*International Association of Drilling Contractors*). Pierwsza cyfra kodu określa stopień twardości (zwiercalności) formacji. Cyfry od 1 do 3 zarezerwowane są dla świdrów frezowych (od miękkich do twardych), cyfry od 4 do 8 dla świdrów słupkowych (od miękkich do twardych). Druga cyfra kodu (od 1 do 4) oznacza podgrupę w ramach grupy głównej. Cyfra trzecia (od 1 do 7) określa typ zastosowanych łożysk. Kod 517 określa świder słupkowy do wiercenia w formacjach średnio twardych, wyposażony w uszczelnione łożyska ślizgowe. Kod 135 definiuje świder ze stalową, frezową strukturą tnącą, dostosowany do zwiercania skał miękkich. Jest on wyposażony w uszczelnione łożyska toczne.

- **Świdry typu PDC** (ang. *Polycrystalline Diamond Compact*) charakteryzują się stalowym lub matrycowym kadłubem (ang. *Body*) oraz segmentowym, żebrowym lub

skrzydłowym rozmieszczeniem ostrzy. Świdry PDC z ostrzami z polikrystalicznych diamentów różnicują się także za pomocą kształtu roboczej powierzchni kadłuba świdra oraz wysokości ostrza wystającego ponad powierzchnię body. Ich charakter pracy określany jest jako skrawanie. Narzędzia PDC odznaczają się potencjalnie wyższymi postępami wiercenia i osiąganymi długościami marszy. Stawiają jednak wiele warunków, których spełnienie w branży HDD może okazać się kłopotliwe. Świdry PDC prowadzi się



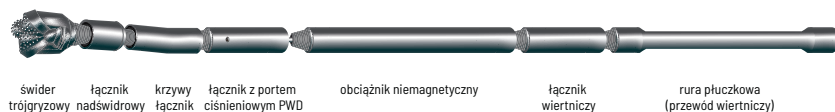
FOT. 5. | Świdry skrawające PDC – Fixed Cutters Bit (źródło: NOV ReedHycalog)

Średnica świdra cale	Średnica świdra mm	Połączenie gwintowe	Min. moment skręcający kNm	Max. moment skręcający kNm
4 5/8–5 1/2	117–140	2 7/8" API REG czop	6,0	7,4
5 5/8–7 3/8	143–187	3 1/2" API REG czop	9,5	12,0
7 1/2–9	190–228	4 1/2" API REG czop	16,2	21,6
9 1/2–14 1/4	241–362	6 5/8" API REG czop	38,0	43,2
14 1/2–20	368–508	7 5/8" API REG czop	46,0	54,0

TAB. 4. | Rekomendowany zakres momentów skręcających połączenia gwintowe świdrów trójgryzowych



RYS. 2. | Konfiguracja dolnego zestawu przewodu wiertniczego dla fazy wiercenia pilotowego w opcji Motor Drilling Assembly



RYS. 3. | Konfiguracja dolnego zestawu przewodu wiertniczego dla fazy wiercenia pilotowego w opcji Jetting Drilling Assembly

przy niższych naciskach niż ma to miejsce w przypadku świdrów trójgryzowych. Wymagania hydrauliczne (przepływ i moc hydrauliczna na cal kwadratowy otworu) są jednocześnie wyższe. Niezwykle istotnym wymaganiem dla prawidłowej eksploatacji jest odprowadzenie dużej ilości ciepła powstającego w wyniku pracy na spodzie otworu. Narzędzia tego typu mogą być wykorzystywane wyłącznie w trybie motor assembly lub RSS (ang. *Rotary Steerable System*). Czas życia świdra PDC jest teoretycznie wyższy niż świdra rolkowego ze względu na brak ułożyskowanych części ruchomych.

Szczególnie niebezpieczna dla przewodu jest faza wiercenia pilotowego i poszerzania w trybie push, kiedy to kolumna przewodu narażona jest na wyboczenia i nieodwracalne deformacje

Sposób doboru typu narzędzia i techniki wiercenia zależy w największym stopniu od spodziewanych warunków geologicznych, parametrów mechaniczno-hydraulicznych zmobilizowanego sprzętu wiertniczego oraz kompetencji i stopnia wyszkolenia zaangażowanego personelu. Największy zakres stosowania mają przy tym świdry trójgryzowe. Jak już wspomniano, dla określenia rodzaju świdra i typu jego struktury tnącej należy stosować terminologię IADC, która za pomocą cyfrowych i literowych kodów określa

dopasowanie świdra do formacji i techniki wiercenia.

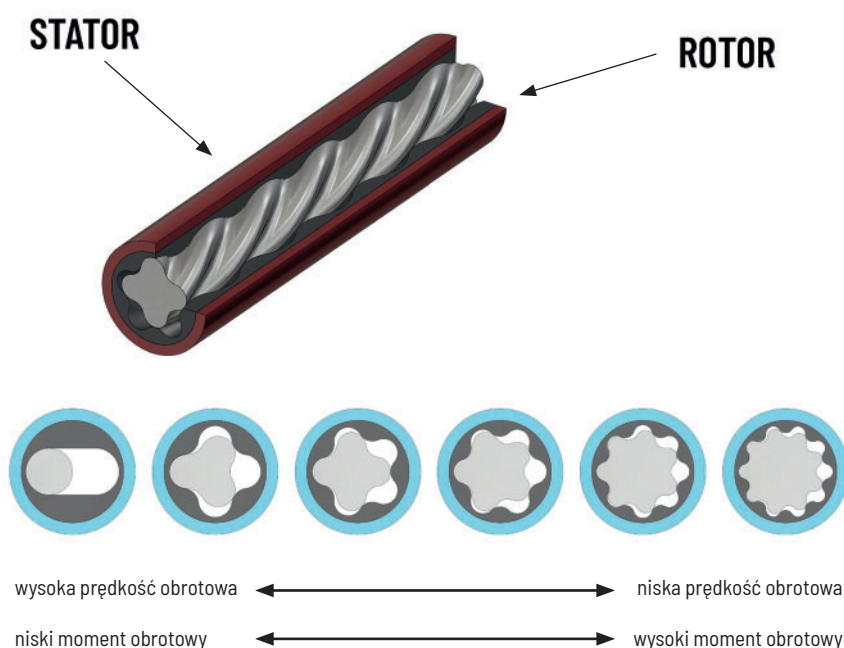
Technika HDD korzysta z dwóch możliwych koncepcji i strategii postępowania w trakcie wiercenia pilotowego: wiercenie hydromonitorowe (ang. *Jetting Assembly*) i, jako alternatywa, wiercenie z użyciem silnika wgłębego (ang. *Motor Assembly*). W pierwszej opcji wykorzystuje się świder trójgryzowy z krzywym łącznikiem (lub skośną asymetryczną głowicę pilotową). Urabianie formacji dokonuje się głównie dzięki działaniu strumienia płuczki wypływającej z dysz narzędzia pilotowego. Metoda hydromonitorowa jest powszechnie wykorzystywana w trakcie wiercenia przez warstwy niespoiste, z dominującym udziałem frakcji piaskowej. W opcji drugiej świder trójgryzowy jest mocowany bezpośrednio do wrzeczona motoru. W tym przypadku charakter pracy można określić jako mieszany: mechaniczno-hydrauliczny. Zoptymalizowane dla potrzeb HDD modele silników charakteryzują się wysokim momentem obrotowym, regulowaną w szerokim zakresie prędkością obrotową narzędzia oraz nastawną krzywizną dolnej części korpusu. Ich ekonomicznie uzasadnione użycie związane jest z formacjami skalnymi o wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe powyżej 10 MPa, ale także z kohezijnymi formacjami o wysokiej zawartości frakcji ilowej i pyłowej. Silniki wykorzystuje się w segmencie midi, maxi i mega. W segmencie maszyn o sile ciągnięcia do 300 kN, częściej w warunkach litej skały, spotyka się wiercenie metodą podwójnej żerdzi (ang. *All Terrain*), która dla uzyskania satysfakcjonującego postępu wiercenia wymaga niższych przepływów niż silniki płuczkowe z zakresu średnic 3 3/4–4 3/4" (95–121 mm).

Powszechnie wykorzystywane przez średnie i duże urządzenia wiertnicze silniki wgłębne pozwalają wiercić zakrzywione od-

cinki (sterować trajektorią) w formacjach, które nie podlegają skutecznemu wypłukiwaniu. Również w formacjach mieszanych, gdzie mamy do czynienia z warstwami niespoistymi i spoistymi, wybór silnika może być optymalnym rozwiązaniem. Silnik wgłębny pozwala znacząco zwiększyć postęp wiercenia. Energia hydrauliczna dostarczana do silnika jako konsekwencja przepływu i spadku ciśnienia jest zamieniana na energię mechaniczną i przekazywana jest bezpośrednio na świder w formie rotacji oraz dostępnego momentu obrotowego. W sekcjach wiercenia orientowanego (po łuku) nie istnieje konieczność obracania przewodem dla uzyskania postępu. Prędkość obrotowa świdra jest funkcją geometrii silnika oraz strumienia przepływu płuczki i jest ona znacząco wyższa niż przy konwencjonalnym wierceniu typu jet. Wiercenie motorem pozwala na stabilną pracę narzędzia na skutek znaczącej redukcji vibracji. Skutkiem stabilnej pracy jest optymalne wykorzystanie świdra. Uzyskiwany postęp i czas życia narzędzia jest przewidywalny. Wiercenie z użyciem motoru pozwala obniżyć tempo zużycia przewodu wiertniczego, nie tylko ze względu na zmniejszoną ilość vibracji, ale dzięki zmniejszeniu wymaganej prędkości obrotowej całej kolumny przewodu. Zakłada się, że w trakcie pracy z motorem zawartość fazy stałej w płuczce zatłaczanej do otworu jest kontrolowana, a zawartość frakcji piaskowej nie powinna być wyższa niż 1% objętościowo. Parametry pracy i tendencja do budowania krzywizny są szczegółowo opisane w karcie informacyjnej silnika. Urządzenie to powinno podlegać okresowym przeglądom i serwisowi w specjalistycznym warsztacie. Czas pracy pomiędzy przeglądami określa producent i mieści się w przedziale od 150 do 200 godz. pracy na dnie otworu.

Wgłębny silnik płuczkowy (ang. *Mud Motor*) składa się z kilku istotnych elementów:

- łącznik górny (ang. *Top Sub/Dump Sub*);
- sekcja silnikowa stator-rotor (ang. *Power Section*) odpowiedzialna za dokonanie konwersji energii hydraulicznej na mechaniczną składa się zasadniczo z dwóch elementów: statora wykonanego z elastomeru i stalowego rotora. Ilość krzywek (ang. *Lobe*) statora jest większa o jeden niż ilość krzywek rotora. Dostępne konfiguracje zmieniać się mogą od podziału 1:2 (duża prędkość obrotowa/niski moment obrotowy) do 9:10 (niska prędkość obrotowa/wysoki moment obrotowy). Długość pojedynczej spirali statora (ang. *Stage*) będzie również czynnikiem wpływającym na parametry pracy silnika. Wielokrotność długości pojedynczej spirali decyduje o ciśnieniu roboczym motoru i determinuje dostępny moment na wrzecionie;
- sekcja wału napędowego i nastawnego krzywego łącznika (ang. *Adjustable Drive-shaft Assembly*) ma za zadanie konwersję ekscentrycznego ruchu wału wynikającego z konstrukcji sekcji silnikowej na ruch centryczny wymagany dla prawidłowej pracy świda. Wiele typów silników dysponuje możliwością zmiany nastaw kątowych (stopnia odchylenia) dolnej części motoru. W praktyce wiertniczej HDD najczęściej stosuje się nastawy z przedziału od 1,5 do 2,3 stopnia. Im większy kąt skrzywienia silnika, tym większa potencjalna tendencja do budowania krzywizny (mniejszy promień trajektorii). Z kolei im większy dokręcony do silnika świder, tym mniejsza tendencja do budowania krzywizny;
- sekcja łożyskowa (ang. *Bearing Assembly*) jest odpowiedzialna za przekazanie rotacji oraz nacisku na świder. Przenosi zarówno obciążenia ściskające wynikające z procesu wiercenia, jak i obciążenia rozciągające pojawiające się w trakcie podciągania przewodu lub podczas operacji wyciągowych. Jednocześnie zabezpiecza przed negatywnym wpływem obciążeń promieniowych i momentów zginających. Spotyka się silniki z sekcją łożyskową w pełni uszczelnioną, smarowaną olejem, jak i smarowaną płuczką wiertniczą. Dolna część silnika jest wrzecionem zaopa-



RYS. 4. | Możliwe konfiguracje sekcji silnikowej stator-rotor (źródło: NOV Downhole)

trzonem w mufę z gwintem typu Regular. Do niej przykręcany jest świder trójgryzowy lub skrawający z momentem rekomendowanym przez producenta narzędzia.

W tab. nr 5 i 6 podano rekomendacje dotyczące konfiguracji dolnego zestawu przewodu wiertniczego w obszarze narzędzi w kontekście dominującej w profilu wiercenia formacji geologicznej. W przypadku dużego zróżnicowania geologicznego możliwe jest

wykonywanie otworu pilotowego sekcjami i zmiana oprzyrządowania w trakcie wiercenia (wyciąganie zestawu i zapuszczanie do otworu po zmianie konfiguracji). Dokonano rozróżnienia na cztery klasy wiertnic HDD i stowarzyszonych z nimi geometrii przewodów wiertniczych – przypisując każdej z nich zakres użytecznych średnic przewodu wiertniczego. Zakłada się przy tym, że dostępne wysokociśnieniowe pompy płuczkowe spełniają warunki hydrauliczne do współpracy

Formacja	Wytrzymałość na ściskanie jednoosiowe	Min. średnica silnika wgłębego	Rekomendowany typ świda
Niespoiste (piaski/pospółki, żwiry)			Jet bit/MT
Spoiste (gliny, iły)		3 3/4"	Jet bit/MT
Rumosz skalny		4 3/4"	Jet bit/MT
Skały bardzo miękkie	< 5 MPa	2 7/8"	Jet bit/MT
Skały miękkie	5–35 MPa	3 3/4–4 3/4"	TCI
Skały średnie	35–70 MPa	4 3/4–6 3/4"	TCI/PDC
Skały twarde	70–150 MPa	6 3/4–8"	TCI/PDC
Skały bardzo twarde	> 150 MPa	8–9 5/8"	TCI/PDC

Legenda:

Jet bit – niesymetryczna głowica (świder) hydromonitorowy

MT – trójgryzowy świder typu frezowego

TCI – trójgryzowy świder typu słupkowego

PDC – świder skrawający z ostrzami z polikrystalicznych diamentów

TAB. 5. | Typy formacji geologicznych vs metoda wiercenia otworu pilotowego

Klasa urządzenia wiertniczego	Średnica calizny przewodu wiertniczego	Średnica motoru	Połączenie gwintowe dla świdra	Średnica narzędzia pilotowego jet	Średnica narzędzia pilotowego motor	Średnica obudowy sondy dla systemu walk over	Średnica obciążnika dla systemu MGS lub GST
	cale	cale	-	cale	cale	cale	cale
MINI PF < 300 kN TQ < 15 kNm	2 3/8	-	2 7/8" REG	4 3/4-5 1/2	-	3	-
	2 7/8	3 1/8-3 3/4	2 7/8" REG 3 1/2" REG	5-6 1/2	4 3/4-6 1/2	3 1/2	3 3/4
	3 1/2	4 3/4	3 1/2" REG	5 7/8-7 3/8	6-7 7/8	3 3/4	3 3/4-4 3/4
MIDI 300-800 kN 15-50 kNm	3 1/2	4 3/4	3 1/2" REG 4 1/2" REG	6-8 3/4	6-8 3/4	4 3/4	3 3/4-4 3/4"
	4	6 3/4	3 1/2" REG 4 1/2" REG	6 1/2-8 3/4	7 7/8-8 3/4	5	4 3/4
	5	6 3/4	4 1/2" REG	8 1/2-9 7/8	8 1/2-9 7/8	6 3/4	6 3/4
MAXI 1000-2500kN 60-100 kNm	5	6 3/4	4 1/2" REG 6 5/8" REG	8 1/2-10 5/8	8 1/2-10 5/8	-	6 3/4"
	5 1/2	7 3/4-8	6 5/8" REG	9 7/8-12 1/4	9 7/8-13 3/4	-	6 3/4-8
	6 5/8	7 3/4-8	6 5/8" REG 7 5/8" REG	10 5/8-14	10 5/8-16	-	8
MEGA > 2500 kN > 120 kNm	5 7/8	7 3/4-8	6 5/8" REG	10 5/8-13 3/4	10 5/8-14 3/4	-	8
	6 5/8	8-9 5/8	6 5/8" REG 7 5/8" REG	12 1/4-14 3/4	12 1/4-17 1/2	-	8
	7 5/8	9 5/8	6 5/8" REG 7 5/8" REG	12 1/4-17 1/2	14-20	-	8-9 5/8

TAB. 6. | Konfiguracja dolnej części przewodu wiertniczego (BHA, Bottom Hole Assembly) w trakcie wiercenia otworu pilotowego

z silnikami wgłębnyymi o dedykowanej geometrii.

SYSTEMY NAWIGACJI, POMIARÓW
WGŁĘBNYCH I KONTROLI
TRAJEKTORII

Jak wynika z poprzednich artykułów naszego cyklu, dla wykonania skomplikowanej trajektorii otworu kierunkowego niezbędne jest zmobilizowanie adekwatnych do skali przedsięwzięcia elektronicznych instrumentów służących lokalizacji sondy pomiarowej i nawigowaniu w otworze. Do praktycznej aplikacji można wybrać jeden z kilku dostępnych na rynku systemów. W pierwszym z nich (radiowy system walk over) mamy do czynienia ze śledzeniem i kontrolowaniem trajektorii. Sonda pomiarowa (nadajnik) emituje sygnał radiowy odbierany przez lokalizator powierzchniowy. Lokalizacja dokonywana jest z powierzchni

znajdującej się bezpośrednio nad sondą lub, w przypadku braku takiej możliwości, także z pewnego oddalenia od założonej osi otworu. Pomiar offsetowy jest użyteczny zwłaszcza w sytuacji, gdy utrudnione lub niemożliwe jest zajęcie pozycji nad nadajnikiem. Dokładność systemu i jego zasięg wgłębny są uzależnione w znacznym stopniu od rodzaju zastosowanej sondy. Te relatywnie proste w obsłudze i interpretacji systemy dostarczają informacji dotyczących aktualnej głębokości sondy pomiarowej (w stosunku do powierzchni nadległego terenu), inklinacji (pochylenia względem poziomu), orientacji czoła narzędzia, temperatury pracy sondy oraz stopnia naładowania baterii. Wiele dostępnych na rynku sond może współpracować z zasilaniem kablowym, dając możliwość realizacji dłuższych otworów bez konieczności wykonywania operacji związanych z wyciąganiem i zapuszczaniem przewodu do otworu. Dane

dotyczące pozycji, w jakiej znajduje się sonda, odbierane są przez operatora systemu i podlegają transmisji do odbiornika umieszczonego obok stanowiska wiertacza. Informacja o odległości horyzontalnej (AWAY) i głębokości szacowanej dla pozycji, w której znajduje się odbiornik, pozwala na dokładne realizowanie trajektorii zaplanowanej w układzie dwuwymiarowym, gdzie nie wykonuje się istotnych zmian azymutu. Dokładność pomiaru systemem walk over maleje wraz z głębokością, na której znajduje się sonda. System nie pozwala na precyzyjne określenie zmian azymutu (kierunku wiercenia). Jego wykorzystanie w praktyce ogranicza się do otworów o długościach do 500 m realizowanych na głębokościach do 30 m. System ten nie znajduje praktycznego zastosowania przy otworach wierconych po łukach o promieniach o długości powyżej 600 m, przy zmiennym azymucie o kontrolowanym promieniu krzywiz-

zny lub przy przekraczaniu rzek, kanałów czy innych przeszkód o znacznej rozciągłości. Urządzenia radiowej lokalizacji znajdują się na wyposażeniu większości urządzeń wiertniczych klasy mini (do 300 kN siły ciągnięcia) i częściowo także klasy midi (od 300 do 800 kN siły ciągnięcia).

Technika HDD korzysta z dwóch możliwych koncepcji i strategii postępowania w trakcie wiercenia pilotowego: wiercenie hydromonitorowe (Jetting Assembly) i, jako alternatywa, wiercenie z użyciem silnika wgłębnego (Motor Assembly)

W przypadku projektów realizowanych przez urządzenia klasy maxi/mega, a także bardziej skomplikowanych przekroczeń zaplanowanych pod wiertnice należące do segmentu midi, powszechnie stosuje się systemy nawigacji magnetycznej MGS (Magnetic Guidance System). Metody te należą do kategorii MWD (Measurement While Drilling), umożliwiających ciągły pomiar parametrów wiercenia kierunkowego i ich transmisję w czasie rzeczywistym. Sondy pomiarowe zawierają wbudowane akcelerometry i magnetometry mierzące inklinację i azymut na danej głębokości. Pomiaru te muszą zostać powiązane ze stałym układem odniesienia, aby było możliwe wykonanie kalkulacji określających przebieg trajektorii otworu i oddających wszelkie rejestrowane zmiany kątowe dotyczące: czoła narzędzia (tool face), inklinacji (kąt pionowy) oraz azymutu (kąt horyzontalny). Sondy systemów MGS umieszczane są w obciążnikach wykonanych z wysokogatunkowych stopów niemagnetycznych. Sygnał sondy przekazywany jest, w większości przypadków, kablem jednożyłowym montowanym sukcesywnie wraz z postę-

pem wiercenia wewnątrz przewodu wiertniczego. Oprócz wgłębnej sondy pomiarowej na system MGS składa się konsola wiertacza, interfejs, komputer i drukarka. Obciążnik niemagnetyczny łączony jest z pozostałymi elementami dolnego zestawu, takimi jak: łącznik orientujący (ang. *Orientation Sub* lub *PWD Sub*), krzywy łącznik w przypadku stosowania świda do techniki urabiania formacji strumieniem płuczki (ang. *Jetting Assembly*) lub silnik wgłębny napędzający świder (ang. *Motor Assembly*). System charakteryzuje się wysoką dokładnością oraz niezawodnością działania. Pomiar inklinacji jest pewny i niezakłócony. Pomiaru azymutu dokonuje się w oparciu o ziemskie naturalne pole magnetyczne lub sztucznie stworzone na powierzchni terenu pole magnetyczne. Pomiar w pętli weryfikującej rozłożonej na powierzchni terenu wzdłuż osi otworu umożliwia nie tylko potwierdzenie pozycji narzędzia ustalonej na podstawie geometrycznych kalkulacji, ale pozwala na nawigowanie w obszarze, w którym występują istotne zakłócenia czy anomalie magnetyczne. W przypadku braku możliwości rozłożenia powierzchniowej pętli, można poszukiwać się alternatywnym źródłem pola, jakim jest solenoid (*AC Beacon*). Jest on szczególnie często aplikowany w obszarze przeszkód wodnych o dużej rozciągłości lub w trakcie wiercenia pod niedostępnymi obszarami bagiennymi. Najpopularniejsze systemy MGS obsługu-

jące technikę HDD to Paratrack (źródło: Vector Magnetics) i Tensor – Tru Tracker (Tensteer/Sharewell). Obydwa systemy magnetyczne można zakupić lub wynająć od jednej z licencjonowanych firm serwisowych.

W przypadku silnych zakłóceń pola magnetycznego, które mogą wynikać z bliskiej obecności stalowych obiektów podziemnych (fundamenty, rurociągi), linii energetycznych, linii kolejowych, poruszających się powyżej linii wiercenia jednostek pływających, istnieje możliwość wykorzystania systemu odpornego na takie oddziaływanie. System DrillGuide GST (ang. *Gyro Steering Tool*) został opracowany i wdrożony przez spółkę serwisową Brownline. DrillGuide GST jest szczególnie przydatny w trakcie precyzyjnego wiercenia otworów kierunkowych w warunkach silnych zakłóceń pola magnetycznego. Kluczową rolę odgrywają tu żyroskopy. Dokładność takiego systemu sięga $0,05^\circ$ w zależności od mierzonego parametru i jest teoretycznie (choć niekoniecznie w praktyce) wyższa niż dla systemów MGS starszej generacji. System żyrokompasowy nie jest zależny w swoim działaniu od północnego bieguna magnetycznego. Nie wykazuje też ograniczeń w zakresie głębokości wiercenia i, podobnie jak systemy magnetyczne, zapewnia ciągłą transmisję danych o aktualnym położeniu świda. Co do zasady, położenie sondy wynika z kalkulacji i nie jest weryfikowane przez pętlę



RYS. 5. Elementy systemu nawigacji magnetycznej Paratrack (źródło: Prime Horizontal)

powierzchniową. Zasięg wiercenia systemem żyrokompasowym GST, podobnie jak i systemami magnetycznymi, oceniany jest obecnie na około 5 km, natomiast udowodniona głębokość wiercenia przekracza 300 m.

W ostatnich latach kanadyjska firma Direct Horizontal Drilling zaadaptowała dla techniki HDD system nawigacji i pomiarów węglębnych EM MWD. Wykorzystane narzędzie nawigujące nie wymaga montażu kabla transmitującego sygnał wewnątrz przewodu wiertniczego, co jest charakterystyczne dla innych metod nawigacji stosowanych w HDD. Firma wykorzystuje narzędzie elektromagnetyczne (*EM MWD Tool*) wyprodukowane i zmodyfikowane przez firmę Boregyde Inc. System EM zawiera wysokiej klasy, bardzo dokładne sensory odpowiadające za pomiary parametrów wiercenia kierunkowego oraz zintegrowane z nimi sensory ciśnieniowe. Narzędzie jest tylko nieco dłuższe od konwencjonalnych magnetycznych sond pomiarowych zasilanych kablem, jednak dzięki jego zastosowaniu można zyskać na dokładności pomiarów. Sonda jest zasilana za pomocą pakietu baterii. Informacje do inżyniera kierunkowego przekazywane są za pomocą opatentowanego systemu WETS (ang. *Windows Electro-Magnetic Telemetry System*) poprzez przewód wiertniczy. System pracuje z różną częstotliwością próbkowania danych zawierających informacje o położeniu czoła narzędzia (*tool face*), inklinacji i azymucie. Kompletna transmisja sekwencji danych i dokładne ustalenie pozycji jest zakończone przed dołożeniem kolejnego odcinka przewodu wiertniczego. Dla podniesienia precyzji nawigacji można zastosować też powierzchniowe pętle pomiarowe zasilane prądem stałym.

Chęć połączenia zalet dwóch systemów nawigacji – żyrokompasowego i magnetycznego, legła u podstaw opracowania instrumentów hybrydowych. Jednym z takich systemów jest zaprezentowany przez firmę Sharewell produkt o nazwie Opti-Trac Gyro. W zamyśle jest kombinacją dwóch układów pomiarowych: magnetycznego o wysokiej rozdzielczości i pakietu Fibre Optic Gyro (FOG). Do niezakłóconej pracy wymaga

umieszczenia sondy pomiarowej w obciążniku wykonanym ze stopów niemagnetycznych.

Dzięki stosowaniu systemów magnetycznych, żyrokompasowych i mieszanych (hybrydowych) możliwe jest korzystanie z metody Intersect (ang. *Meeting in the Middle*) polegającej na wierceniu dwóch otworów, których trajektorie przecinają się w wyznaczonym (zaplanowanym) miejscu na głębokości kilkudziesięciu czy nawet ponad 100 m pod powierzchnią. Magnetyczny system nawigacji wspierany jest przy tym przez dodatkowe źródła pola (np. rotating magnet, axial magnet), a system żyrokompasowy przez tryb Radar. Nawigacja w otworze powinna być prowadzona przez wyspecjalizowanego w tej dziedzinie inżyniera. Jego rola, jako operatora systemu i jako interpretatora, jest kluczowa z punktu widzenia powodzenia projektu.

Wybór elementów przewodu wiertniczego i narzędzi wiertniczych jest krytycznym etapem w procesie planowania projektów HDD

Systemy nawigacji wzbogacane są o szeregi czujników informujących o ciśnieniu panującym wewnątrz przewodu wiertniczego i w przestrzeni pierścieniowej otworu pilotowego. Pomiar ciśnienia węglębego rejestrowany jest i przekazywany w czasie rzeczywistym razem z danymi wiercenia kierunkowego. W czasie, gdy sonda jest podłączona do zasilania, system w sposób ciągły rejestruje ciśnienia w obrębie dolnej części przewodu. Na podstawie wartości ciśnień mierzonych w stanach statycznych i dynamicznych (w trakcie przepływu płuczki) można wnioskować o stanie technicznym otworu, kontrolować skuteczność transportu zwiercin, wdrażać procedury naprawcze, monitorować odporność formacji na ciśnienie, a także określać maksymalną dopuszczalną prędkość wiercenia.

Monitorowanie ciśnień węglębnych znalazło powszechne zastosowanie w realizacji większości dużych projektów wiertniczych.

Do węglębnych systemów pomiarowych należy zaliczyć też pomiar inklinacji w czasie rzeczywistym, odbywający się w obrębie dolnej części silnika węglębego, pomiar rzeczywistych nacisków wywieranych na narzędzie wierzące oraz moduły tensometryczne umożliwiające pomiar rzeczywistych sił instalacyjnych. Te ostatnie montuje się w bezpośredniej bliskości rurociągu.

PODSUMOWANIE

Wybór elementów przewodu wiertniczego i narzędzi wiertniczych jest krytycznym etapem w procesie planowania projektów HDD. Decydujące znaczenie ma tutaj praktyka wiertnicza i doświadczenie kontraktora zdobyte w dotychczasowej działalności. Bezkompromisowe podejście do tego problemu skutkuje obniżeniem ryzyka wystąpienia komplikacji i awarii wiertniczych. Dbłość o jakość procedur eksploatacyjnych osprzętu węglębego oraz prawidłowa selekcja i konfiguracja dolnego zestawu przewodu wiertniczego jest istotnym wyróżnikiem profesjonalnych podmiotów. Planując projekt, powinniśmy wybierać elementy z pewnym zapasem i współczynnikiem bezpieczeństwa, adekwatnym do skali powierzonych nam zadań. Warto pamiętać, że nie wszystkie typy narzędzi są do zastosowania przez każdą spółkę wiertniczą. Nie ma też narzędzi na tyle uniwersalnych, że możemy je stosować bez względu na napotkane warunki geologiczne i dostępną technikę wiercenia. |

W najbliższych numerach kwartalnika „Inżynieria Bezwykopowa” zostaną opublikowane kolejne części artykułu poświęcone następującym zagadnieniom:

Część 6: Narzędzia do poszerzania otworów i instalacji rurociągów

Część 7: Programy technologiczne i technika wiercenia

Część 8: Dokumentacja i raporty. Wymagania kompetencyjne

Część 9: Zarządzanie projektem. Harmonogram i budżet



BEZWYKOPOWA BUDOWA

PLANOWANIE I REALIZACJA PROJEKTÓW HDD

CZĘŚĆ VI: NARZĘDZIA DO POSZERZANIA OTWORÓW
I INSTALACJI RUROCIĄGÓW



ROBERT OSIKOWICZ
ROE

(ur. 1966), absolwent Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Zajmuje się technologią wiercenia otworów kierunkowych i praktycznymi aplikacjami płynów wiertniczych w otworach różnego przeznaczenia. Jest autorem ponad 20 referatów wygłoszonych na międzynarodowych konferencjach technicznych, a także szeregu publikacji dotyczących konfiguracji sprzętu, optymalizacji techniki wiercenia, analiz rynku technologii bezwykopowych, zarządzania jakością i ryzykiem w działaniach wiertniczych, tworzenia harmonogramów i budżetów projektów. Od 2009 r. pracuje dla firmy Robert Osikowicz Engineering. Firma jest członkiem międzynarodowej branżowej organizacji wiertniczej Drilling Contractors Association (DCA-Europe).

Jak wynika z dotychczas opublikowanych artykułów, technika HDD składa się z kilku niezbędnych dla jej funkcjonowania elementów: specjalistycznych urządzeń i osprzętu wiertniczego, zdefiniowanych i zaakceptowanych metod postępowania, zestawu technologii bazujących zarówno na prawach i formułach naukowych, jak i doświadczeniach praktycznych. W niniejszej części skupimy się na możliwych konfiguracjach narzędzi wykorzystywanych po fazie wiercenia pilotowego. Ich selekcja odbywa się według kilku podstawowych kryteriów: dopasowania do rozpoznanych warunków geologicznych, możliwości uzyskania wymaganego (ekonomicznego i bezpiecznego) postępu wiercenia oraz osiągnięcia celów technologicznych

NARZĘDZIA SŁUŻĄCE DO POSZERZANIA OTWORU

Etap poszerzania otworu (*reaming*) jest z punktu widzenia wielu kontraktorów uznawany za łatwiejszy i bardziej przewidywalny niż faza wiercenia pilotowego. Nawet, jeśli tkwi w tym ziarno prawdy, to lekceważenie potencjalnych problemów i ryzyk, które mogą się zmaterializować, jest oczywistym błędem. Osiągnięcie otworu o określonej geometrii i wymaganej jakości wymaga wykonania na etapie planowania szeregu analiz i symulacji. Należy upewnić się, czy docelowa średnica otworu jest osiągalna w co najwyżej czterech krokach. Tutaj decydujące znaczenie będą miały parametry mechaniczne urządzenia wiertniczego, w tym zwłaszcza moment obrotowy dostępny dla wymaganej prędkości obrotowej. Ze wzrastającą średnicą otworu rosną też wymagania stawiane układowi płuczkowemu. Zdolność do tłoczenia optymalnego strumienia płuczki i jednoczesnego zamykania obiegu z wykorzystaniem wydajnych układów separacji faz będzie determinowała czas potrzebny na wykonanie tej fazy robót.

Narzędzia i osprzęt wgłębny powinny być tak dobierane, aby uzyskać następujące rezultaty techniczne:

- dopasowanie struktur tnących narzędzi do typowych i anomalnych (występujących miejscowo) warunków geologicznych;
- możliwość skręcania stabilizowanych ze-

stawów wiercących;

- satysfakcjonujący postęp poszerzania otworu;
- wysoka trwałość korpusów, łożysk, elementów roboczych oraz zdolność do ich wymiany lub regeneracji;
- utrzymanie kosztów operacyjnych w ramach założonego budżetu.

Jak wspomniano w poprzednim artykule, wiercenie pilotowe bazuje na dwóch odrębnych technikach: *jetting drilling* oraz *motor drilling*. Na etapie poszerzania również możemy wyodrębnić dwa możliwe typy operacji: poszerzanie konwencjonalne w trybie PULL (poprzez ciągnięcie narzędzia od punktu wyjścia w stronę punktu wejścia) lub też alternatywną metodę w trybie PUSH (poprzez pchanie narzędzia od strony wiertnicy w kierunku punktu wyjścia). W obydwu metodach nacisk i prawa rotacja przekazywane są z urządzenia wiertniczego poprzez przewód wiertniczy. Poszerzanie w trybie „ciągnąc” (PULL) jest bezpieczniejsze i szybsze, gdyż przewód wiertniczy jest w zasadzie cały czas rozciągany, a narzędzie (lub grupa narzędzi) podąża wzdłuż linii oryginalnego wiercenia pilotowego. Poszerzanie w trybie „pchając” (PUSH) jest operacją, podczas której przewód wiertniczy poddawany jest kompresji i istnieje realne ryzyko jego wyboczenia. Im większa jest aktualna średnica otworu, tym mniejszy nacisk można wyrzucić od strony urządzenia wiertniczego. Problem ten moż-

Formacja	Wytrzymałość na ściskanie jednoosiowe	Rekomendowana minimalna średnica przewodu wiertniczego	Rekomendowany typ poszerzacza
Niespoiste (piaski/pospółki, żwiry)		2 3⁄8"	BR/FC
Spoiste (gliny, iły)		2 7⁄8"	FC/HO MT/BR
Rumosz skalny		3 1⁄2"	FC/HO MT
Skały bardzo miękkie	< 5 MPa	2 7⁄8"	HO MT
Skały miękkie	5–35 MPa	3 1⁄2"	HO TCI/HO MT
Skały średnie	35–70 MPa	5"	HO TCI/PDC
Skały twarde	70–150 MPa	5 1⁄2"	HO TCI/PDC
Skały bardzo twarde	> 150 MPa	6 5⁄8"	HO TCI/PDC

Legenda:
BR – narzędzie konwencjonalne typu zamkniętego (*Barrel Reamer*)
FC – narzędzie konwencjonalne typu otwartego (*Fly Cutter*)
HO MT – hole opener z gryzami typu frezowego
HO TCI – hole opener z gryzami typu słupkowego TCI
PDC – hole opener skrawający z ostrzami z polikrystalicznych diamentów

TAB. 1. | Typy formacji geologicznych vs metoda poszerzania otworu

na częściowo rozwiązać poprzez montaż po stronie punktu wyjścia urządzenia, które będzie ciągnąć poszerzacz, wywołując jednocześnie nacisk narzędzia na ścianę otworu. Obroty narzędzia są wówczas nadawane przez podstawowe urządzenie wiertnicze, które kontroluje zachowanie przewodu przez napinanie. Metoda PUSH znajduje zastosowanie dla przewodów wiertniczych o średnicy calizny od 5" (127 mm) wzwyż.

Poszerzanie otworu, jego kalibracja oraz zabudowa w nim rurociągów to kolejne etapy następujące bezpośrednio po zakończeniu wiercenia pilotowego

Wiertnictwo HDD opracowało całą gamę narzędzi służących do poszerzania otworów pilotowych. Ze względu na konstrukcję wyróżniamy poszerzacze skrawające konwencjonalne, poszerzacze rolkowe (hole

openery) i poszerzacze skrawające PDC (bez części ruchomych). Ich selekcji dokonuje się na podstawie przesłanek geologicznych. Cechą charakterystyczną dla etapu poszerzania jest możliwość łączenia (skręcania ze sobą) kilku narzędzi, z których jedno pełni funkcję narzędzi wierzących, inne natomiast mogą służyć do centrowania lub stabilizacji. Narzędzia mogą być skręcane ze sobą w sposób bezpośredni. Pod pewnymi warunkami mogą być też dystansowane elementami przewodu wiertniczego.



RYS. 1. | Poszerzacze stosowane przez wiertnice klasy mini i midi (źródło: Colli Equipment)



RYS. 2. | Poszerzacze stosowane przez wiertnice klasy mini i midi (źródło: Ditch Witch)

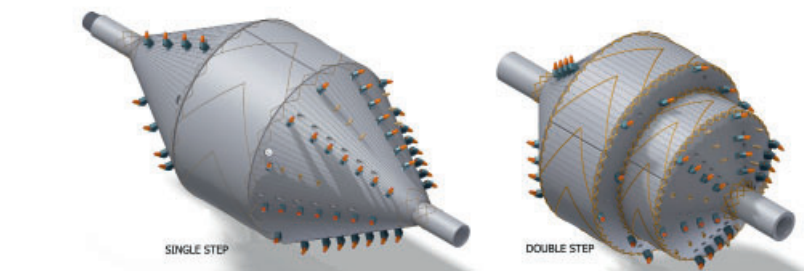
POSZERZACZE WYKORZYSTYWANE PRZEZ URZĄDZENIA KLASY MINI

Wyodrębniamy tę kategorię z dosyć oczywistej przyczyny. Konstrukcja narzędzi limitowanych do średnicy około 32" (811 mm) bazuje na lekkim obciążniku o średnicy nieprzekraczającej 4 3⁄4" (120 mm), dla którego największe możliwe połączenie API wynosi 3 1⁄2" IF lub 3 1⁄2" REG. Narzędzia te poza umiarkowaną masą cechują niespotykane w innych segmentach rynku kształty, geometrie i nomenklatura. Fluted reamer, Spiral reamer, Kodiak, Beavertail, Rock Monster – to tylko próbka egzotycznych nazw. Wśród użytkowników ceniona jest zwartość konstrukcji i zdolność do zagęszczania strefy przyotworowej. Ze względu na skromne możliwości hydrauliczne urządzeń wiertniczych dysze często są odchylone od linii wiercenia, przez co „atakują” ścianę boczną, a nie front otworu. W tej klasie wiertnic poszerzanie odbywa się zwykle za pomocą pojedynczego narzędzia, które powinna cechować potrójna akcja wiertnicza polegająca na skrawaniu (odspajaniu), mieszaniu urobku z płuczką i stabilizowaniu ściany otworu. Stosowana prędkość obrotowa w trakcie marszy poszerzających przekracza 50 obr./min. Narzędzia mogą zostać wyposażane w zintegrowane z nimi krętliki o nośności odpowiadającej maksymalnej sile ciągnącej dedykowanego urządzenia.

POSZERZACZE SKRAWAJĄCE TYPU ZAMKNIĘTEGO

Jest to grupa narzędzi przypominająca swym kształtem kombinację cylindrów (wałców) i stożków. Kąt rozwarcia stożka wynosi co najmniej 60°. Narzędzia, noszące oficjalną nazwę Barrel Reamers, wykonane są na solidnym obciążniku o średnicy od 4 3/4" do 9" (229 mm). Ich średnica waha się od około 16" (406 mm) do 72" (1829 mm). Połączenia gwintowe dostosowane są do średnicy obciążnika i klasy urządzenia wiertniczego. Co do zasady połączenie stosowane na narzędziu nie powinno być słabsze niż to, w jakie wyposażony jest przewód wiertniczy. Wybierane są zarówno gwinty typu narzędziowego (Regular), jak i te wykorzystywane w przewodzie wiertniczym (Internal Flush lub Full Hole). Poszerzacze baryłkowe wyposażone są w dysze skierowane wzdłuż linii wiercenia. Dzięki temu są odbierane jako stosunkowo mało agresywne i nieinwazyjne wobec ściany otworu. Znajdują zastosowanie jako narzędzia wierzące w formacjach niespoistych (piaski, pospółki, żwiry) oraz w łatwo urabialnych formacjach spoistych (gliny piaszczyste). Służą ponadto jako elementy centrująco-stabilizujące dla innych narzędzi poszerzających. Z racji opływowego kształtu narzędzia baryłkowe są niezastąpione jako kalibratory służące weryfikacji jakości otworu (jego drożności i stabilności). Wykazują też swoją skuteczność w marszach mających poprawić stopień oczyszczenia otworu ze zwiercin. Zachowanie narzędzia baryłkowego w otworze determinowane jest jego rozmiarem. Poszerzacze o średnicy z zakresu od 28" (711 mm) do 42" (1067 mm) wykazują neutralną pływalność w płucze o ciężarze właściwym 1,15 G/cm³. Narzędzia mniejsze (do 24" (610 mm)), jak i większe (powyżej 42") wykazują tendencję do negatywnej pływalności (siła wypadkowa skierowana w dół).

Ze względu na postać wyróżnia się poszerzacze baryłkowe symetryczne z pojedynczą powierzchnią cylindryczną (single step) i poszerzacze baryłkowe z dwoma cylindrami o różnych średnicach (double step). Poszerzacz baryłkowy typu single step może być pod pewnymi warunkami używany jako



RYS. 3. Poszerzacze zamknięte typu baryłkowego stosowane przez urządzenia klasy midi, maxi i mega (źródło: Colli Equipment)



RYS. 4. Poszerzacze zamknięte typu baryłkowego silnie zbrojone i zabezpieczone przed wycieraniem stosowane przez urządzenia klasy midi, maxi i mega (źródło: Colli Equipment)

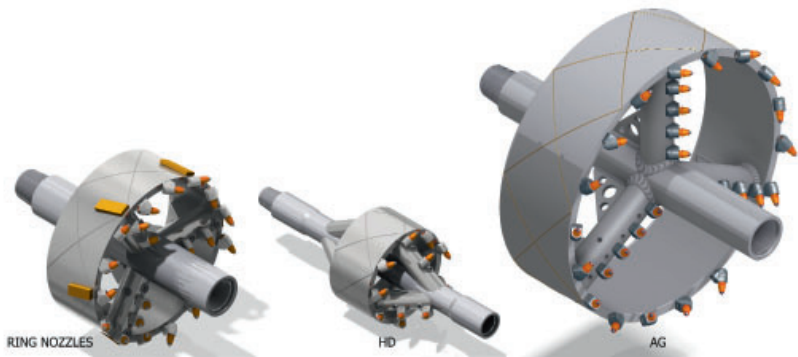
Na etapie poszerzania otworu możemy wyodrębnić dwa możliwe typy operacji: poszerzanie konwencjonalne w trybie PULL lub alternatywną metodę w trybie PUSH

narzędzie dwukierunkowe (bi-directional) i służyć zarówno do operacji wykonywanych w trybie PULL, jak i PUSH. Narzędzie dwukierunkowego działania musi być symetrycznie (przód i tył narzędzia) uzbrojone zarówno w dysze, jak i skierowaną we właściwym kierunku strukturę tnącą. Gniazda dysz powinny umożliwiać zmianę średnicy dyszy oraz jej zaślepienie. Stopień uzbrojenia powierzchni stożkowej i cylindrycznej uzależniony jest od funkcji, jakie ma spełniać narzędzie w otworze. Baryłki przeznaczone do poszerzania otworu powinny być mocniej uzbrojone i zabezpieczone przed wycieraniem niż narzędzia służące kalibracji czy instalacji przewodów rurowych. Należy oczekiwać wyso-

kiej jakości otworu wywierconego tego typu narzędziem. Wynika to z faktu doskonałego profilowania ściany tunelu i zagęszczania strefy przyotworowej. Narzędzia tego typu nie posiadają wbudowanych krętlików. Najczęściej stosowaną kombinacją połączeń gwintowych jest mufa x mufa. Podlegają także regeneracji i odbudowie struktur tnących.

POSZERZACZE SKRAWAJĄCE TYPU OTWARTEGO

Jest to grupa narzędzi przypominająca swym kształtem obręcz (pierścień/ring) osadzoną na trzech lub czterech ramionach wykonanych z profili rurowych. Narzędzia noszące nazwę Fly Cutters wykonane są na obciążniku o średnicy od 4 3/4" do 9". Ich średnica robocza waha się od około 20" (508 mm) do 72". Połączenia gwintowe dostosowane są do średnicy obciążnika i klasy urządzenia wiertniczego. Podobnie jak w przypadku narzędzi baryłkowych, dostępne są wszystkie typy połączeń gwintowych (REG, IF, FH). Poszerzacze typu FC (Fly Cutter) wyposażone są w dysze skierowane zarówno wzdłuż linii wiercenia (do przodu i do tyłu), jak i w dysze służące do czyszczenia wnętrza narzędzia, zapewniające jego drożność. Dysze umieszczane są w ramionach poszerzacza oraz w samym zewnętr-



RYS. 5. | Poszerzacze otwarte typu Fly Cutter stosowane przez urządzenia klasy midi, maxi i mega (źródło: Colli Equipment)

nym pierścieniu (*Ring Nozzle*). Poszerzacze typu otwartego znajdują zastosowanie jako narzędzia wierzące w formacjach niespoistych (piaski, pospółki, żwiry) i kohezyjnych (gliny pyły, iły). Ze względu na postać wyróżnia się poszerzacze typu Fly Cutter z ramionami wychodzącymi poza obrys pierścienia skrawającego (samocentrujące), jak i poszerzacze z ramionami pozostającymi wewnątrz pierścienia (wymagające centrowania). Niektóre typy poszerzaczy dostępne są w wersji dwukierunkowego działania (*bi-directional*) i mogą służyć zarówno do operacji wykonywanych w trybie PULL, jak i PUSH. Poszerzacze typu FC są znacząco krótsze i lżejsze niż poszerzacze typu baryłkowego. Skutkiem tego jest niższy generowany moment obrotowy w trakcie pracy na spodzie otworu i potencjalnie wyższy postęp wiercenia niż w przypadku narzędzi o kształcie baryłkowym. Warunkiem koniecznym dla utrzymania czoła narzędzia w czystości, a jego wnętrza otwartego jest stosowanie wysokich wydatków tłoczonych do dysz narzędzia płuczki. Narzędzia tego typu podlegają regeneracji i odbudowie struktur tnących.

POSZERZACZE ROLKOWE TYPU HOLE OPENER

Jest to najbardziej rozbudowana i zarazem uniwersalna grupa narzędzi wykorzystywanych w branży HDD. Szeroki zakres stosowania obejmuje formacje spoiste (gliny pylaste, pyły ilaste, iły), rumoszkowe i żwirowe oraz lite formacje skalne. Rozpoznanie geologiczne ma przy tym kluczowe znaczenie dla optymalnego wyboru typu hole openera.

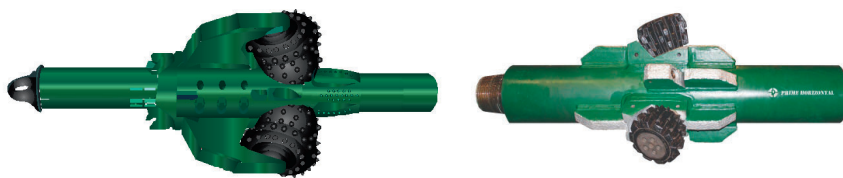
Hole openery to narzędzia składające się z korpusu (*Body*) i ułożyskowanych rolek montowanych do korpusu za pomocą śrub, ramion dociskowych lub spawanych łap. W przypadku pewnych typów hole openarów (*Lo Torque, Rock Reamer*) jeden korpus narzędzia może służyć do wykonania otworu w szerokim zakresie średnic. Stosując rolki i ramiona o różnych rozmiarach, uzyskujemy od czterech do sześciu możliwych kombinacji. Rolki i ramiona są wymienne pomiędzy korpusami, co dodatkowo wzmacnia ich opłacalność stosowania. Standardowy odstęp pomiędzy możliwymi średnicami narzędzi wynosi 2" (51 mm). W tab. 2 zaprezentowano typoszereg dostępnych korpusów i rolek dla narzędzi typu *Rock Reamer*. Jak wynika z zestawienia w tabeli, komplet rolek F pozwala wykonać otwór o 10" (254 mm) większy niż komplet rolek A przy zastosowaniu tego samego korpusu. Poza wyborem korpusu i rozmiaru rolki możemy dokonywać wyboru w obszarze typu zbrojenia rolki. Dostępnych jest kilka rodzajów struktur urabia-

jących: Milled Tooth (stalowe frezowe – kod IADC 1xx), TCI Chisel (kod IADC 4xx), TCI typ 5 (kod IADC 5xx), TCI typ 7 (kod IADC 7xx), TCI typ 8 (kod IADC 8xx). Zakres stosowania rolek frezowych (MT) obejmuje formacje spoiste typu iłowego oraz lite skały w zakresie wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe do 20 MPa. Rolki uzbrojone w słupki z węglików wolframu stosowane są z powodzeniem w formacjach o wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe od 20 do 250 MPa. Geometria słupków i ich rozmieszczenie na gryzie jest analogiczne, jak w przypadku świdrów trójgryzowych TCI.

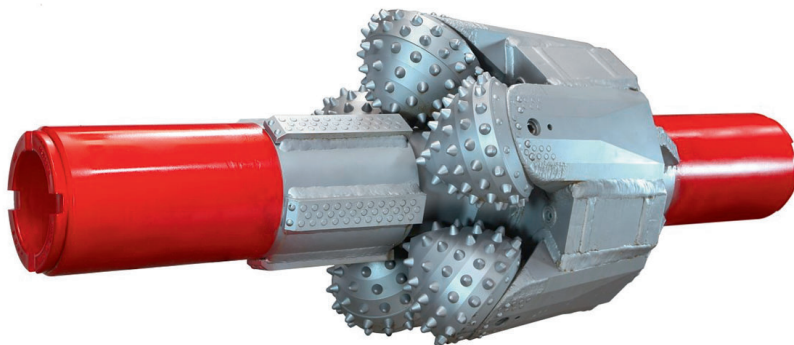
Wiertnictwo HDD opracowało całą gamę narzędzi służących do poszerzania otworów pilotowych. Ze względu na konstrukcję wyróżniamy poszerzacze skrawające konwencjonalne, rolkowe i skrawające PDC. Ich selekcji dokonuje się na podstawie przesłanek geologicznych

Korpus			Rolki – średnica wierconego otworu					
Typ	Minimalna średnica pilota	Ilość możliwych rolek	A	B	C	D	E	F
RR8	8 ½"	3	16"	18"	20"	22"	24"	26"
RR10	12"	3	18"	20"	22"	24"	26"	28"
RR17	17 ½"	3/4	24"	26"	28"	30"	32"	34"
RR26	26"	3/5	32"	34"	36"	38"	40"	42"
RR36	36"	3/4/5	42"	44"	46"	48"	50"	52"
RR42	42"	4/5/7	48"	50"	52"	54"	56"	58"
RR48	48"	4/5/7	54"	56"	58"	60"	62"	64"

TAB. 2. | Dostępne konfiguracje narzędzi typu Rock Reamer z wymiennymi rolkami



RYS. 6. | Poszerzacze rolkowe typu Rock Reamer i Lo Torque (źródło: Prime Horizontal)



RYS. 7. | Poszerzacz rolkowy z ramionami spawanymi do korpusu (źródło: Inrock)

Wspomniane powyżej hole openery typu *Lo Torque* czy *Rock Reamer* można montować i przezbierać w warunkach polowych (połączenia skręcane). Odrębną grupą narzędzi rolkowych są hole openery, w których łapy uzbrojone w rolki są spawane do korpusu. Mamy w ramach tej grupy do wyboru narzędzia wykonane z segmentów świrdrów (*Split Bit Hole Opener*) lub najbardziej wytrzymałe i predestynowane do pracy w trudnych warunkach geologicznych poszerzacze *Block Leg Hole Opener*. W ramach tej grupy można wybrać uzbrojenie w strukturę frezową lub TCI. *Split Bit Hole Opener* jest narzędziem tańszym, ale nie podlega regeneracji. Czas jego życia jest związany najczęściej z wytrzymałością łożysk wyrażaną ilością obrotów pod nominalnym obciążeniem. Ilość wykorzystanych segmentów rośnie wraz ze średnicą narzędzia i jest ich od 3 do 9. Najbardziej zaawansowanym typem hole openerów są narzędzia *Block Leg Reamer*, w których integralny korpus wykonany jest z jednego kawałka materiału z wbudowaną, silnie uzbrojoną centralizacją przednią. Spawane do korpusu segmenty mogą być wyposażone zarówno w rolki MT, jak i szeroką gamę rolek TCI. Rozmiar rolek jest na ogół większy niż w innych grupach narzędzi. Bardzo wytrzymałe łożyska oraz uzbrojenie

wszystkich pracujących na spodzie elementów zwiększają niezawodność narzędzia, eliminując konieczność marszowania w otworze dla jego regeneracji. Większość hole openerów rolkowych umożliwia poszerzanie otworu w ściśle określonym zakresie, skutkującym koniecznością etapowego działania. Jednym z wyjątków od tej reguły jest narzędzie typu *Full Face Hole Opener*, umożliwiające osiągnięcie znacznej średnicy w jednym etapie (pojedynczym marszu).

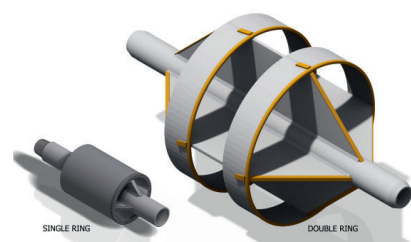
Parametry pracy narzędzia rolkowego są ściśle określone przez jego producenta. Zarówno nacisk na rolki, zakres prędkości obrotowej, jak i strumień płuczki muszą zostać zapewnione. Niespełnienie wymagań technologicznych może doprowadzić do szybszego zużycia narzędzia i niezyskania spodziewanego postępu liniowego. Część narzędzi rolkowych można poddać regeneracji polegającej na nacięciu nowego połączenia gwintowego, wzmocnieniu korpusu, wymianie rolek czy ramion.

NARZĘDZIA SŁUŻĄCE DO CENTROWANIA I STABILIZACJI ZESTAWÓW WIERCĄCYCH

Narzędzia poszerzające (za wyjątkiem poszerzaczy baryłkowych) powinny posiadać

Kalibracja otworu jest najczęściej interpretowana jako marsz techniczny, w trakcie którego nie dochodzi teoretycznie do urabiania formacji. Tego typu marsze służące kontroli jakości otworu przeprowadza się przed instalacją rurociągów o średnicy powyżej 20" lub pomiędzy kolejnymi poszerzeniami

przednią, a w trakcie drugiego (i ewentualnie trzeciego) poszerzania także tylną stabilizację. Centralizatory przednie umożliwiają prawidłowe pozycjonowanie w osi otworu narzędzi wiercących. Są one nieznacznie podwymiarowe w stosunku do dotychczasowej średnicy otworu. Najczęściej wykorzystywane narzędzia do przedniej stabilizacji to świrdry stabilizatory spiralne (*Spiral Stabilizer*), świrdry trójgryzowe dla stabilizacji hole openerów pracujących w trybie PUSH (przekroczenie linii brzegowej), stabilizatory w postaci obręczy (*Ring Stabilizer*), dwukierunkowe stabilizatory rolkowe (*Bi-directional Roller Stabilizer*) lub konwencjonalne stabilizatory baryłkowe (*Barrel Stabilizer*). Stabilizacja tylna opiera się głównie na konstrukcjach typu ring i barrel. Ma na celu usztywnienie zestawu wiercącego dla unik-



RYS. 8. | Stabilizatory obręczowe z pojedynczym i podwójnym pierścieniem (Ring Stabilizers) (źródło: Colli Equipment)

nięcia odchodzenia od pierwotnej osi otworu (deformowania trajektorii). Gwarantować ma także możliwość wycofania zestawu z otworu w przypadku utraty postępu wiercenia czy też zmiany warunków geologicznych. Centralizatory i stabilizatory zwiększają w nieunikniony sposób długość i masę skręconego zestawu wierzącego. Konfigurując BHA, należy unikać zbyt skomplikowanych wariantów grożących klinowaniem się narzędzi i utratą ruchomości przewodu wierniczego. Dopuszczalna ilość punktów podparcia na ścianie otworu i odległość pomiędzy nimi wynika z praktyki wierniczej (wdrożonych skutecznie koncepcji).

NARZĘDZIA STOSOWANE DO KALIBRACJI OTWORÓW

Kalibracja otworu (*Calibration Run*) jest najczęściej interpretowana jako marsz techniczny, w trakcie którego nie dochodzi teoretycznie do urabiania formacji. Tego typu marsze służące kontroli jakości otworu przeprowadza się przed instalacją rurociągów o średnicy powyżej 20" (508 mm) lub pomiędzy kolejnymi poszerzeniami. W niektórych źródłach mówi się o marszu czyszczącym otwór (*Cleaning Run*). Marsz kalibrujący (czyszczący) wykonywany jest zwykle z użyciem zestawu narzędzi podwymiarych lub nominalnych wobec dotychczasowej średnicy otworu. Ich ilość, średnica i dystans pomiędzy narzędziami są uzależnione od parametrów trajektorii otworu i typu formacji geologicznej. Najbardziej rozpowszechnione jest stosowanie kalibratorów typu baryłkowego. Jako opcjonalne rozwiązanie należy wskazać na użycie narzędzi (*Basket Reamer*) usuwających kamienie lub odłamki skalne (o roz-

miarze nie kwalifikującym ich do transportu hydraulicznego).

NARZĘDZIA STOSOWANE W TRAKCIE INSTALACJI RUROCIĄGÓW

W końcowej fazie robót HDD niezbędne jest zainstalowanie w przygotowanym otworze rurociągu grupy rurociągów lub wiązki kabli. Dolny zestaw przewodu w takim przypadku składa się z narzędzia prowadzącego rurociąg (połączonego z przewodem wierniczym konwencjonalnym lub grubościennym) oraz złącza obrotowego zwanego krętlikiem (*Swivel*). Krętlik zapobiega przenoszeniu rotacji z przewodu wierniczego na instalowane rurociągi. Wymiary liniowe narzędzia (długość, średnica calizny, średnica sworznia) oraz nośność krętlika powinny być dostosowane do geometrii otworu oraz spodziewanych sił instalacyjnych. W urządzeniach klasy mini krętliki są często zabudowane w tylnej części poszerzacza prowadzącego rurociąg. W przypadku większych wiernic krętlik jest już elementem zewnętrznym, łączonym z narzędziem za pomocą gwintu (*Box*) lub sworznia (*Clevis/Pin*). Dodatkowo w razie konieczności stosuje się stalowe klamry (szakle). Po stronie rurociągu stosuje się najczęściej połączenie sworzeń-uchwyt ciągnący rurociąg. Geometrie łączące muszą być wzajemnie dopasowane.

W przypadku instalacji rurociągów stalowych o średnicach od 28" wzwyż rekomenduje się stosowanie wieloczęściowych krętlików wyposażonych w dodatkowe ruchome elementy umożliwiające kompensowanie zmian kątowych i ułatwiające operowanie rurociągiem podążającym nieco innym torem niż przewód wierniczy. Wielo-segmen-

towe krętliki zmniejszają potencjalne naprężenia zginające, które mogą pojawić się w przewodzie wierniczym prowadzącym rurociąg i obniżają ryzyko przerwania ciągłości jego calizny. W trakcie wielkogabarytowych instalacji nośność krętlika nie powinna być mniejsza niż maksymalna nominalna siła ciągnięcia dostępna na urządzeniu wierniczym.

Wybór i konfiguracja narzędzi do poszerzania otworu jest ściśle związana z typem przewiercanej formacji oraz dostępnymi parametrami wiernicy i układu płuczkowego

NARZĘDZIA SPECJALNE (INSTRUMENTACYJNE)

Stany potencjalnego zagrożenia, komplikacji i awarii wierniczych wymagają użycia niestandardowych narzędzi. Przykładem narzędzia służącego instrumentacji pozostawionego w otworze przewodu wierniczego jest *Over-Shot* (korona ratunkowa odpinalna). Jest ono przeznaczone do łączenia się z urwanym elementem przewodu wierniczego (rury płuczkowej) i jego wyciągnięcia na powierzchnię. Narzędzie umożliwia wykonanie szeregu cykli zapinania i odpinania na caliznie przewodu. *Over-shot* daje też możliwość cyrkulowania, wywierania i przenoszenia dużych sił rozciągających (napina-



RYS. 9. | Rodzaje stosowanych połączeń w krętlikach zewnętrznych (źródło: Colli Equipment)



RYS. 10. | Wielo-segmentowy krętlik stosowany przez wiernice klasy maxi i mega (źródło: Colli Equipment)

jących), jak również przenoszenia momentu obrotowego i wibracji pochodzących od przewodu. Inną grupę narzędzi wykorzystywanych do instrumentacji w otworze są stalowe haki, które służą do zapinania na spęczeniu u nasady zwornika.

Przykładem narzędzia służącego do usuwania dużych obiektów kamienistych jest tzw. łapacz kamieni (*Stone Catcher*, *Basket Reamer*). Zawiera on cylindryczną lub stożkową sekcję, do której nagarniane są kamienie lub pozostawione w otworze fragmenty narzędzi (rolki hole openerów). Marsz z narzędziem jest zabiegiem przygotowującym otwór wiertniczy do instalacji rurociągu. Jego celem jest usunięcie obiektów o średnicy powyżej 20% średnicy nominalnej otworu. Rozmiar kosza służącego do wychwytywania obiektów kamienistych powinien być mniejszy niż aktualna wewnętrzna średnica otworu. Płuczka ma możliwość swobodnego przepływania przez wnętrze narzędzia.

Za narzędzie instrumentacyjne można uznać przewód wiertniczy pracujący w trybie *Wash-Over*, służący do obwiercania i uwolnienia przychwyconego przewodu o mniejszej średnicy, którego nie można obrócić ani też wyciągnąć. Tego typu technika znajduje zastosowanie w uwalnianiu przewodu wiertniczego o średnicy do 3 1/2" (89 mm). Dla większych średnic zatrzymanych mechanicznie przewodów stosuje się narzędzia typu okularowego. Przewód uwalniany jest przez stalowy pierścień (obręcz) nasuwany na zakleszczony przewód przez przewód prowadzony równolegle w poszerzonym otworze. Operacja obwiercania prowadzona jest przy użyciu płuczki wiertniczej.

PODSUMOWANIE

Poszerzanie otworu, jego kalibracja oraz zabudowa w nim rurociągów to kolejne etapy następujące bezpośrednio po zakoń-

czeniu wiercenia pilotowego. Narzędzia służące do poszerzania zastępują przy tym narzędzia pilotowe. Wybór i konfiguracja narzędzi jest ściśle związana z typem wiercanej formacji oraz dostępnymi parametrami wiertnicy i układu płuczkowego. Technika poszerzania (siła ciągnięcia, obroty przewodu wiertniczego, strumień tłoczzonej płuczki oraz prędkość wypływu z dysz) jest funkcją geometrii otworu i warunków geologicznych. |

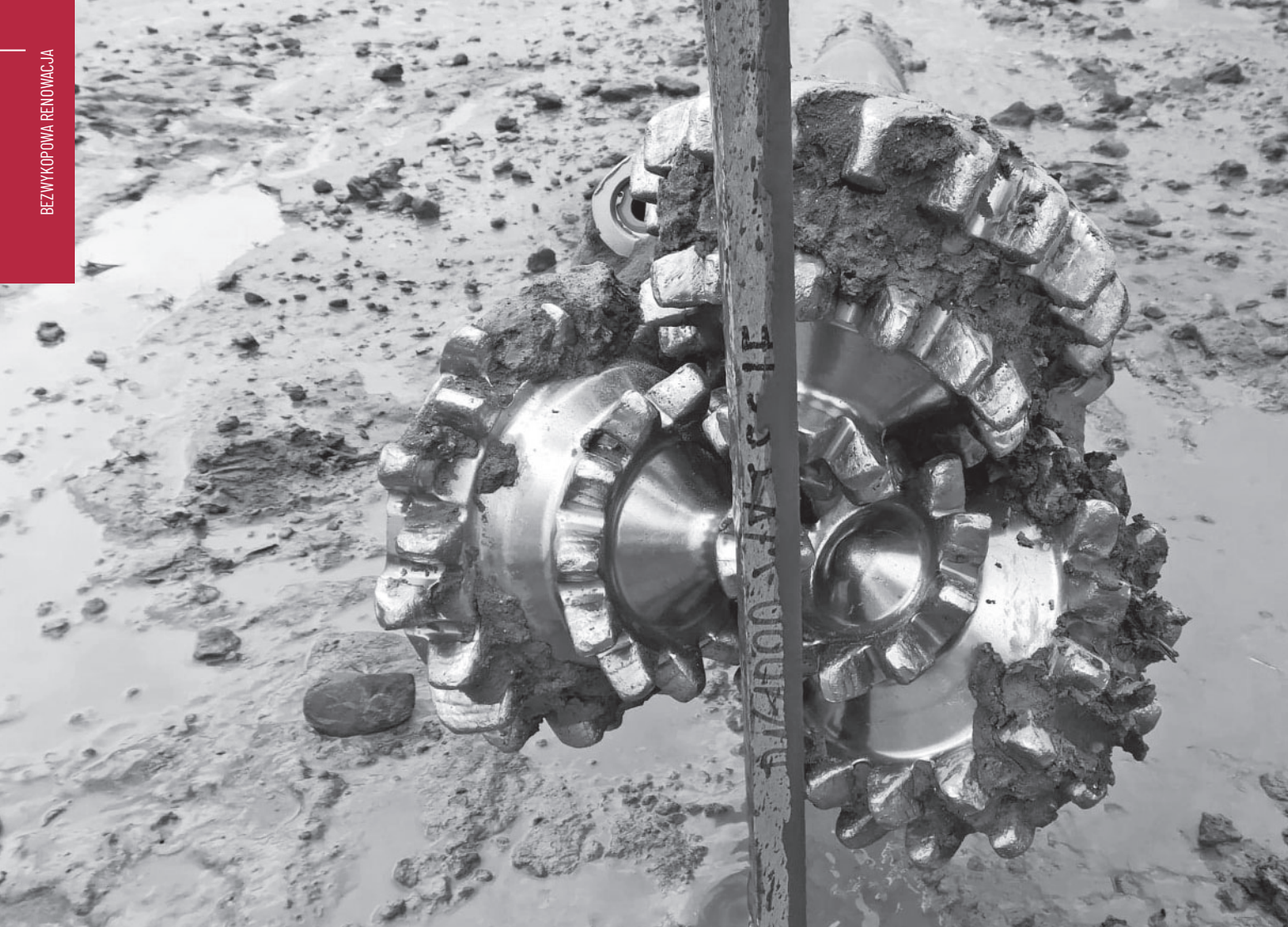
W najbliższych numerach kwartalnika „Inżynieria Bezwykopowa” zostaną opublikowane kolejne części artykułu poświęcone następującym zagadnieniom:

Część 7: Programy technologiczne i technika wiercenia

Część 8: Dokumentacja i raporty. Wymagania kompetencyjne

Część 9: Zarządzanie projektem. Harmonogram i budżet

Część 10: Słownik terminów i skrótów wiertniczych



BEZWYKOPOWA BUDOWA

PLANOWANIE I REALIZACJA PROJEKTÓW HDD

CZĘŚĆ VII: PROGRAMY TECHNOLOGICZNE I TECHNIKA WIERCENIA

Technologiczny program wiertniczy jest definiowany jako zbiór danych, prognoz i rekomendacji służących do bezpiecznej i ekonomicznej realizacji projektów HDD w kontekście zastanych warunków geologicznych oraz wymagań klienta. W obszarze analizy znajdują się: konfiguracja dolnego zestawu przewodu wiertniczego (opisana w V i VI części naszego cyklu), konstrukcja i zarurowanie otworu, parametry procesu wiertniczego, obciążenia rejestrowane na przewodzie wiertniczym, postęp wiercenia, hydraulika otworowa, kompozycja i parametry płynu wiertniczego, kontrola ciśnienia dennego, bilans objętości, bilans masy oraz rejestrowane siły instalacyjne



ROBERT OSIKOWICZ
ROE

(ur. 1966), absolwent Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Zajmuje się technologią wiercenia otworów kierunkowych i praktycznymi aplikacjami płynów wiertniczych w otworach różnego przeznaczenia. Jest autorem ponad 20 referatów wygłoszonych na międzynarodowych konferencjach technicznych, a także szeregu publikacji dotyczących konfiguracji sprzętu, optymalizacji techniki wiercenia, analiz rynku technologii bezwykopowych, zarządzania jakością i ryzykiem w działaniach wiertniczych, tworzenia harmonogramów i budżetów projektów. Od 2009 r. pracuje dla firmy Robert Osikowicz Engineering. Firma jest członkiem międzynarodowej branżowej organizacji wiertniczej Drilling Contractors Association (DCA-Europe).

PROCES WIERTNICZY

Proces wiertniczy to całościowe spojrzenie na geologię, geometrię otworu, dostępne parametry urządzenia wiertniczego, pompy płuczkowej, geometrię narzędzia i przewodu wiertniczego, rodzaj techniki wiertniczej oraz zakres rekomendowanych parametrów pracy narzędzia. Większość przytoczonych tutaj cech ma charakter stały (niezmienny) dla danego projektu. Warunki geologiczne napotkane na trasie przekroczenia powinny podlegać wnikliwej analizie i ocenie pod kątem aplikacji wiertniczej. Niemniej jednak, po zaakceptowaniu profilu wiercenia, należy traktować je jako cechę, którą nie można manipulować. Podobnie – mobilizacja konkretnego urządzenia wiertniczego, pompy płuczkowej, systemu kondycjonowania i separacji faz determinuje nasze możliwości techniczne w tym zakresie. Także geometria przewodu wiertniczego ma charakter stały i niemodyfikowalny. Zmianie i optymalizacji podlegają natomiast: konfiguracja stosowanych narzędzi (co do rodzaju i średnicy), nacisk i obroty narzędzia, strumień przepływu (wydatek pompy), energia hydrauliczna, parametry fizyczne i chemiczne płynu wiertniczego. Skuteczność i efektywność przebiegu procesu wiertniczego podlegają ocenie. Użytecznymi wskaźnikami procesu będzie postęp wiercenia, obciążenia notowane na przewodzie (*Torque and Drag*), prędkość płuczki w przestrzeni pierścieniowej otworu, bilans masy oraz bilans objętości.

WERYFIKACJA PROFILU WIERCENIA

Najważniejszym elementem planowania projektu HDD jest ustalenie profilu otworu pomiędzy punktem wejścia i wyjścia. Spółka wiertnicza powinna mieć pewność, że teoretyczny profil wyznaczony przez projektanta może być zrealizowany w praktyce. Weryfikacji podlegać powinny długości poszczególnych sekcji, głębokość otworu, przykrycie w newralgicznych punktach przekroczenia, promienie krzywizn, suma zmian kątowych w zakresie inklinacji i azymutu, uśredniona wartość zmian kątowych na każde 30 m (100 ft) wiercenia.

Poniżej zestawiono uproszczone formuły kalkulacyjne dla typowego przekroczenia zaprojektowanego w przestrzeni dwuwymiarowej. Z przedstawionych zależności przy zadanych kątach wejścia α i wyjścia β oraz promieniach łuku wejściowego R_1 i wyjściowego R_2 można ustalić długość poszczególnych sekcji otworu oraz głębokości w stosunku do punktu wejścia i wyjścia. Zachodzą przy tym następujące zależności:

$L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 = L$ (długość otworu w planie)

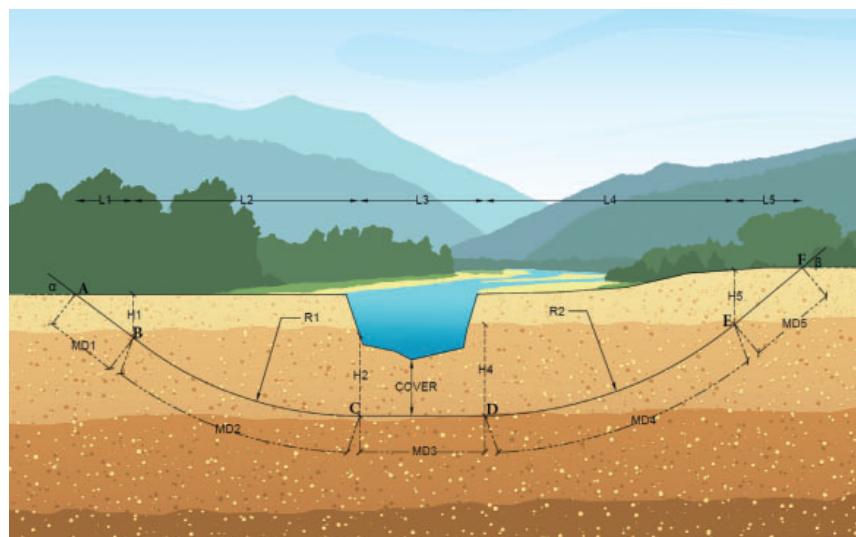
$MD_1 + MD_2 + MD_3 + MD_4 + MD_5 = MD$ (długość rzeczywista otworu))

$MD > L$

Sekcja prosta wejściowa o stałej inklinacji AB:

$$H_1 = \sin \alpha \cdot MD_1$$

$$L_1 = \cos \alpha \cdot MD_1$$



Parametr	Jednostka	Mierzony	Kalkulowany	Urządzenie, osprzęt, metoda kalkulacji	Rekomendacje dla projektów o wskaźniku trudności HDI			
					< 5000	5000 – 10 000	10 000 – 20 000	> 20 000
Długość otworu MD	m	X		przewód wiertniczy	**	**	**	**
Długość w planie AWAY	m		x	system nawigacji	**	**	**	**
Inklinacja	stopnie	X		system nawigacji	**	**	**	**
Azymut	stopnie	x		system nawigacji	*	*	**	**
Głębokość TVD	m	x	x	system nawigacji	**	**	**	**
Średnica narzędzia	mm, in	x		przymiar, szablon	**	**	**	**
Średnica zewnętrzna przewodu	mm, in	x		przymiar, szablon	*	**	**	**
Czas wiercenia kawałka	minuty	x		stoper	*	**	**	**
Czas pracy narzędzia na spodzie otworu	godziny	x	x	stoper		*	**	**
Postęp wiercenia chwilowy ROP	m/min m/godz.		x	długość kawałka: czas wiercenia	*	**	**	**
Postęp wiercenia średni dla marszu	m/min m/godz.		x	md : czas pracy na spodzie		*	**	**
Siła pchania/ciągnięcia	kN	x		wiertnica	**	**	**	**
Nacisk na świder/poszerzacz	kN	x	x	wiertnica	*	*	**	**
Moment obrotowy	kNm	x		wiertnica	**	**	**	**
Ciężar przewodu w powietrzu	kN		x	przewód wiertniczy		*	**	**
Obroty przewodu wiertniczego	obr./min	x		wiertnica	**	**	**	**
Obroty świda przy pracy z motorem	obr./min	x	x	wiertnica, pompa płuczkowa	*	**	**	**
Wydatek płuczki zatłaczanej do otworu	l/min	x		pompa płuczkowa	**	**	**	**
Pojemność jednostkowa przewodu	l/m		x	geometria przewodu wg producenta		*	**	**
Prędkość przepływu płuczki w przestrzeni pierścieniowej	m/min		x	pompa płuczkowa, geometria PP	*	**	**	**
Czas wypływu z dna otworu	min		x	pompa płuczkowa, geometria PP		*	**	**
Całkowity czas obiegu płuczki	min		x	pompa płuczkowa, pojem- ność układu płuczkowego		*	**	**
Ciśnienie tłoczenia	bar	x		pompa płuczkowa	**	**	**	**
Prędkość wypływu płuczki z dysz narzędzia	m/s		x	pompa płuczkowa, geometria dysz		*	**	**
Spadek ciśnienia w dyszach narzędzia	bar		x	pompa płuczkowa, geometria dysz		*	**	**
Energia hydrauliczna na cal kwadratowy wierzonego otworu	kW/in ²			pompa płuczkowa, geometria dysz			*	**
Ciśnienie różnicowe w trakcie pracy z motorem	bar	x		pompa płuczkowa	**	**	**	**
Ciśnienie denne mierzone w trakcie fazy wiercenia pilotowego	bar	x		system nawigacji		*	*	**
Kierunek przepływu płuczki w otworze	-		obserwacja wizualna		*	**	**	**
Bilans objętości	m ³	x	x	przepływomierz		*	*	**
Bilans masy	m ³ , t	x	x	waga płuczkowa, przepływo- mierz, system separacji faz	*	*	**	**
Konsumpcja wody	m ³	x	x	przepływomierz	**	**	**	**
Konsumpcja materiałów płuczkowych	t	x	x	raport płuczkowy	**	**	**	**
Wydajność wiercenia – objętość zwiercanego urobku w jednostce czasu	l/min		x	geometria narzędzia, ROP			*	**

TAB. 1. | Zestawienie typowych parametrów techniczno-technologicznych monitorowanych w trakcie procesu HDD. Ustalanie parametrów zależności od klasy projektu uznaje się za rekomendowane (*) lub jako obligatoryjne (**)

$$MD_1 = L_1 / \cos \alpha$$

$$H_1 = L_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$MD_1 = H_1 / \sin \alpha$$

$$L_1 = H_1 \cdot \operatorname{ctg} \alpha$$

Sekcja łuku wejściowego o stałym promieniu BC:

$$L_2 = R_1 \cdot \sin \alpha$$

$$H_2 = R_1 \cdot (1 - \cos \alpha)$$

$$MD_2 = 2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot \alpha / 360^\circ$$

Sekcja horyzontalna CD:

$$MD_3 = L_3$$

$$H_3 = 0$$

Sekcja łuku wyjściowego o stałym promieniu DE:

$$L_4 = R_2 \cdot \sin \beta$$

$$H_4 = R_2 \cdot (1 - \cos \beta)$$

$$MD_4 = 2 \cdot \pi \cdot R_2 \cdot \beta / 360^\circ$$

Sekcja prosta wyjściowa o stałej inklinacji EF:

$$H_5 = \sin \beta \cdot MD_5$$

$$L_5 = \cos \beta \cdot MD_5$$

$$MD_1 = L_5 / \cos \beta$$

$$H_5 = L_5 \cdot \operatorname{tg} \beta$$

$$MD_5 = H_5 / \sin \beta$$

$$L_5 = H_5 \cdot \operatorname{ctg} \beta$$

KOMPOZYCJA PŁYNU WIERTNICZEGO I PROGRAM PŁUCZKOWY

Spółka wiertnicza lub specjalistyczny serwis opracowuje plan działania adekwatny do spodziewanych warunków geologicznych, potencjału sprzętowego oraz przyjętej technologii wiercenia. Rekomendowane jest dokładne zapoznanie się z ekspertyzami przygotowanymi przez firmę geologiczną. Należy kontrolować jakość i konsumpcję wody, koncentrację materiałów strukturotwórczych (bentonitu, biopolimeru), koncentrację inhibitorów i innych komponentów. Prawidłowo dobrany płyn wiertniczy powinien spełniać większość z poniższych kryteriów:

- osiąga założone parametry, pozostając w zgodności z wymaganiami technicznymi i środowiskowymi;
- jest łatwy do przygotowania i prowadzenia;

- koszt produkcji i kondycjonowania miesi się w założonym budżecie;
- zachowuje stałość parametrów w czasie;
- jest odporny na zidentyfikowane w projekcie skażenia;
- jest odporny na długotrwałe ścinanie;
- jest kompatybilny z mechanicznymi systemami rozdziału faz.

Proces wiertniczy to całościowe spojrzenie na geologię, geometrię otworu, dostępne parametry urządzenia wiertniczego, pompy płuczkowej, geometrię narzędzia i przewodu wiertniczego, rodzaj techniki wiertniczej oraz zakres rekomendowanych parametrów pracy narzędzia

Dla każdego projektu (HDI > 5000) należy przygotować program będący zespołem ustandaryzowanych parametrów płuczkowych. Każdy parametr powinien być podawany w możliwie wąskim zakresie (przedziale) lub powinien być wskazany nieprzekraczalny poziom wartości (granica). Właściwie skonfigurowany program płuczkowy jest narzędziem, dzięki któremu płyn wiertniczy spełnia powierzone mu funkcje. Kryteria oceny jakościowej płynu wiertniczego powinny zostać wskazane w planie wykonalności lub w projekcie prac wiertniczych. Dzięki takiej strategii działania spółka wiertnicza minimalizuje ryzyko wystąpienia problemów technicznych. Jakość płynu można zobiektywizować, podając jego parametry mierzone standardowymi przyrządami według przyjętych przez przemysł wiertniczy procedur. Analizę jakościową płynu wiertniczego w kontekście opracowanego programu można przeprowadzić w trzech obszarach:

- analiza fazy stałej

- zakłada pomiar ciężaru właściwego płynu oraz separowanych zwiercin dla ustalenia bilansu objętości, bilansu masy i powiązanej z tym bezpośrednio jakości otworu;
- pomiar wykonywany jest w regularnych odstępach czasu;
- w programie znajdują się rekomendowane zakresy, w jakich powinien znajdować się ciężar właściwy na wejściu do otworu i wyjściu z otworu przy zadanym postępie wiercenia i wydatku pompy płuczkowej;

- analiza profilu lepkościowego

- jej celem jest potwierdzenie zakładanego poziomu zdolności suspensyjnych płynu, które odpowiadają za transport zwiercin, ich utrzymanie w stanie permanentnego zawieszenia oraz stateczność ściany otworu;
- profil lepkościowy płuczki mierzony jest w kilku (kilkunastu) charakterystycznych punktach;
- wykonywany jest odczyt stresu (naprężenia) wyrażonego w jednostkach Fann dla poszczególnych prędkości obrotowych (prędkości ścinania);
- lepkość jest ilorazem mierzonego stresu do zadanej prędkości ścinania;
- analizowane jest zachowanie płuczki dla czterech charakterystycznych zakresów prędkości ścinania: wysokich (powyżej 100 obr./min rotora przyrządu pomiarowego), średnich (10-100), niskich (1-10) oraz ultra niskich (poniżej 1);

- analiza zdolności inhibicyjnych wobec formacji ilastych

- wskazuje na potencjalne inhibitory: Clay Cutter, PHPA, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, KCl, CaCl_2 , środki powierzchniowo czynne, polimery celulozowe;
- ustala średnią koncentrację poszczególnych komponentów na 1 m³ płuczki i 1 m³ otworu;
- sprawdza metodami laboratoryjnymi nadmiar poszczególnych inhibitorów w filtracji;
- ustala cele techniczne i zaleca ich bieżącą kontrolę.

Parametr	Jednostka	Mierzony	Kalkulowany	Przyrząd	Rekomendacje dla projektów o wskaźniku trudności HDI			
					< 5000	5000- -10 000	10 000- -20 000	> 20 000
Ciężar właściwy płuczki wchodzącej do otworu	G/cm ³	x		waga płuczkowa	*	**	**	**
Ciężar właściwy płuczki wychodzącej	G/cm ³	x		waga płuczkowa	*	**	**	**
Ekwiwalentny ciężar właściwy płuczki ECD	G/cm ³		x	waga płuczkowa, lepkościomierz obrotowy			*	**
Zawartość fazy stałej	% obj.		x	waga płuczkowa		*	**	**
Zawartość piasku na wejściu	% obj.	x		zestaw laboratoryjny	*	**	**	**
Zawartość piasku na wyjściu	% obj.	x		zestaw laboratoryjny	*	**	**	**
Lepkość umowna	s	x		lejek Marsha	*			
Profil lepkościowy 6-zakresowy	°Fann	x		lepkościomierz obrotowy		*	**	**
Profil lepkościowy 6-zakresowy	°Fann	x		lepkościomierz obrotowy			*	**
Lepkość plastyczna PV	mPas		x	lepkościomierz obrotowy		*	**	**
Granica płynięcia YP	Pa		x	lepkościomierz obrotowy		*	**	**
Granica płynięcia przy niskich prędkościach ścinania LSYP	Pa		x	lepkościomierz obrotowy		*	**	**
Stosunek LSYP : YP	-		x	lepkościomierz obrotowy		*	**	**
Parametry n, K z modelu Yield Power Law			x	lepkościomierz obrotowy		*	*	**
Żel 10"/10'	°Fann	x		lepkościomierz obrotowy		*	**	**
Wytrzymałość strukturalna 10"/10'	Pa	x		sziometr	*	*		
Lepkość mierzona przy ultra niskich prędkościach ścinania LSRV	mPas	x		lepkościomierz obrotowy		*	*	**
Filtracja API	ml / 30' @ 100 psi	x		prasa filtracyjna		*	*	**
Zawartość chlorków w filtracie	mg/l	x		analiza chemiczna			*	*
Zawartość wapnia w filtracie	mg/l	x		analiza chemiczna			*	*
pH wody zarobowej	-	x		pH metr	*	*	**	**
pH filtratu	-	x		pH metr		*	*	**
pH płuczki	-	x		pH metr		*	*	**
Przewodność wody zarobowej	mS/cm	x		konduktometr	*	*	**	**
Przewodność filtratu	mS/cm	x		konduktometr		*	*	**

TAB. 2. | Zestawienie typowych parametrów płynu wiertniczego monitorowanych w trakcie procesu. Ustalanie parametrów płuczkowych w zależności od klasy projektu uznaje się za rekomendowane (*) lub jako obligatoryjne (**)

Parametry mierzone stają się podstawą do kalkulacji parametrów technologicznych, takich jak: typ przepływu, spadek ciśnienia w poszczególnych elementach obiegu płuczkowego, zdolność do transportu zwiercin o zadanej masie itp. Częstotliwość pomiarów i konieczność ich raportowania wzrasta wraz ze stopniem złożoności projektu. Zaleca się jak najdokładniejsze modelowanie reologiczne suspensji i pomiar

lepkości przy prędkościach ścinania odpowiadającym rzeczywistym zakresom występującym w wierconym otworze.

KONTROLA CIŚNIEŃ WGŁĘBNYCH I HYDRAULIKA OTWOROWA

Prowadząc prace wiertnicze, dokonujemy pomiaru całkowitego spadku ciśnienia w obiegu płuczkowym. Manometry umiesz-

czone na pompie płuczkowej i w kabinie wiertacza wskazują opory przepływu płuczki przez układ składający się z: przewodu wiertniczego, obudowy sondy pomiarowej (w fazie wiercenia pilotowego), silnika płuczkowego (opcjonalnie w fazie wiercenia pilotowego), dysz narzędzia oraz przestrzeni pierścieniowej otworu. Pompa płuczkowa ma za zadanie wywołać i utrzymać cyrkulację przy wymaganym przepływie wynikają-

cym z programu technologicznego wiercenia. Analizując dostępną moc hydrauliczną (wydatek x maksymalny spadek ciśnienia) pompy płuczkowej, możemy dokonać selekcji oprzyrządowania wgłębnego i geometrii dysz.

W fazie wiercenia pilotowego dostępne są dwie metodyki postępowania: wiercenie hydromonitorowe (ang. *Jetting Assembly* – dwie dysze otwarte w świdrze) lub mechaniczno-hydrauliczne (ang. *Motor Assembly* – co najmniej trzy dysze otwarte w świdrze). Poniżej podano formuły kalkulacyjne dla przepływu przez dysze o kształcie regularnym:

prędkość wypływu z dysz narzędzia:

$$v = \frac{Q}{38,71A};$$

spadek ciśnienia w dyszach narzędzia:

$$pd = \frac{dQ^2}{2959,41C^2A^2};$$

moc hydrauliczna generowana na spodzie otworu: $P_h = \frac{p_d Q}{60\,000}$,

gdzie:

V – prędkość wypływu z dysz (m/s);

Q – wydatek pompy (l/min);

d – gęstość płuczki (g/cm³);

C – współczynnik kształtu dysz = 0,95;

A (TFA) – całkowite pole przekroju dysz (in²);

P_d – spadek ciśnienia w dyszach narzędzia (kPa);

P_h – moc hydrauliczna w dyszach narzędzia (kW).

Hydraulika otworowa powinna zostać opracowana dla każdego z zaplanowanych etapów projektu, a spadki ciśnienia w dyszach i w odcinkach liniowych powinny być rozpoznane. Straty ciśnienia rejestrowane w obiegu płuczkowym w znacznym stopniu zależą od parametrów reologicznych płuczki. W przewodzie wiertniczym i rurociągach

Klasa	Dysze	TFA in ²	Wydatek pompy l/min													
			100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600
MINI	2 x 8/32"	0,098	26 4	39 9	52 16	79 37										
	2 x 10/32"	0,153		25 4	33 7	50 15	67 27									
MIDI	2 x 12/32"	0,221			23 3	35 7	46 13	58 20	70 29							
	2 x 14/32"	0,301				26 4	34 7	43 11	51 15	60 21	68 28					
MAXI	2 x 16/32"	0,393					25 4	32 6	39 9	46 12	52 16	59 21	66 26			
	2 x 18/32"	0,497						26 4	31 6	36 8	42 10	47 13	52 16	62 23		
MEGA	2 x 20/32"	0,614						21 3	25 4	29 5	33 7	38 9	42 10	51 15	59 20	67 29
	2 x 22/32"	0,742							21 3	24 4	28 5	31 6	35 7	42 10	49 14	56 18

TAB. 3. I Symulacja hydrauliki dla wiercenia pilotowego w konfiguracji *Jetting Assembly*. Zestawiono prędkości wypływu z dysz (m/s) i skorelowane spadki ciśnienia dla różnych kombinacji dysz i strumienia przepływu płuczki (l/min)

Klasa	Dysze	TFA in2	Wydatek pompy l/min														
			300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2400	2800
MINI	3 x 8/32"	0,147	52 16	70 29	87 45												
	3 x 10/32"	0,230	33 7	45 12	56 18	67 27	78 36										
MIDI	3 x 12/32"	0,331	23 3	31 6	39 9	47 13	55 17	62 23	70 29								
	3 x 14/32"	0,451		23 3	29 5	34 7	40 9	46 12	52 16	57 19	69 28						
MAXI	3 x 16/32"	0,589			22 3	26 4	30 5	35 7	39 9	44 11	53 16	61 22	70 29				
	3 x 18/32"	0,746					24 3	28 4	31 6	35 7	42 10	48 14	55 18	62 23	69 28		
MEGA	3 x 20/32"	0,920						22 3	25 4	28 5	34 7	39 9	45 12	50 15	56 19	67 27	
	3 x 22/32"	1,114							21 3	24 3	28 5	32 6	37 8	42 10	46 13	56 18	65 25

TAB. 4. I Symulacja hydrauliki dla wiercenia pilotowego w konfiguracji *Motor Assembly*. Zestawiono prędkości wypływu z dysz (m/s) i skorelowane spadki ciśnienia dla różnych kombinacji dysz i strumienia przepływu płuczki (l/min)

są one związane z wysokimi i średnimi prędkościami ścinania, a w przestrzeni pierścieniowej ze średnimi (pilot) oraz niskimi (poszerzanie) prędkościami ścinania.

Z programu płuczkowego i przewidywanych geometrii wiertniczych wynika spodziewane statyczne i dynamiczne ciśnienie denne, które w każdym wypadku musi pozostać niższe od ciśnienia uznanego za dopuszczalne. W zależności od stosowanego modelu reologicznego obliczamy specyficzne wartości charakteryzujące płyn, w tym: lepkość pozorną, lepkość plastyczną, granicę płynięcia wg modelu Binghama, rzeczywistą granicę płynięcia, parametry krzywej płynięcia n , K itp. Poniżej zamieszczono formuły kalkulacyjne wyprowadzone dla modelu reologicznego Yield Power Law (Unified).

Formuły ważne dla wnętrza przewodu wiertniczego:

spadek ciśnienia wewnątrz przewodu:

$$\Delta P = \frac{1.067 \tau_w L}{300 D};$$

naprężenie na ścianie rury:

$$\tau_w = \left(\frac{4}{3}\right)^n \tau_y + k \left(\frac{3n+1}{4n}\right)^n \left(\frac{96V}{D}\right)^n.$$

Formuły ważne dla przestrzeni pierścieniowej otworu:

spadek ciśnienia w przestrzeni pierścieniowej otworu:
$$\Delta P = \frac{1.067 \tau_w L}{300 (D_h - D_p)};$$

naprężenie na ścianie otworu:

$$\tau_w = \left(\frac{3}{2}\right)^n \tau_y + k \left(\frac{2n+1}{3n}\right)^n \left(\frac{144V}{D_h - D_p}\right)^n;$$

Formuły uzupełniające, niezbędne do przeprowadzenia powyższych kalkulacji:

rzeczywista granica płynięcia τ_y jest przybliżana jako: $\tau_y = \text{LSYP} = 2R_3 - R_6;$

wskaźniki reologiczne z modelu Unified:

$$n = 3.322 \log_{10} \left(\frac{2PV + YP - \tau_y}{PV + YP - \tau_y} \right);$$

$$k = \frac{PV + YP - \tau_y}{511^n};$$

lepkość plastyczna: $PV = R_{600} - R_{300};$

granica płynięcia: $2R_{300} - R_{600};$

Współczynnik korekcyjny na niecentryczne ułożenie przewodu w otworze kierunko-

wym ważny dla przepływu laminarnego:

$$R_{lam} = 1.0 - 0.072 \left(\frac{D_p}{D_h} \right)^{0.8454} - \frac{3}{2} e^2 \sqrt{n} \left(\frac{D_p}{D_h} \right)^{0.1852} + 0.96 e^3 \sqrt{n} \left(\frac{D_p}{D_h} \right)^{0.2527}$$

gdzie:

ΔP – spadek ciśnienia w przewodzie lub przestrzeni pierścieniowej otworu (psi);

τ_w – stress na ścianie otworu (lbs/100ft²);

L – długość sekcji otworu (ft);

D – średnica wewnętrzna przewodu (in);

D_p – średnica zewnętrzna przewodu (in);

D_h – średnica wewnętrzna otworu (in);

PV – lepkość plastyczna wg modelu Binghama (mPas);

YP – granica płynięcia wg modelu Binghama (lbs/100 ft²);

τ_y – rzeczywista granica płynięcia (lbs/100 ft²);

$R_3, R_6, R_{300}, R_{600}$ – wskazania lepkościomierza przy 3, 6, 300 i 600 obrotach przyrządu (lbs/100 ft²).

Najważniejszym elementem planowania projektu HDD jest ustalenie profilu otworu pomiędzy punktem wejścia i wyjścia. Spółka wiertnicza powinna mieć pewność, że teoretyczny profil wyznaczony przez projektanta może być zrealizowany w praktyce

TECHNIKA WIERCENIA PILOTOWEGO

Podczas tej fazy robót narzędzie wierzące jest prowadzone stosownie do wcześniej zdefiniowanego profilu. Maszyną roboczą jest wiertnica HDD ustawiona na powierzchni terenu. Urządzenie powinno być zakotwiczone, a ściana oporowa musi przenieść maksymalne spodziewane obciążenia wynikające z robót wiertniczych. Siła pchania i moment obrotowy generowany przez wiertnicę jest transmitowany przez przewód wiertniczy do narzędzia. Na początku wiercenia pierwsza

część dolnego zestawu narzędzi wgłębnych (BHA), składająca się z narzędzia (świdra), krzywego łącznika (motoru) i obudowy zawierającej sondę pomiarową, jest wwiercana przez maszynę wiertniczą do gruntu pod wcześniej zdefiniowanym kątem wejścia. Parametry wiercenia kierunkowego są mierzone za pomocą grupy sensorów odpowiedzialnych za inklinację (pochylenie) i azymut (kierunek). System nawigacji wykorzystuje pole magnetyczne i pole grawitacyjne ziemi. Pozycja w układzie XYZ jest ustalana na podstawie geometrycznych kalkulacji i może podlegać weryfikacji przez powierzchnię pętli pomiarową, wskazującą zarówno na głębokość położenia sondy, jak i odchylenie (lewo/prawo) od teoretycznej linii wiercenia. Sygnał z sondy pomiarowej jest przekazywany w czasie rzeczywistym drogą kablową do interfejsu. Dane są wyświetlane jednocześnie na monitorze wiertacza i inżyniera kierunkowego. W celu uzyskania odcinków prostoliniowych przewód wiertniczy jest obracany i wypychany. Aby uzyskać zmianę inklinacji lub/i kierunku wiercenia, przewód jest orientowany, a następnie wypychany. Sekcje krzywoliniowe wiercone są dzięki ekscentrycznemu kształtowi dolnej części przewodu (skośna głowica, krzywy łącznik itp.). Co do zasady, przewód obracany jest w prawo (ze względu na prawoskrętne połączenia gwintowe). Dopuszcza się lewą rotację przewodu w celu korekty wiercenia kierunkowego pod warunkiem jednak, że moment obrotowy nie przekracza 60% momentu skręcającego dla zastosowanych w przewodzie połączeń gwintowych. Kolejne odcinki przewodu są dokładane i skręcane na urządzeniu wiertniczym wraz z postępującym procesem wiercenia. Proces przebiega w ten sposób aż narzędzie wierzące osiągnie założony cel.

Płuczka wiertnicza jest pompowana przez wnętrze przewodu do narzędzia i wypływa z dużą prędkością z dysz. Urabiane zwierzyny są przesuwane z czoła narzędzia do przestrzeni pierścieniowej, a stamtąd transportowane hydraulicznie na powierzchnię. Przepływ i spadek ciśnienia w dyszach zależy od geometrii narzędzia i typu przewiercanej formacji. Wiercenie ma charakter hydrauliczno-mechaniczny. Odpajanie, kruszenie

formacji następuje w efekcie akcji narzędzia (nacisk i obroty) i energii hydraulicznej wynikającej z przyspieszania w dyszach strumienia płuczki. Czas wiercenia poszczególnych odcinków otworu będzie determinowany przez typ formacji oraz stopień dopasowania metody wiercenia do zastanych warunków.

Istnieje pewna grupa uniwersalnych rekomendacji ważnych niezależnie od klasy projektu, zestawu wierzącego czy zastosowanego urządzenia wiertniczego. Jednym z takich parametrów jest prędkość płuczki w przestrzeni pierścieniowej otworu. Rekomendowany przedział stosowany w technice HDD dla wiercenia pilotowego zawiera się pomiędzy 10 i 30 m/min. Innym istotnym parametrem technologicznym z punktu widzenia skuteczności wiercenia jest prędkość wypływu płuczki z dysz i skorelowany z tym wprost spadek ciśnienia w dyszach. Za prawidłowy uznaje się zakres od 20 do 100 m/s. Im formacja jest bardziej zagęszczona, spoista i trudno zwiercalna, tym wartość prędkości płuczki opuszczającej dysze powinna być wyższa. Wierząc otwór pilotowy, należy kontrolować postęp, aby nie przekroczyć maksymalnej dopuszczalnej zawartości fazy stałej w płuczce. Rozsądna koncentracja dla otworów krótkich,

wierconych w formacjach aluwialnych nie powinna przekraczać 20%, a dla otworów długich 10% objętościowo. Dla skalnego wiertnictwa zakres możliwych do uzyskania koncentracji waha się od 2 do 5%.

W tab. 5 zestawiono przykładowe kalkulacje związane z ilością generowanego urobku i wymaganą objętością płuczki do zatłoczenia dla różnych średnic świrdrów i różnych trybów wiercenia (stosunek objętości płuczki do objętości generowanych zwiercin na jednostkę długości otworu).

W trakcie kierunkowego wiercenia pilotowego kontrolujemy i korygujemy w razie konieczności aktualną pozycję narzędzia, określając jej odchylenie od założonego planu. Rejestracji podlegają zarówno mechaniczne parametry technologiczne, takie jak: siła osiowa, nacisk na świder, prędkość obrotowa wrzeciona (przewodu wiertniczego), moment obrotowy na ścianie otworu (on bottom) i moment obrotowy przewodu zrelaksowanego (Off Bottom), jak i parametry hydrauliczne procesu: wydatek pompy płuczkowej, ciśnienie tłoczenia, ciśnienie denne z pomiarów sensorem APWD. Dąży się do sytuacji, w której spadek ciśnienia w dyszach narzędzia jest wartością dominującą w całkowitym bilansie strat ciśnienia.

Dla każdego projektu (HDI > 5000) należy przygotować program będący zespołem ustandaryzowanych parametrów płuczkowych. Każdy parametr powinien być podawany w możliwie wąskim zakresie lub powinien być wskazany nieprzekraczalny poziom wartości

Średnia prędkość przepływu płuczki w przestrzeni pierścieniowej otworu i lepkość efektywna to dwa kluczowe parametry mające wpływ na transport zwiercin i utrzymywanie drożności otworu. Inżynierowie płuczkowi monitorują objętości i czasy cyrkulacji. Bilansują też fazę stałą opuszczającą otwór wiertniczy. Postęp w tej fazie projektu jest podporządkowany precyzji tworzonej trajektorii, kontroli ciśnień dennych w kontekście ciśnień dopuszczalnych oraz jakości cyрку-

Klasa wiertnicy	Średnica świrdra	Średnica przewodu	Długość odcinka przewodu m	Pojemność jednostkowa; Pojemność na 1 odcinek przewodu l/m	Ilość zatłaczanej płuczki dla wywiercenia 1 m otworu pilotowego [l/m] Ilość zatłaczanej płuczki na 1 kawałek przewodu wiertniczego [l]							
					Stosunek zatłaczanej płuczki do zwiercin							
					4:1	6:1	8:1	10:1	15:1	20:1	30:1	
					l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m	l/m
MINI	5"	2 3/8"	3	12,6 38	50 150	75 225	100 300	126 378	189 567	252 756	378 1134	
	6 1/2"	2 7/8"	4,5	21,4 96	85 382	128 576	171 770	214 963	321 1445	428 1926	642 2890	
MIDI	8 1/2"	3 1/2"	5	36,6 183	146 732	220 1100	293 1465	366 1830	549 2745	732 3660	1098 5490	
	9 7/8"	5"	6	48,9 293	196 1176	293 1758	391 2346	489 2934	733 4398	978 5868	1467 8802	
MAXI	10 5/8"	5 1/2"	9,5	57,2 543	229 2172	343 3258	457 4344	572 5430	858 8145	1144 10860	1716 16290	
	12 1/4"	5 1/2"	9,5	76,0 722	304 2888	456 4332	608 5776	760 7220	1140 10830	1520 14440	2280 21660	
MAXI MEGA	14"	6 5/8"	9,5	100,0 950	400 3800	600 5700	800 7600	1000 9500	1500 14250	2000 19000	3000 28500	
MEGA	16"	6 5/8"	9,5	130,0 1232	520 4928	780 7392	1040 9856	1300 12320	1950 18460	2600 24640	3900 36960	
	17 1/2"	7 5/8"	9,5	155,0 1470	620 5880	930 8820	1240 9920	1550 14700	2325 22050	3100 29400	4650 44100	

TAB. 5. Analiza objętości zatłaczanej do otworu płuczki w funkcji objętości generowanego urobku dla fazy wiercenia pilotowego

Klasa wiertnicy	Średnica świdra	Średnica przewodu	Długość odcinka przewodu	Pojemność jednostkowa przestrzeni pierścieniowej	Minimalny wydatek pompy Optymalny wydatek pompy	Czas wiercenia 1 kawałka przy wydatku minimalnym [min] Czas wiercenia 1 kawałka przy wydatku optymalnym [min]						
						Stosunek załaczanej płuczki do zwiercin						
			m	l/m		4:1	6:1	8:1	10: 1	15: 1	20: 1	30: 1
					l/min	min	min	min	min	min	min	min
MINI	5"	2 3/8"	3	9,8	50 75	3 2	4,5 3	6 4	7,5 5	11 7,5	15 10	22,5 15
MINI	6 1/2"	2 7/8"	4,5	17,2	100 150	4 2,5	6 4	7 5	10 6,5	14,5 9,5	19 13	29 19
MIDI	8 1/2"	3 1/2"	5	30,4	300 450	3,5 2	4 2,5	5 3	6 4	9 6	12 8	18 12
MIDI	9 7/8"	5"	6	36,2	400 600	3 2	4,5 3	6 4	7,5 5	11 7,5	14,5 10	22 15
MAXI	10 5/8"	5 1/2"	9,5	41,8	500 750	4,5 3	6,5 4,5	8,5 6	10,5 7	16 11	21,5 14	32 22
MAXI	12 1/4"	5 1/2"	9,5	60,6	700 1050	4 2,5	6 4	8 5,5	10,5 7	15,5 10,5	20,5 14	31 20,5
MAXI MEGA	14"	6 5/8"	9,5	77,9	900 1350	4 3	6,5 4	8,5 5,5	10 7	16 10,5	21 14	31,5 21
MEGA	16"	6 5/8"	9,5	107,9	1200 1800	4 2,5	6,5 4	8 5,5	10 6,5	15 10	20,5 13,5	31 20,5
MEGA	17 1/2"	7 5/8"	9,5	125,6	1600 2400	3,5 2,5	5,5 3,5	6 4	8 6	14 9	18,5 12	27,5 18

TAB. 6. | Analiza czasu wiercenia zdefiniowanych odcinków otworu w funkcji przyjętej strategii postępowania dla fazy hydromonitorowego wiercenia pilotowego (BHA – Jetting Assembly)

Klasa wiertnicy	Średnica świdra	Średnica przewodu	Długość odcinka przewodu	Pojemność jednostkowa przestrzeni pierścieniowej	Prędkość przepływu płuczki (m/min) w przestrzeni pierścieniowej otworu w funkcji geometrii narzędzia i wydatku pompy (l/min)						
					l/min m/min	l/min m/min	l/min m/min	l/min m/min	l/min m/min	l/min m/min	l/min m/min
MINI	5"	2 3/8"	3	9,8	40 4,0	50 5,1	60 6,1	70 7,1	80 8,2	90 9,2	100 10,2
MINI	6 1/2"	2 7/8"	4,5	17,2	80 4,6	100 5,8	120 6,9	140 8,1	160 9,3	180 10,5	200 11,6
MIDI	8 1/2"	3 1/2"	5	30,4	250 8,2	300 10,0	350 11,5	400 13,1	450 14,8	500 16,5	550 18,1
MIDI	9 7/8"	5"	6	36,2	300 8,3	400 11,0	500 13,8	600 16,6	700 19,3	800 22,1	900 24,8
MAXI	10 5/8"	5 1/2"	9,5	41,8	400 9,6	500 12,0	600 14,3	700 16,7	800 19,1	900 21,5	1000 23,9
MAXI	12 1/4"	5 1/2"	9,5	60,6	500 8,3	650 10,7	800 13,2	950 15,7	1100 18,1	1250 20,6	1400 23,1
MAXI MEGA	14"	6 5/8"	9,5	77,9	600 7,7	800 10,3	1000 12,8	1200 15,4	1400 18,0	1600 20,5	1800 23,1
MEGA	16"	6 5/8"	9,5	107,9	750 7,0	1000 9,3	1250 11,6	1500 13,9	1750 16,2	2000 18,5	2250 20,9
MEGA	17 1/2"	7 5/8"	9,5	125,6	900 7,1	1200 9,6	1500 11,9	1800 14,3	2100 16,7	2400 19,1	2700 21,5

TAB. 7. | Symulacja prędkości przepływu płuczki w przestrzeni pierścieniowej dla wiercenia pilotowego dla różnej kombinacji średnic świdrów i strumienia przepływu płuczki (l/min)

lacji w otworze. Maksymalna prędkość wiercenia musi być skorelowana z dopuszczalną zawartością fazy stałej, przy której nie ma problemów z kontrolą procesu. Normalną procedurą jest cyrkulowanie w otworze

w przypadku zbliżania się do górnego limitu ciśnienia dennego. Bieżąca analiza obciążeń przewodu (Torque and Drag) oraz analiza trendu ECD (iloraz dynamicznego ciśnienia dennego do aktualnej głębokości) służy

kontroli jakości otworu, w tym jego stabilności i drożności. Kalkulowany współczynnik tarcia pozwala na porównanie bieżącego projektu z projektami dotychczas zakończonymi. Kalkulowany parametr DLS (Dogleg

Severity) pozwala na porównanie sumarycznych zmian kątowych zidentyfikowanych w trakcie wiercenia ze stanem idealnym (trajektoria zaplanowana). Główne problemy technologiczne, jakie mogą wystąpić w tej fazie robót, to: brak możliwości realizacji założonej trajektorii, wysokie ciśnienie denne, zaniki prawidłowego obiegu płuczki, wysoki moment obrotowy, wyboczenie przewodu w trakcie wiercenia orientowanego, utrata ruchomości przewodu.

TECHNIKA POSZERZANIA OTWORU

Po osiągnięciu celu, jakim jest ukończenie wiercenia pilotowego, dolny zestaw przewodu jest demontowany i zastępowany przez narzędzia służące do poszerzania. Celem ich pracy jest powiększenie otworu do wymaganej średnicy, co może odbywać się w jednym lub kilku etapach. Wiele różnych typów narzędzi wykorzystuje się do wykonania tej operacji. Selekcja narzędzi dla fazy poszerzania wynika z wiedzy o formacji oraz dostępnego momentu obrotowego przy

Istnieje pewna grupa uniwersalnych rekomendacji ważnych niezależnie od klasy projektu, zestawu wierzącego czy zastosowanego urządzenia wiertniczego.

Jednym z takich parametrów jest prędkość płuczki w przestrzeni pierścieniowej otworu

zadanej prędkości obrotowej. Wymagany postęp liniowy w marszu przekłada się na decyzję o ilości etapów poszerzania otworu. Poszerzacz jest wciągany (lub wypychany) do otworu obrotowo (prawa rotacja) i urabia grunt w sposób mechaniczno-hydrauliczny. Dla każdego odcinka przewodu usuniętego z otworu nowy jest dokładany po stronie

przeciwnej. W ten sposób kompletny przewód jest cały czas obecny w otworze. Operacja ta jest powtarzana aż do osiągnięcia wymaganej średnicy otworu.

W fazie poszerzania otworu możliwe jest wdrażanie całego szeregu zabiegów optymalizacyjnych, które wynikają bezpośrednio z obserwacji wiercenia pilotowego. Doprecyzowanie warunków geologicznych pozwala na wybór typu narzędzi, ich typoszeregu oraz konfiguracji. Hydraulika otworowa powinna wspierać działania w celu osiągnięcia założonego (a jednocześnie bezpiecznego) postępu. Rekomenduje się, aby postęp liniowy ROP nie był niższy niż 0,1 m/min. Wydatek pompy płuczkowej należy dostosować do przepustowości systemu separacji faz. Ze względu na niższe prędkości przepływu płuczki w przestrzeni pierścieniowej otworu (w porównaniu do fazy wiercenia pilotowego) i jednocześnie wyższą koncentrację urobku w płuczce, wskazane jest dokonać korekty programu płuczkowego oraz zmodyfikować profil lepkościowy. Prawdopodobieństwo zaników wgłębnych w tej fazie robót jest

Średnica otworu	Strumień przepływu płuczki (l/min)																
	100	200	300	400	500	600	800	1000	1200	1400	1600	2000	2400	2800	3200	3600	4000
8"	3,1	6,2	9,3	12,5	15,6	18,7											
10"	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	16,0	20,0									
12"	1,4	2,8	4,2	5,6	6,9	8,3	11,1	13,9	16,7	19,4							
14"	1,0	2,0	3,1	4,1	5,1	6,1	8,2	10,2	12,2	14,3	16,3	20,4					
16"		1,6	2,3	3,1	3,9	4,7	6,2	7,8	9,4	10,9	12,5	15,6	18,7				
18"		1,2	1,8	2,5	3,1	3,7	4,9	6,2	7,4	8,6	9,9	12,3	14,8	17,3	19,8		
20"		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	
24"			1,0	1,4	1,7	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,9	8,3	9,7	11,1	12,5	13,9
28"				1,0	1,3	1,5	2,0	2,5	3,1	3,6	4,1	5,1	6,1	7,1	8,2	9,2	10,2
32"					1,0	1,2	1,6	2,0	2,3	2,7	3,1	3,9	4,7	5,5	6,2	7,0	7,8
36"							1,2	1,5	1,8	2,2	2,5	3,1	3,7	4,3	4,9	5,5	6,2
40"							1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,5	3,0	2,5	4,0	4,5	5,0
44"								1,0	1,2	1,4	1,6	2,1	2,5	2,9	3,3	3,7	4,1
48"									1,0	1,2	1,4	1,7	2,1	2,4	2,8	3,1	3,5
52"										1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0
56"											1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,3	2,5
60"												1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2
64"												1,0	1,2	1,4	1,6	1,7	1,9
68"													1,0	1,2	1,4	1,6	1,7
72"														1,1	1,2	1,4	1,5

TAB. 8. | Symulacja prędkości przepływu płuczki (m/min) w przestrzeni pierścieniowej dla fazy poszerzania otworu przy różnej kombinacji średnic narzędzi i strumienia przepływu płuczki

Ilość dysz	TFA in ²	Strumień przepływu płuczki (l/min)													
		100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600
3 x 8/32"	0,147	17 2	26 4	35 7	53 16	70 29									
4 x 8/32"	0,196			26 4	40 9	53 16	66 25								
5 x 8/32"	0,245			21 3	31 6	42 10	52 16	63 23							
6 x 8/32"	0,295				26 4	35 7	44 11	52 16	61 22	70 29					
7 x 8/32"	0,344				22 3	30 5	37 8	45 12	52 16	60 21	67 27				
8 x 8/32"	0,393					26 4	33 6	39 9	46 12	52 16	59 21	65 25			
10 x 8/32"	0,491						26 4	31 6	37 8	42 10	47 13	53 16	63 24		
12 x 8/32"	0,589							26 4	31 6	36 7	40 9	44 11	53 16	61 22	70 29
14 x 8/32"	0,687							23 3	26 4	30 5	34 7	38 8	45 12	53 16	60 21
16 x 8/32"	0,785								23 3	26 4	30 5	33 6	39 9	46 12	53 16
18 x 8/32"	0,884									23 3	26 4	29 5	35 7	41 10	47 13
20 x 8/32"	0,982										23 3	26 4	32 6	37 8	42 10

TAB. 9. | Symulacja hydrauliki dla fazy poszerzania otworu przez urządzenia klasy MINI – MIDI. Zestawiono prędkości wypływu z dysz (m/s) i skorelowane spadki ciśnienia dla różnej ilości typowych dysz o średnicy 8/32" i strumienia przepływu płuczki (l/min)

Ilość dysz	TFA in ²	Strumień przepływu płuczki (l/min)													
		600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2800	3200	3600	4000
6 x 10/32"	0,460	33 7	45 12	55 18	67 27										
7 x 10/32"	0,537	29 5	38 9	48 14	57 20	67 27									
8 x 10/32"	0,614	25 4	34 7	42 10	50 15	58 20	67 27								
10 x 10/32"	0,767		27 4	34 7	40 10	47 13	54 17	61 22	67 27						
12 x 10/32"	0,912		22 3	28 5	34 7	40 9	45 12	50 15	56 19	62 22	67 27				
14 x 10/32"	1,074			24 3	29 5	34 7	38 9	43 11	48 14	53 16	57 20	67 37			
16 x 10/32"	1,227				25 4	30 5	34 7	38 8	42 10	46 13	50 15	59 20	67 27		
18 x 10/32"	1,381				22 3	26 4	30 5	34 7	37 8	41 10	45 12	52 16	60 21	67 27	
20 x 10/32"	1,534					23 3	27 4	30 5	34 7	37 8	40 10	47 13	54 17	60 22	67 27
24 x 10/32"	1,841						22 3	25 4	28 5	31 6	34 7	39 9	45 12	50 15	56 19
28 x 10/32"	2,148							21 3	24 3	26 4	29 5	34 7	38 9	43 11	48 14
32 x 10/32"	2,454								21 3	23 3	25 4	30 5	34 7	38 8	42 10

TAB. 10. | Symulacja hydrauliki dla fazy poszerzania otworu przez urządzenia klasy MAXI – MEGA. Zestawiono prędkości wypływu z dysz (m/s) i skorelowane spadki ciśnienia dla różnej ilości typowych dysz o średnicy 10/32" i strumienia przepływu płuczki (l/min)

znacząco niższe niż w przypadku wiercenia pilotowego. Dzieje się to na skutek spadku gradientu ciśnienia cyrkulacyjnego w poszerzonym otworze i to pomimo wzrostu strumienia przepływającej płuczki. Wydajność prosesu poszerzania będzie determinowana zastosowaną kombinacją parametrów: typ BHA, przepływ płuczki, prędkość obrotowa przewodu, nacisk na czoło narzędzia (WOB), moment obrotowy rejestrowany na narzędziu (TOB), sumaryczne pole przekroju dysz (TFA). Identyfikacja minimalnego wymaganego poziomu zdolności suspensyjnych płynu pozwala na ograniczenie komplikacji technicznych i nieproduktywnego czasu w ramach operacji wiertniczych.

Tworzenie baz danych odnoszących się do danego procesu wiertniczego ułatwia podejmowanie optymalnych decyzji w trakcie wiercenia i redukuje ryzyko wystąpienia istotnych komplikacji technicznych

Dla oceny jakościowej otworu decydujące znaczenie ma ocena jakości cyrkulacji i bilans fazy stałej. Analiza *Torque and Drag* pozwala nam ocenić stan techniczny otworu i wskazać na potencjalne problemy techniczne, takie jak spiralność oraz meandrowanie osi otworu, tworzenie wrębów i innych nieregularnych deformacji ściany. Główne problemy technologiczne, jakie mogą wystąpić w tej fazie robót, to: nieskuteczny transport zwiercin, wysoki moment obrotowy, niedopasowanie i utykanie narzędzi. W tab. 8 zestawiono symulację stosowanej hydrauliki otworowej dla fazy poszerzania otworu. Rekomenduje się utrzymywanie prędkości przepływu płuczki w przestrzeni pierścieniowej otworu na poziomie powyżej 2 m/min. Za krytycznie niską uznaje się prędkość zmierzającą do 1 m/min. Prędkość płuczki opuszczającej dysze narzędzia waha się od 25 m/s (dla słabych piasków) do około

80 m/s (lite formacje skalne). Dla spoistych warstw z istotną zawartością frakcji pyłowo-iłowej rekomenduje się zakres od 40 do 70 m/s. Dane zawarte w tab. 9 i 10 pozwalają wybrać wymaganą ilość standardowych dysz w pracujących narzędziach dla uzyskania zamierzonej prędkości wypływu płuczki.

TECHNIKA KALIBRACJI OTWORU I INSTALACJI RUROCIĄGU

Na etapie kalibracji dochodzi do sprawdzenia jakości i stabilności otworu. Ponadto jest to okazja do poprawienia wskaźnika oczyszczenia wierconego tunelu i wyprowadzenia pozostawionych w nim zwiercin. Pomiarowi podlegają obciążenia osiowe i moment obrotowy w funkcji postępu kalibracji. Średnica każdego z użytych kalibratorów powinna być większa od średnicy rurociągu. Zalecana prędkość liniowa mieści się w przedziale od 1 do 6 m/min. Interwały o podwyższonym momencie obrotowym należy ponownie przerobić aż do ustania efektu zaciągania w otworze. Rekomenduje się, aby w trakcie kalibracji poprzedzającej instalację rurociągu załoczyć do otworu objętość płuczki nie mniejszą niż jego nominalna pojemność. W trakcie kalibracji dokonujemy oceny integralności i szczelności otworu, a także szacujemy współczynnik tarcia służący do estymacji sił instalacyjnych. Dopuszczenie do instalacji rurociągu może odbyć się wyłącznie po spełnieniu zaaprobowanych kryteriów oceny jakości otworu. W jej trakcie sprefabrykowany rurociąg lub wiązka rur jest wciągany do kompletnie poszerzonego otworu wiertniczego. Na tym etapie dolny zestaw przewodu składa się z narzędzia prowadzącego i następującego po nim krętlika (łącznika obrotowego). W trakcie procesu narzędzie jest obracane, a dzięki obecności krętlika ruch obrotowy nie jest przenoszony na instalowany rurociąg. Na rurociąg przenoszona jest jedynie siła osiowa (siła ciągnięcia). Rurociąg podąża za narzędziem aż do osiągnięcia oryginalnego punktu wejścia w pobliżu urządzenia wiertniczego. W trakcie instalacji używamy narzędzia o nieznacznie mniejszej średnicy niż w trakcie ostatniego poszerzania. Jest to celowe ze względu uniknięcie efektu interakcji narzędzia ze ścianą otworu.

Rejestracji podlegają obciążenia przewodu, a zwłaszcza siła ciągnięcia i moment obrotowy. Dla każdego kawałka przewodu należy zarejestrować wartość siły początkowej (tarcie statyczne), siłę średnią i siłę maksymalną. W przypadku projektów, w ramach których instalowany rurociąg jest balastowany na całości lub selektywnie wodą, należy sporządzić protokół balastowania oraz monitorować ilość załoczonej wody. Obciążenia instalacyjne są pochodną zarówno po jakości otworu, jak i skuteczności procesu równoważenia w otworze siły wyporu. Rekomenduje się, aby produktowe rurociągi stalowe oraz polietylenowe o znacznych długościach oraz wiązki rur polietylenowych przed instalacją zostały poddane próbom szczelności i umieszczone na podporach rolkowych w celu ograniczenia siły instalacyjnej.

PODSUMOWANIE

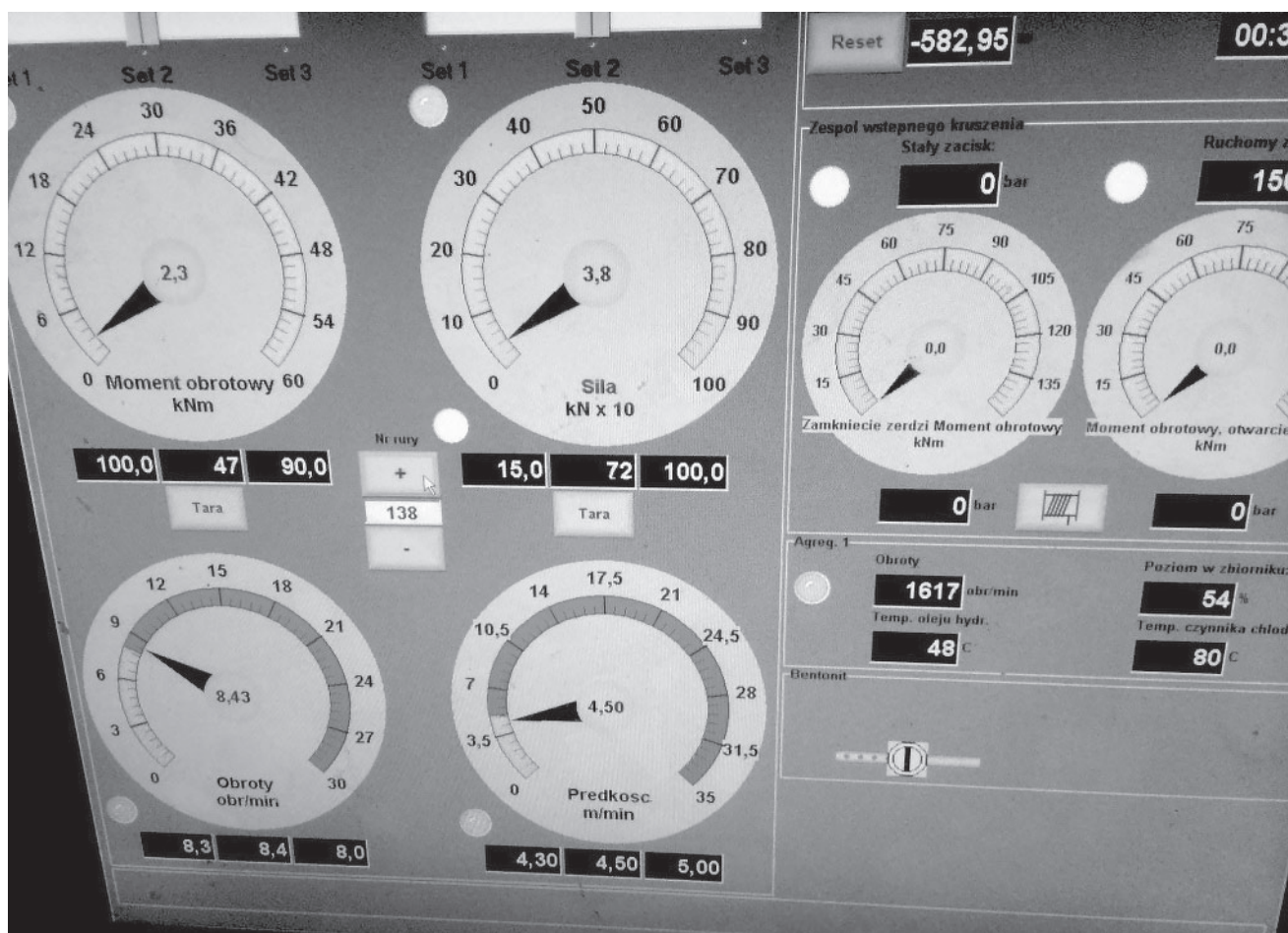
Wydatek pompy płuczkowej, nacisk na czoło narzędzia, prędkość obrotowa, energia hydrauliczna oddawana na spodzie otworu oraz parametry płynu wiertniczego to główne instrumenty technologiczne. Konfiguracja narzędzi w kontekście dostępnej energii jest czynnikiem wspierającym maksymalizację postępu. Przepustowość zamkniętego obiegu płuczkowego jest kluczowym parametrem decydującym o produktywności procesu. Analiza technologiczna poddaje ocenie dane pozyskiwane zarówno z bezpośrednich pomiarów, jak i kalkulacji. Tworzenie baz danych ułatwia podejmowanie optymalnych decyzji w trakcie wiercenia i redukuje ryzyko wystąpienia istotnych komplikacji technicznych. Planowanie otworów zostaje w takim wariantcie zintegrowane z bieżącym raportowaniem i szczegółową analizą powykonawczą. |

W najbliższych numerach kwartalnika „Inżynieria Bezwykopowa” zostaną opublikowane kolejne części artykułu poświęcone następującym zagadnieniom:

Część 8: Dokumentacja i raporty. Wymagania kompetencyjne

Część 9: Zarządzanie projektem. Harmonogram i budżet

Część 10: Słownik terminów i skrótów wiertniczych



BEZWYKOPOWA BUDOWA

PLANOWANIE I REALIZACJA PROJEKTÓW HDD

CZĘŚĆ VIII:
WYMAGANIA KOMPETENCYJNE
RAPORTY WIERTNICZE
I ANALIZY TECHNICZNE



ROBERT OSIKOWICZ
ROE

(ur. 1966), absolwent Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Zajmuje się technologią wiercenia otworów kierunkowych i praktycznymi aplikacjami płynów wiertniczych w otworach różnego przeznaczenia. Jest autorem ponad 20 referatów wygłoszonych na międzynarodowych konferencjach technicznych, a także szeregu publikacji dotyczących konfiguracji sprzętu, optymalizacji techniki wiercenia, analizy rynku technologii bezwykopowych, zarządzania jakością i ryzykiem w działaniach wiertniczych, tworzenia harmonogramów i budżetów projektów. Od 2009 r. pracuje dla firmy Robert Osikowicz Engineering. Firma jest członkiem międzynarodowej branżowej organizacji wiertniczej Drilling Contractors Association (DCA-Europe).

Planowanie i realizacja projektów związanych z budową podziemnych instalacji rurociągowych, zwłaszcza tych o znaczeniu strategicznym, wymagają od wszystkich stron procesu inwestycyjnego zapewnienia wyspecjalizowanych zasobów kadrowych dla wykonywania bieżących analiz technicznych, przygotowywania ocen oraz weryfikowania przedkładanych rozwiązań i opinii. Posiłkowanie się wsparciem eksperckim powinno zabezpieczyć projekt przed materializacją głównych ryzyk, zarówno w obszarze technicznym jak i prawno-finansowym

PERSONEL

Istnieje ścisły związek koniunktury gospodarczej z koniunkturą panującą na rynku HDD, która zależy od wielu czynników bezpośrednio związanych z gospodarką, demografią i swobodnym przepływem pracowników wewnątrz Unii Europejskiej. Niedobór kadr i wzrost rynku odzwierciedlają wyzwania, jakie napotkano w ostatniej dekadzie. Dziś wymagania są dodatkowo potęgowane przez globalną ekspansję branży. W tym kontekście coraz większy nacisk kładzie się na zapewnienie kompetencji, bezpieczne wykonanie pracy i zmniejszenie liczby negatywnych zdarzeń. Jeśli nie będziemy dysponować pracownikami o wystarczających kompetencjach i sprzętem o wystarczającej wydajności, nie osiągniemy wszystkich celów projektu, jakimi są: jego zakres, jakość, harmonogram i budżet. Co więcej, jeśli nie będziemy w stanie zbudować kompetencji w ramach własnego personelu i mieć pewności, że zaangażowani przez nas kontrahenci ją posiadają, nie będziemy w stanie realizować skutecznie kontraktów. Programy zapewniania kompetencji powinny zostać wdrożone zarówno w firmach wiertniczych, firmach serwisowych, jak i po stronie nadzoru inwestorskiego.

Zapewnienie kompetencji jest postulatem pojawiającym się na konferencjach i seminariach branżowych. Niektóre firmy dopiero zaczynają formalizować budowanie kompetencji rozumianych jako zbiór niezbędnych umiejętności, wymaganych na każdej pozycji, które są uniwersalne dla całej branży.

Zapewnienie kompetencji nie polega jedynie na przeprowadzeniu pisemnego testu, który pracownicy muszą zdać – jest to raczej

ciągły proces, który gwarantuje, że dana osoba posiada umiejętności niezbędne do prawidłowego wykonania pracy w ramach projektu wiertniczego. Ważne jest posiadanie w zasobach firmy ludzi o uznanym autorytecie, mających doświadczenie w ocenie poziomów kompetencji. Do tego mogą posłużyć wewnętrzne standardy i najlepsze praktyki branżowe.

KOMPETENCJE I DOŚWIADCZENIE CZŁONKÓW ZAŁÓG

Każdy projekt wiertniczy stawia przed wykonawcą specyficzne wymagania techniczne, prawne i finansowe. Trudność projektu będzie wyznaczana nie tylko przez kombinację długości otworu i średnicy rurociągu, ale też przez zastane warunki geologiczne, warunki

Stanowisko	Wiertnica klasy mini (do 300 kN) HDI do 5000	Wiertnica klasy midi (300–800 kN) HDI do 15 000	Wiertnica klasy maxi (1000–2500 kN) HDI do 40 000	Wiertnica klasy mega (powyżej 2500 kN) HDI do 60 000
Kierownik projektu Project manager	-	-	opcjonalnie	1
Kierownik wiertni Drilling supervisor	-	opcjonalnie	1	1
Wiertacz Driller	1	1	1	2
Operator systemu nawigacji	1	1	1	1
Operator systemu płuczkowego	1	1	1	1
Operator systemu separacji faz	opcjonalnie	opcjonalnie	1	2
Operator strony rurociągowej	opcjonalnie	2	2	2
Pomocnik wiertacza	1	1	1	2
Mechanik/spawacz	-	opcjonalnie	1	1
Elektryk/automatyk	-	opcjonalnie	opcjonalnie	1
Zgrzewacz rur	opcjonalnie	opcjonalnie	opcjonalnie	opcjonalnie
Operator koparki	opcjonalnie	1	1	1
Inżynier kierunkowy	opcjonalnie	opcjonalnie	1	1
Inżynier płuczkowy	opcjonalnie	opcjonalnie	1	1
Ilość zaangażowanych osób (poszczególne osoby mogą pełnić kilka funkcji)	3–5	5–8	8–12	> 12

TAB. 1. | Zestawienie personelu zaangażowanego w prace HDD z podziałem na klasy urządzeń wiertniczych

ki zabudowy i ograniczenia środowiskowe. Konsekwencją analizy przedprojektowej jest wskazanie wstępnych wymagań, jakie powinna spełnić spółka wiertnicza i jej personel. Jeśli chodzi o spółkę wiertniczą, należy sprawdzić jej referencje i doświadczenie w realizowaniu projektów o podobnym lub wyższym wskaźniku trudności HDI. W przemyśle wiertniczym uważa się, że kwalifikacje (kompetencje) to zrównoważone połączenie wiedzy teoretycznej i umiejętności praktycznych. Synergia tego typu daje podstawy, aby sądzić, że osoba (załoga) będzie sprawnie, skutecznie i bezpiecznie realizować założenia projektowe. Realizacja zadań musi się przy tym odbywać przy wymaganych poziomie jakości i zgodnie z przyjętym harmonogramem. Istnieje grupa osób biorących udział w realizacji projektu, których kompetencje są kluczowe. Cytowane przy tej okazji pojęcie „doświadczenie” oznaczać powinno wykształ-

cenie, wiedzę i praktykę w danej dziedzinie. Niektóre ze stanowisk wymagają wiedzy na poziomie eksperckim dla właściwego zarządzania skomplikowanym procesem wiertniczym. Rolą wszystkich stron biorących udział w realizacji zadania jest stworzenie precyzyjnych kryteriów kompetencyjnych, które będą weryfikowane i respektowane. Poza wykształceniem istotną rolę odgrywać mogą kursy zawodowe zakończone egzaminem potwierdzającym prawo do pełnienia określonych funkcji czy też obsługi określonego typu sprzętu. Żaden pracownik nie może zostać oddelegowany do pracy na danym stanowisku, dopóki nie ukończy formalnego szkolenia w zakresie bezpieczeństwa. Ponadto za każdym razem, gdy dana osoba przechodzi z jednego stanowiska na drugie lub otrzymuje awans, szkolenie HSE i ocena bezpieczeństwa muszą być ponownie ukończone, ponieważ obowiązki w zakresie bezpieczeństwa

są przypisane do każdego poziomu wymagań zawodowych. Po zakończeniu wszystkich wymaganych prawem szkoleń i po uzyskaniu pozytywnych ocen pracownika uznaje się za w pełni kompetentnego na zajmowanym przez niego stanowisku.

Przemysł wiertniczy definiuje zapewnienie kompetencji jako proces, system zarządzania, w ramach którego firmy mają procedury określania kompetencji na danych stanowiskach i oceniania pracowników w stosunku do tych standardów kompetencji. Zdefiniowane kompetencje powinny być okresowo aktualizowane, aby odzwierciedlić zmiany w działaniach związanych z nowymi technologiami i sprzętem. Indywidualne kompetencje pracowników muszą być monitorowane i przeglądane w celu zapewnienia wymaganej jakości. HDD zmienia się dzięki nowym typom sprzętu wiertniczego, nowym koncepcjom, dłuższym otworom, które

Stanowisko	HDI < 2000	HDI 2000–5000	HDI 5000–10 000	HDI 10 000–20 000	HDI 20 000–40 000	HDI > 40 000
Kierownik projektu			3 lata doświadczenia w obszarze HDD, w przemyśle rurociągowym lub w wiertnictwie naftowym (wykształcenie wyższe)	5 lat doświadczenia w obszarze HDD, w przemyśle rurociągowym lub w wiertnictwie naftowym (wykształcenie wyższe)		
Kierownik wiertni			2 lata doświadczenia w obszarze HDD i/lub w wiertnictwie naftowym (wykształcenie średnie)	3 lata doświadczenia w obszarze HDD i/lub w wiertnictwie naftowym (wykształcenie średnie)		
Wiertacz	2 lata doświadczenia w obszarze HDD na różnych pozycjach		2 lata doświadczenia w obszarze HDD na pozycji wiertacza	3 lata doświadczenia w obszarze HDD na pozycji wiertacza	5 lat doświadczenia w obszarze HDD na pozycji wiertacza	
Operator systemu nawigacji w firmie wiertniczej	2 lata doświadczenia w obszarze HDD na różnych pozycjach		2 lata doświadczenia w obszarze HDD na pozycji nawigatora	3 lata doświadczenia w obszarze HDD na pozycji nawigatora		
Operator systemu płuczkowego	1 rok doświadczenia w obszarze HDD na różnych pozycjach		2 lata doświadczenia w obszarze HDD na pozycji płuczkowego	3 lata doświadczenia w obszarze HDD na pozycji płuczkowego		
Operator systemu separacji faz		1 rok doświadczenia w obszarze HDD na różnych pozycjach	2 lata doświadczenia w obszarze HDD na różnych pozycjach	3 lata doświadczenia w obszarze HDD na różnych pozycjach		
Operator strony rurociągowej		2 lata doświadczenia w obszarze HDD na różnych pozycjach		wiertacz lub 3 lata doświadczenia w obszarze HDD		
Inżynier kierunkowy		2 lata doświadczenia w obszarze HDD (wykształcenie wyższe)		3 lata doświadczenia w obszarze HDD (wykształcenie wyższe)		
Inżynier płuczkowy		2 lata doświadczenia w obszarze HDD (wykształcenie wyższe)		3 lata doświadczenia w obszarze HDD (wykształcenie wyższe)		
Inspektor nadzoru budowy rurociągu	udokumentowane wieloletnie doświadczenie w przemyśle konstrukcyjnym					
Inspektor ds. robót wiertniczych		Udokumentowane wieloletnie doświadczenie w obszarze HDD (wykształcenie wyższe)				

TAB. 2. | Rekomendowane kompetencje (doświadczenie) kluczowego personelu w kontekście klasy projektu wg kryterium HDI

stwarzają jednak nowe kategorie zagrożeń. Dla firm zajmujących się wykonawstwem robót HDD zarówno personel, jak i powierzony im sprzęt odróżniają jedną firmę od drugiej. Miarą konkurencyjności firmy jest liczba wykwalifikowanych pracowników do obsadzenia określonych stanowisk.

Istnieje ścisły związek koniunktury gospodarczej z koniunkturą panującą na rynku HDD, która zależy od wielu czynników bezpośrednio związanych z gospodarką, demografią i swobodnym przepływem pracowników wewnątrz Unii Europejskiej

Czołowe firmy zdają sobie sprawę, że zapewnienie kompetencji jest koniecznością, aby osiągnąć pożądaną skuteczność operacyjną i zwiększać produktywność. Tak jak należy poświęcić czas i zasoby, aby zapewnić, że sprzęt będzie działał zgodnie z oczekiwaniami, należy również zainwestować czas i zasoby, aby zapewnić, że pracownicy będą działać zgodnie z oczekiwaniami. Jeszcze 20 lat temu większość ludzi uczyła się na swoich błędach w pracy. Obecnie zmienia się podejście do uczenia się na błędach. Należy koncentrować się na tym, aby nauka miała miejsce zanim ludzie znajdą się w sytuacji, w której błędy mogą mieć poważne konsekwencje. Firmy wiertnicze są zobowiązane do wykonania każdego zadania we właściwy sposób. Ze względu na rozmiar i złożoność wielu współczesnych projektów nawet małe błędy mogą być trudne technicznie i bardzo kosztowne do naprawienia. Korzyści finansowe wynikające z kompetencji stają się wtedy bardziej widoczne. Firmy powinny zdawać sobie sprawę, że koszt ustanowienia programu zapewnienia kompetencji jest ostatecznie znacznie niższy niż koszt niekompetencji.

Celem, jaki powinna postawić sobie branża HDD, jest wykorzystanie możliwości poprawy wydajności (produktywności prac) dzięki bardziej rygorystycznemu zapewnieniu kompetencji. Pieniądże wydane na zapewnienie kompetencji można określić jako dodatkowe ubezpieczenie firmy. Dzięki budowaniu kompetencji redukujemy nie tylko koszty związane z komplikacjami wiertniczymi. Pracownik kompetentny będzie w stanie zdiagnozować i naprawić kluczowe dla procesu urządzenie, redukując lub całkowicie eliminując koszty przestoju. Dla każdego formalnego stanowiska (kierownik wiertni, wiertacz, nawigator, płuczkowy, operator sprzętu, mechanik itp.) powinien zostać opracowany wykaz podstawowej wiedzy i umiejętności określający sposób wykonywania pracy. Tylko pomyślne potwierdzenie uzyskania kompetencji na danym poziomie może być przepustką do uzyskania awansu na wyższe stanowisko. Wymagania wynikają z wewnętrznych regulacji firmy, przepisów formalnych i praktyki branżowej.

TWORZENIE RAPORTÓW WIERTNICZYCH

Bardzo istotną rolę w procesie decyzyjnym i w ocenie podjętych działań odgrywają raporty wiertnicze. Są to materiały źródłowe służące monitorowaniu, analizie czynności, tworzeniu baz danych i statystyk wiertniczych. Raporty powinny być tworzone i dystrybuowane na bieżąco. Stroną tworzącą raporty są firmy wiertnicze, firmy serwisowe oraz inspektorzy nadzoru. Raporty powinny zawierać opis bieżących procedur wiertniczych, rejestrowane parametry technologiczne oraz komentarz do nich. Raporty spółek serwisowych na ogół są bardziej szczegółowe i odnoszą się głównie do obszaru, jaki został powierzony konsultantowi do prowadzenia. Raporty zawierające opis aktualnego stanu prac weryfikowane są pod kątem ich zgodności z projektem wykonawczym, założonym harmonogramem robót, a w szczególnych przypadkach mogą posłużyć do stwierdzenia, czy wdrażane procedury są poprawne technicznie. Uzasadniają przy tym wykonanie dodatkowych prac i niestandardowych operacji. Dają możliwość

ubiegania się o zwrot poniesionych kosztów dla nieprzewidzianych kontraktem robót.

Raporty są najważniejszym materiałem służącym do ustalania przyczyn komplikacji i awarii wiertniczych. Stanowią materiał źródłowy dla firm weryfikujących proces wiercenia, firm ubezpieczeniowych, komisji arbitrażowych i sądów. Cenną cechą prawidłowo przygotowanych raportów jest to, że są tworzone i dystrybuowane na bieżąco. Powinny być, jak to tylko możliwe, rzetelne i szczegółowe oraz umiejętnie hierarchizować poszczególne czynności. Suma raportów powinna zagwarantować monitorowanie wszystkich parametrów technologicznych procesu wiercenia z wymaganą dokładnością.

Analiza danych technicznych zamieszczanych w raportach pozwala na:

- ocenę prawidłowości założeń projektowych;
- ocenę stopnia dopasowania zgromadzonego sprzętu, materiałów i technologii do wymagań projektu;
- ocenę celowości zastosowanych procedur wiertniczych;
- obniżenie poziomu ryzyka operacyjnego;
- utrzymanie racjonalnych kosztów projektu;
- prowadzenie bieżącej analizy jakościowej w odniesieniu do procesu wiertniczego i samego produktu, jakim jest otwór wiertniczy.

Każdy projekt wiertniczy stawia przed wykonawcą specyficzne wymagania techniczne, prawne i finansowe. Trudność projektu będzie wyznaczana nie tylko przez kombinację długości otworu i średnicy rurociągu, ale też przez zastane warunki geologiczne, warunki zabudowy i ograniczenia środowiskowe

Nazwa dokumentu	Dostarcza	Zawartość stała dla całego marszu	Dane zmienne
Raport wiertacza (tworzony codziennie)	firma wiertnicza raport sporządzany odrębnie na przygotowanym formularzu	nazwa i logo firmy wiertniczej nazwa projektu lokalizacja nazwisko wiertacza nazwisko kierownika wiertni urządzenie wiertnicze (parametry) pompa płuczkowa (parametry) faza robót typ i średnica narzędzia ilość i średnica dysz w narzędziu parametry silnika węglowego kąt skrzywienia dolnej części BHA całkowita długość BHA średnica obudowy sondy pomiarowej średnica przewodu wiertniczego	nr raportu (nr strony raportu) data raportu nr stacji pomiarowej (dla fazy wiercenia pilotowego) nr kawałka (poszerzanie, instalacja) inklinacja i azymut (dla fazy wiercenia pilotowego) godzina rozpoczęcia i zakończenia czas wiercenia kawałka (min.) siła pchania – średnia/maksymalna (kN) siła ciągnięcia – średnia/maksymalna (kN) moment obrotowy – średni/maksymalny (kNm) obroty przewodu wiertniczego (obr./min) wydatek pompy płuczkowej (l/min) ciśnienie tłoczenia płuczki (bar) kierunek przepływu płuczki w otworze bilans objętości – wpływ z otworu (%) uwagi o istotnych zdarzeniach
Raport płuczkowy technika (tworzony codziennie w trakcie operacji wiertniczych)	firma wiertnicza raport sporządzany odrębnie na przygotowanym formularzu	nazwa projektu lokalizacja nazwa firmy wiertniczej nazwisko płuczkowego nazwisko kierownika wiertni faza robót	nr raportu data raportu godzina pomiaru ciężar właściwy płuczki IN/OUT zawartość piasku IN/OUT lepkość mierzona lejkiem Marsha profil reologiczny dla co najmniej 6 zakresów (600, 300, 200, 100, 6, 3 obr./min) żele mierzone po 10' i po 10'' pH płuczki konsumpcja wody (dzienna) konsumpcja materiałów płuczkowych (dzienna)
Raport kierownika wiertni (tworzony codziennie we wszystkich fazach projektu)	firma wiertnicza raport sporządzany na komputerze	nazwa i logo firmy wiertniczej nazwa projektu lokalizacja parametry rurociągu długość planowana nazwa generalnego wykonawcy nazwa inwestora data rozpoczęcia prac wiertniczych urządzenie wiertnicze pompa płuczkowa pozostały sprzęt i osprzęt własny lista sprzętu wynajętego parametry technologiczne wiercenia w planie wykonalności (nacisk, obroty, wydatek pompy) obciążenia na przewodzie wiertniczym zawarte w planie wykonalności (siła pchania/ciągnięcia oraz moment obrotowy)	nr raportu data raportu personel własny (wymieniony) personel wynajęty (wymieniony) faza robót geologia pogoda średnica i typ narzędzia ilość i rozmiar dysz opis operacji wiertniczych opis operacji pomocniczych Parametry technologiczne wiercenia: nacisk, obroty, wydatek pompy Obciążenia mierzone na przewodzie wiertniczym: siła pchania/ciągnięcia (kN) moment obrotowy (kNm) Objętości: wywiercono dziennie (m) wywiercono od początku marszu (m) objętość otworu wywiercona dziennie (m³) całkowita objętość otworu (m³) cyrkulacja dzienna (m³) cyrkulacja całkowita (m³) odseparowany urobek dziennie (m³) całkowita objętość odseparowanego urobku (m³) zawieszony trwale urobek (m³) stopień oczyszczenia otworu (%) Podstawowe parametry płynu wiertniczego: ciężar właściwy IN/OUT zawartość piasku (IN/OUT) profil lepkościowy (min. 6 zakresów) pH płuczki Zużycie materiałów: konsumpcja wody (dzienna i całkowita) konsumpcja materiałów płuczkowych (dzienna i całkowita)
Raport wiercenia kierunkowego (tworzony na bieżąco w trakcie wiercenia pilotowego)	firma serwisowa lub firma wiertnicza	nazwa firmy wiertniczej nazwa i logo firmy serwisowej nazwa projektu lokalizacja nazwisko wiertacza nazwisko nawigatora nazwisko kierownika wiertni urządzenie wiertnicze typ systemu nawigacji typ i średnica narzędzia data rozpoczęcia wiercenia pilotowego odległość świdra od sondy średnica motoru średnica obudowy sondy średnica przewodu wiertniczego	data ukończenia danej stacji godzina ukończenia danej stacji nr stacji pomiarowej (pilot) długość kawałka (m) długość całkowita (m) odległość w planie (m) inklinacja (°) azymut (°) głębokość (m) odejście od linii wiercenia (lewo/prawo) DLS dogleg severity (°/100 ft) promień krzywizny dla 1 stacji pomiarowej (m) promień krzywizny dla 3 stacji pomiarowych (m)

Nazwa dokumentu	Dostarcza	Zawartość stała dla całego marszu	Dane zmienne
Raport płuczkowy inżyniera (tworzony codziennie w trakcie operacji wiertniczych)	firma serwisowa raport sporządzany na komputerze	nazwa firmy wiertniczej nazwa i logo firmy serwisowej nazwa projektu lokalizacja nazwa generalnego wykonawcy nazwa inwestora długość otworu średnica i materiał rurociągu nazwisko wiertacza nazwisko nawigatora nazwisko kierownika wiertni nazwisko technika płuczkowego nazwisko inżyniera płuczkowego nazwa systemu nawigacji nazwa urządzenia wiertniczego pompa płuczkowa (parametry) typ systemu nawigacji data rozpoczęcia wiercenia pilotowego typ systemu płuczkowego faza robót typ i średnica narzędzia ilość i średnica dysz powierzchnia przekroju dysz średnica motoru średnica przewodu wiertniczego Program płuczkowy dla marszu	data raportu nr raportu interwał wiercenia praca narzędzia na dnie dziennie (h) praca narzędzia w całym marszu (h) postęp wiercenia dzienny (m/min) postęp wiercenia w marszu (m/min) wydajność wiercenia (l/min) Parametry pracy narzędzia: nacisk (kN) obroty (rpm) moment obrotowy na spodzie (Nm) moment obrotowy off bottom (Nm) siła osiowa w trakcie wiercenia (kN) siła osiowa off bottom (kN) Objętości: pojemność otworu (m³) objętość płuczki w zbiornikach (m³) całkowita objętość płuczki (m³) całkowita objętość aktywna (m³) Hydraulika otworowa: wydatek pompy płuczkowej (l/min) ciśnienie tłoczenia (bar) spadek ciśnienia w dyszach narzędzia (bar) ciśnienie różnicowe przy pracy z motorem (bar) ciśnienie w przestrzeni pierścieniowej otworu (bar) prędkość przepływu w przestrzeni pierścieniowej otworu (m/min) całkowity czas obiegu płuczki (min) czas wypływu z dna otworu (min) prędkość wypływu z dysz narzędzia (m/s) energia hydrauliczna w dyszach (kW) Faza stała: dziennie zwiercono (m³) dzienna separacja (m³) całkowita separacja (m³) faza trwale zawieszona (m³) wskaźnik oczyszczenia otworu (%) Bilans objętości: dzienna cyrkulacja (m³) całkowita cyrkulacja (m³) straty dzienne (m³) straty całkowite (m³) straty całkowite: objętość cyrkulacji (%) zawartość fazy stałej (%) wskaźnik płuczki: zwierciny Utylizacja: zwierciny (dziennie/cały projekt) szlam wiertniczy (dziennie/cały projekt) Opis procedur płuczkowych obróbka płuczki materiałami chemicznymi (dozowanie) Wyniki pomiarów laboratoryjnych: godzina pomiaru numer kawałka/głębokość ciężar właściwy płuczki IN/OUT zawartość piasku w płuczce IN/OUT zawartość fazy stałej IN/OUT profil reologiczny dla co najmniej 6 zakresów (600, 300, 200, 100, 6, 3 obr./min) żele mierzone po 10' i po 10" LSRV (Low Shear Rate Viscosity) pH płuczki przewodność płuczki filtracja API (ml/30') Wyniki kalkulacji: lepkość plastyczna PV granica płynięcia YP granica płynięcia LSYP wskaźnik LSYP/YP Zużycie materiałów: konsumpcja wody (dzienna/całkowita) konsumpcja materiałów płuczkowych (dzienna/całkowita) zapasy materiałów płuczkowych opis operacji wiertniczych dystrybucja czasu operacji wiertniczych geologia analiza kosztowa procesu

TAB. 3. | Zestawienie rekomendowanych treści w raportach wiertniczych dla projektów o wskaźniku trudności HDI powyżej 10 000

ZAPISY AUTOMATYCZNE PARAMETRÓW WIERCENIA

Każde nowoczesne urządzenie wiertnicze HDD powinno być wyposażone w szereg czujników odpowiedzialnych za ciągłą rejestrację kluczowych parametrów technicznych procesu wiercenia. Dane te są wyświetlane w czasie rzeczywistym na pulpicie wiertacza, a także nagrywane i przechowywane na twardym dysku stanowiącym swoistą czarną skrzynkę urządzenia wiertniczego. Dane zbierane przez sensory zamontowane na wiertnicy i w pompie płuczkowej są uśredniane i zapisywane w prowadzonym przez wiertacza w raporcie. Dane dotyczące obciążeń przewodu wiertniczego, rotacji narzędzia, strumienia płuczki oraz ciśnienia tłoczenia stanowią podstawową dokumentację procesu wiercenia i są obligatoryjnie archiwizowane. Podobnie ma się rzecz z danymi uzyskiwanymi z systemów nawigacji, które dostarczają informacji o aktualnym położeniu narzędzia, przebiegu rzeczywistej trajektorii w kontekście trajektorii zaplanowanej oraz opcjonalnie o ciśnieniu dennym panującym w otworze.

W dużych projektach realizowanych z wykorzystaniem techniki HDD stosuje się też, niezależnie od systemów zamontowanych fabrycznie na urządzeniu wiertniczym, systemy służące do mierzenia parametrów wiercenia i wyświetlania ich na miejscu prowadzenia projektu oraz w odległych lokalizacjach. Dzięki temu zarówno załoga, jak i osoby znajdujące się w biurze, mogą mieć natychmiastowy dostęp do mierzonych parametrów wiercenia w czasie jego trwania.

System łączy bezprzewodowo poszczególne moduły odpowiedzialne za pomiary i wyświetlanie umieszczone na urządzeniach wiertniczych znajdujących się w miejscu realizacji projektu. Dane z pomiarów są przesyłane za pośrednictwem modemów do bezpiecznej bazy danych, gdzie mają do nich dostęp pracownicy biurowi, którzy analizują je przy pomocy graficznego interfejsu. System oparto na podstawowym zestawie czujników (moduł wiertnicy), mierzących siłę pchania/ciągnięcia, moment obrotowy, położenie i prędkość przesuwania napędu top drive, prędkość obrotową przewodu, wydajność pompy płuczkowej i ciśnienie płuczki w przewodzie wiertniczym. Opcjonalnie stosuje

się też moduły kontrolujące zasilanie systemu wiertniczego, jak również moduły płuczkowe, które zbierają dane dotyczące objętości płynu wiertniczego w systemie aktywnym oraz mierzące podstawowe parametry, takie jak: ciężar właściwy, lepkość pozorną czy pH suspensji

TWORZENIE ANALIZ TECHNICZNYCH I EKONOMICZNYCH

Statystyki wiertnicze mogą zostać zaprezentowane przez odpowiednio skonfigurowaną grupę tabel i wykresów. Śledzenie trendów i ich komentowanie to domena analityków wiertniczych, którzy powinni znaleźć się w każdym zespole realizującym wymagający projekt. Najbardziej użyteczna jest graficzna forma obrazowania pozyskiwanych i raportowanych informacji. Analiza danych wiercenia jest terminem powszechnie używanym do opisu tych czynności, które obejmują wykorzystanie danych wiercenia w celu optymalizacji procesu, zapewnienia wyższej jakości i wydajności wiercenia. Wydajność wiercenia może oznaczać różne rzeczy w różnych okolicznościach: wyższy postęp liniowy, krótsze przestoje, rozpoznawanie lub unikanie zdarzeń niezgodnych z projektem czy też osiągnięcie maksymalnej kwoty za metr zainstalowanego rurociągu.

Ilość danych, jaka jest generowana, monitorowana i archiwizowana umożliwia pozyskanie z procesu zupełnie nowej klasy informacji. Służą w tym celu inteligentne algorytmy, które pozwalają szybko sortować, klasyfikować i wyjaśniać to, czego nawet doświadczony inżynier może nie dostrzec. W ramach oceny danych zastosowanie znalazło kilka typów analiz, z których najpopularniejsza jest analiza opisowa. Odpowiada na pytanie: CO wydarzyło się w przeszłości? Polega ona na wykorzystaniu danych z zakończonych projektów wiertniczych. Analiza wskazuje na zdarzenia, które miały miejsce, choć niekoniecznie wyjaśniając, dlaczego. Z perspektywy projektu wiertniczego dane historyczne mogą odnosić się np. do mechanicznych i hydraulicznych parametrów procesu: typ narzędzia, siła naporu/siła ciągnięcia, obroty narzędzia, moment obrotowy, strumień tłoczonej płuczki, mechaniczna prędkość wiercenia w kontekście zastanych warunków geologicznych. Analiza pozwala przewidzieć, co się stanie, jeśli nie zmienimy

tego, co jest teraz. Użycie danego narzędzia i sprawdzonych parametrów pracy doprowadzi do powtórzenia efektów wiercenia (postępu prac, jakości otworu). Korzystanie z tego typu analizy wymaga zaangażowania inżyniera doświadczonego w interpretacji danych.

Dwie kolejne metody oceny to analiza diagnostyczna i analiza predykcyjna. Pierwsza umożliwia uzyskanie odpowiedzi na pytanie: DLACZEGO tak się stało? Przy takim podejściu punktem wyjścia jest istniejący stan w interesującym nas obszarze. Zmieniając ten stan, tworzy się projekt odpowiadający wymaganiom określonej przyszłości. Dla poprawnej analizy konieczna jest krytyczna ocena stanu faktycznego, a następnie zaprojektowanie nowego i bardziej skutecznego rozwiązania zakończonego wdrożeniem. Analiza powinna zakończyć się kontrolą i skomentowaniem wyników. Natomiast w podejściu prognostycznym tworzymy system idealny, który następnie sprowadza się do modelu technicznie wykonalnego i możliwego do praktycznego zastosowania. Skok jakościowy dokonany w następstwie analizy wynika z agregacji większej ilości danych pochodzących z wielu przeprowadzonych projektów, przez różne spółki wiertnicze.

PRZETWARZANIE DANYCH Z RAPORTÓW

Opracowanie codziennie tworzonych raportów i przekształcenie ich w bazy danych, arkusze kalkulacyjne i wykresy to zadanie, przed jakim stoją spółki wiertnicze i firmy doradcze. Realizacja tego zadania jest wysiłkiem, inwestycją i kosztem zarazem. Można zadać pytanie: „W jaki sposób nakłady poczynione na wieloparametrowe analizy wpłyną na pozytywnie na wynik finansowy firmy? Istnieje pięć możliwości:

- zarabiać szybciej (szybciej wiercić), otrzymując pieniądze od inwestora wcześniej niż założono w harmonogramie;
- wydawać mniej, aby zarobić tę samą kwotę (wiercić taniej);
- zarabiać więcej na skutek wdrożonych innowacji i wzrostu wydajności;
- oszczędzać na rzeczach, które się nie wydarzyły lub rzadziej się wydarzyły (awarie);
- prognozować, wcześniej wykrywać stany komplikacji i ich unikać poprzez zmianę pa-

rametrów wiercenia czy wdrażanie procedur profilaktycznych.

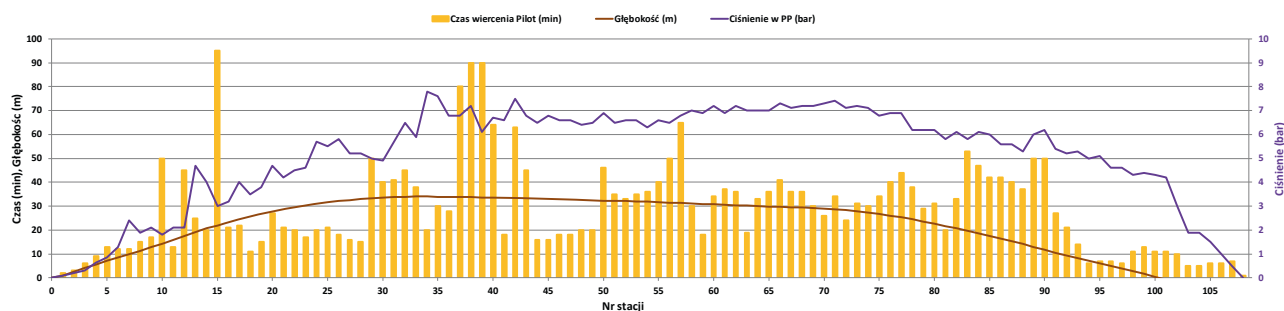
Analiza danych pozwala wiertnikom szybciej się uczyć, a tym samym szybciej osiągnąć optymalną wydajność. Pozwala też na wcześniejsze wprowadzanie innowacji do zaplano-

wanego procesu. Unikamy wtedy podejścia, w którym wykonujemy czynności schematycznie, gdyż jesteśmy do nich przyzwyczajeni i sądzimy, że to zawsze działa. Kierujemy się raczej w stronę procesu, w którym dąży się do ciągłej poprawy wydajności i redukcji kosztów. Tak rozumiana innowacja to ciągłe

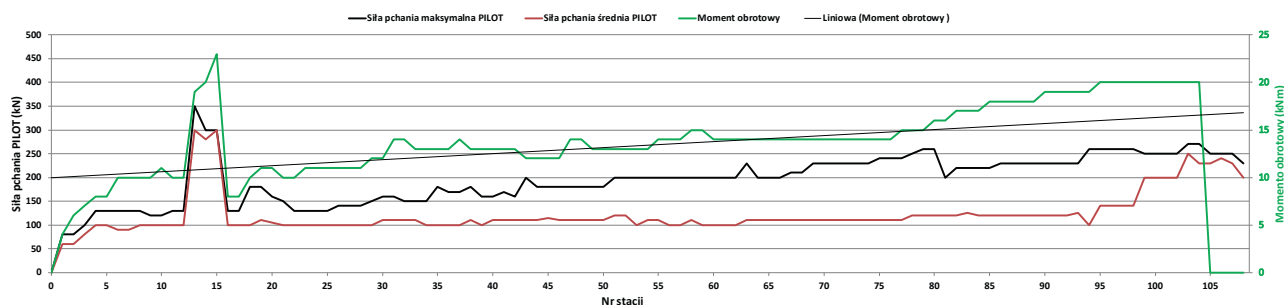
szukanie lepszych sposobów działania. Warto pamiętać, że niektóre dobre pomysły potrzebują do praktycznego wdrożenia życzliwego otoczenia. Idee, które dzisiaj jeszcze nie działają skutecznie, w przyszłości mogą znaleźć uzasadnienie na skutek postępu technologicznego.

Dane podstawowe							
Rurociąg	Długość otworu MD	HDI	Głębokość otworu TVD	MD : TVD	Średnica otworu	Pojemność otworu	Geologia
Gazociąg 40" (1016 mm)	1030 m	41 200	34 m	30,3	52" (1320 mm)	1410 m ³	glina, ił
Zastosowane rozwiązania techniczne							
Wiertnica	Pompa płucz-kowa	Przewód	BHA w fazie wiercenia pilo-towego	Nawigacja	Separacja faz	Pojemność systemu płucz-kowego	Typ płuczki
3000 kN 120 kNm	2 x 2500 l/min	6 5/8" FHDS Range 2	Motor 8" NMDC 8"	Paratrack APWD	2 x 2500 l/min	200 m ³	podwójnie inhibitowana
Etap pracy/średnica narzędzia/czas pracy na spodzie (netto)/czas wiertniczy (brutto)							
Pilot	Poszerzanie I	Poszerzanie II	Poszerzanie III	Poszerzanie IV	Kalibracja	Instalacja	Σ
14 3/4" (375 mm)	28" (711 mm)	36" (914 mm)	46" (1168 mm)	52" (1320 mm)	50"/52" (1270 mm/1320 mm)	44" (1118 mm)	
52,8 godz.	46,0 godz.	55,5 godz.	51,9 godz.	37,5 godz.	7,9 godz.	3,5 godz.	255,1 godz.
100 godz.	87 godz.	76 godz.	75 godz.	63 godz.	15 godz.	12 godz.	428 godz.
Postęp wiercenia (liniowy)							
19,5 m/ godz. 0,32 m/min	22,4 m/godz. 0,37 m/min	18,6 m/godz. 0,31 m/min	19,8 m/godz. 0,33 m/min	27,6 m/godz. 0,46 m/min	130,4 m/godz. 2,17 m/min	294,3 m/godz. 4,90 m/min	
Objętości zwiercane w marszu/wydajność wiercenia							
120 m ³	290 m ³	265 m ³	425 m ³	310 m ³	-	-	1410 m ³
37,9 l/min	105,1 l/min	79,6 l/min	136,5 l/min	137,7 l/min	-	-	92,1 l/min
Objętość cyrkulacji w marszu / średni strumień przepływu							
4665 m ³	7185 m ³	11 100 m ³	10 625 m ³	7410 m ³	1320 m ³	335 m ³	42 640 m ³
1470 l/min	2 610 l/min	3330 l/min	3350 l/min	3300 l/min	2780 l/min	1590 l/min	2785 l/min
Dystrybucja czasu – łącznie 708 godz./procentowy udział w czasie całkowitym							
Prace wiertnicze				Prace pomocnicze		Czas nieproduktywny	
Pilot	Poszerzanie	Cyrkulowanie kondycjono-wanie	Kalibracja Instalacja	Wyciąganie zapuszczanie	Skręcanie rozkręcanie	Prace pozostałe	Awarie
100 godz.	301 godz.	10 godz.	27 godz.	44 godz.	45 godz.	146 godz.	35 godz.
14,1%	42,5%	1,4%	3,8%	6,2%	6,4%	20,7%	4,9%
Wskaźniki technologiczne							
Udział pracy na spodzie	Udział prac wiertniczych	Udział prac pomocniczych	Udział czasu nieproduktyw-nego	Wydajność wiercenia net-to/brutto	Całkowita ilość godzin/ zmian	Produktywność na godzinę/ zmianę	Średnia cyrkula-cja na godzinę/ zmianę
36,03%	61,87%	12,57%	25,56%	5,52 m ³ / godz.	708 godz.	1,45 m	60,2 m ³
Σ	100%			1,99 m ³ / godz.	59 zmian	17,46 m	723 m ³

TAB. 4. | Zestawienie parametrów techniczno-technologicznych projektu HDD



RYS. 1. | Zestawienie czasów wiercenia i ciśnienia dennego APWD dla poszczególnych stacji pomiarowych dla fazy wiercenia pilotowego



RYS. 2. | Zestawienie rejestrowanych obciążeń przewodu wiertniczego dla fazy wiercenia pilotowego

ANALIZA RZECZYWISTEGO PROJEKTU

W tab. 4 zestawiono parametry realnego projektu zrealizowanego przez czołową polską firmę wiertniczą w pierwszej połowie 2019 r. Projekt polegał na przekroczeniu rzeki na dystansie 1 km w celu instalacji gazociągu wysokiego ciśnienia DN1000. Na podstawie szeregu typów raportów wiertniczych, w tym zwłaszcza raportów wiertacza, raportów technologicznych oraz raportów wiercenia kierunkowego, dokonano w formie graficznej zestawienia parametrów procesu wiercenia, postępu prac w poszczególnych fazach projektu oraz dystrybucji czasu.

WIERCENIE PILOTOWE – 16 ZMIAN ROBOCZYCH (12 GODZ.)

Otwór pilotowy został wywiercony zestawem silnika węglowego wyposażonego w świder trójgryzowy o średnicy 14 3/4" (375 mm). W tej fazie robót uzyskano średni postęp liniowy na poziomie 0,32 m/min przy zawartości fazy stałej blisko 3%. Czas wiercenia dla poszczególnych stacji wahał się pomiędzy 15 a 90 minut. Warunki geologiczne zostały rozpoznane w postaci zwartych glin i iłów (80% długości

otworu) oraz piasków ze żwirem w sekcji górnej otworu (20%). Poziom ciśnienia mierzono w przestrzeni pierścieniowej otworu na całym monitorowanym odcinku utrzymywał się poniżej wartości oczekiwanych ze średnim gradientem ciśnienia cyrkulacyjnego na poziomie 0,4 bar/100 m. Prawidłowy obieg płuczki w otworze został podtrzymany do stacji nr 102 (MD = 970 m). Nie zanotowano istotnych komplikacji technicznych. Obciążenia przewodu wiertniczego wyniosły w końcowej fazie wiercenia: siła pchnięcia 200 – 300 kN, moment obrotowy 20 kNm.

POSZERZANIE I – 10 ZMIAN ROBOCZYCH

Otwór pilotowy został poszerzony w pierwszym kroku za pomocą narzędzia o średnicy 28" (711 mm) pchanego od punktu wejścia do punktu wyjścia. Średni postęp liniowy na tym etapie wyniósł 0,37 m/min, przy czym w najtrudniejszych sekcjach nie spadał poniżej 0,15 m/min. Wydajność dzienna wiercenia oscylowała wokół 30 m³/zmianę roboczą przy wydatku pompy płuczkowej 2700 l/min. Średnia koncentracja fazy stałej wynosiła 2,5% objętościowo. Średni moment obrotowy w sekcji iłowej nie przekraczał 50 kNm przy limitowanym nacisku

na narzędzie wierzące. Prawidłowy obieg płuczki w otworze został zareportowany w trakcie całego marszu.

POSZERZANIE II – 8 ZMIAN ROBOCZYCH

Drugi marsz poszerzający wykonano w trybie PULL za pomocą narzędzia o średnicy 36" (914 mm). Średni postęp liniowy na tym etapie wyniósł 0,31 m/min. Wydajność dzienna wiercenia znajdowała się w przedziale od 20 do 40 m³/zmianę roboczą przy wydatku pompy płuczkowej 3300 l/min. Do otworu załączono 11 tys. m³ płuczki wiertniczej. Nie zaobserwowano problemów z cyrkulacją płuczki w otworze. Średni moment obrotowy w sekcji głębokiej otworu

Budowanie kompetencji personelu, budowanie baz danych i zarządzanie nimi to potencjalne i często niedoceniane źródła wzrostu firmy wiertniczej

pozostawał w zakresie od 45 do 50 kNm.

POSZERZANIE III – 11 ZMIAN ROBOCZYCH

Kolejny marsz poszerzający wykonano za pomocą narzędzia o średnicy 46" (1168 mm). Średni postęp liniowy na tym etapie wyniósł 0,33 m/min. Wydajność dzienna wiercenia przekraczała 45 m³/zmianę roboczą przy wydatku pompy płuczkowej 3300 l/min. Dzienna cyrkulacja dla trzech zmian przekroczyła 1600 m³/12 godz. Nie zanotowano strat węglanych płuczki w tej fazie. Średni moment obrotowy pozostawał w trendzie bocznym i mieścił się w wąskim przedziale poniżej 45 kNm.

POSZERZANIE IV – 8 ZMIAN ROBOCZYCH

Dla finalnego poszerzania zaplanowano narzędzie o średnicy 52" (1320 mm) pozwalające na uzyskanie 30% nadkładu średnicy w stosunku do średnicy rurociągu, co jest warunkiem koniecznym i wynikającym z planu działania spółki wiertniczej. Postęp liniowy wiercenia osiągnął rekordowe 0,46 m/min, co w przeliczeniu na wydajność wiercenia daje 137 litrów odspojonej formacji na minutę pracy na spodzie otworu. Podobnie jak w przypadku poprzednich marszy poszerzających,

HDD zmienia się dzięki nowym typom sprzętu wiertniczego, nowym koncepcjom, dłuższym otworom, które stwarzają jednak nowe kategorie zagrożeń. Dla firm zajmujących się wykonawstwem robót HDD zarówno personel, jak i powierzony im sprzęt odróżniają jedną firmę od drugiej. Miarą konkurencyjności firmy jest liczba wykwalifikowanych pracowników do obsadzenia określonych stanowisk

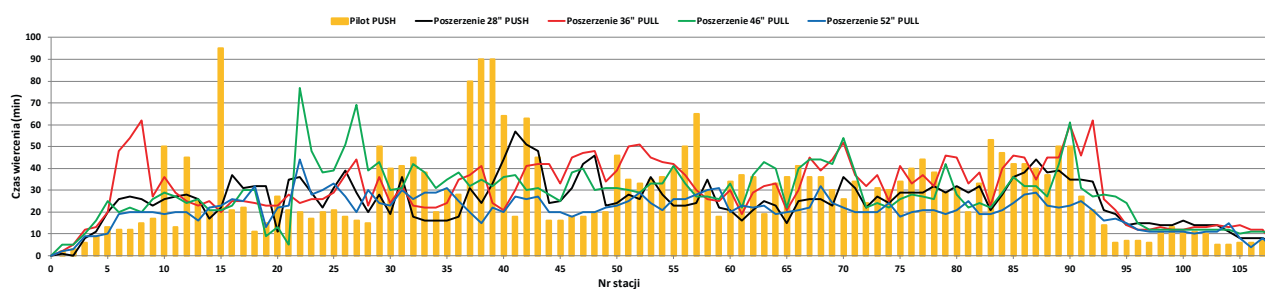
otwór okazał się w pełni szczelny.

KALIBRACJA OTWORU I PRZYGOTOWANIA DO INSTALACJI – 5 ZMIAN ROBOCZYCH

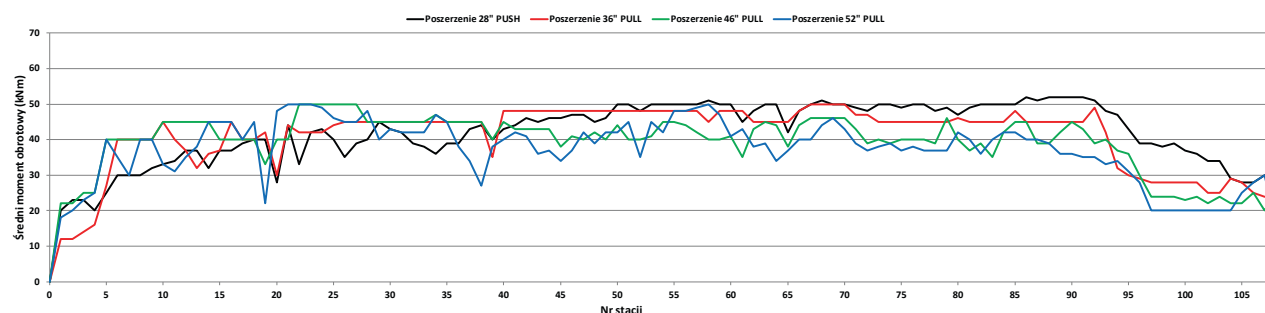
Po zrealizowaniu czterech kolejnych poszerzeń zaplanowano trwającą dwie zmiany robocze kalibrację otworu za pomocą zestawu narzędzi nominalnych w stosunku do średnicy otworu. Do otworu załoczono objętość płuczki równą jego pojemności. Po zakończeniu marszu zaraportowano 97% stopień oczyszczenia otworu z fazy stałej lub jej trwałego zawieszenia w suspensji. Obciążenia kalibracyjne mieściły się w założonym w planie wykonalności zakresie. Otwór otrzymał ocenę jakościową na poziomie 9,3 punktu według procedury ROE.

INSTALACJA RUROCIĄGU – 1 ZMIANA ROBOCZA

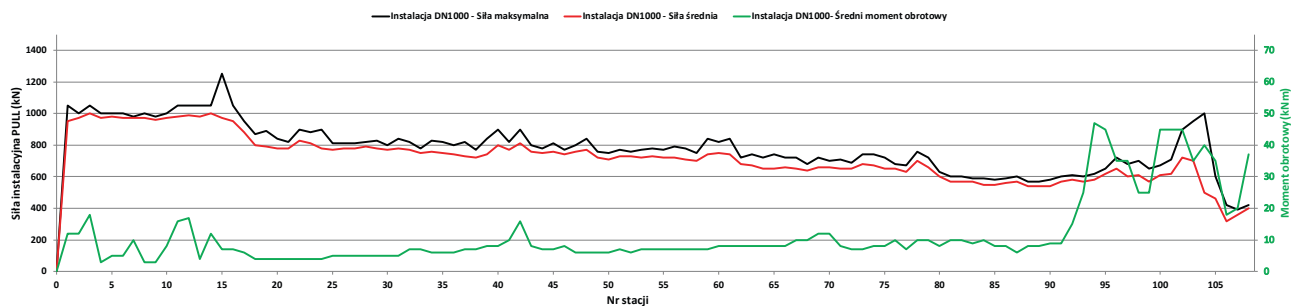
Ostatnia faza projektu przewidywała zainstalowanie w przygotowanym otworze rurociągu stalowego o średnicy 1016 mm i grubości ścianki 22,5 mm. Etap ten został zakończony pomyślnie po 10 godz. Średni postęp instalacji wyniósł 4,9 m/min. Rozkład średnich i maksymalnych sił osiowych zaprezentowano na rys. 5. Rurociąg był balastowany selektywnie wodą. Finalna siła instalacyjna wyniosła



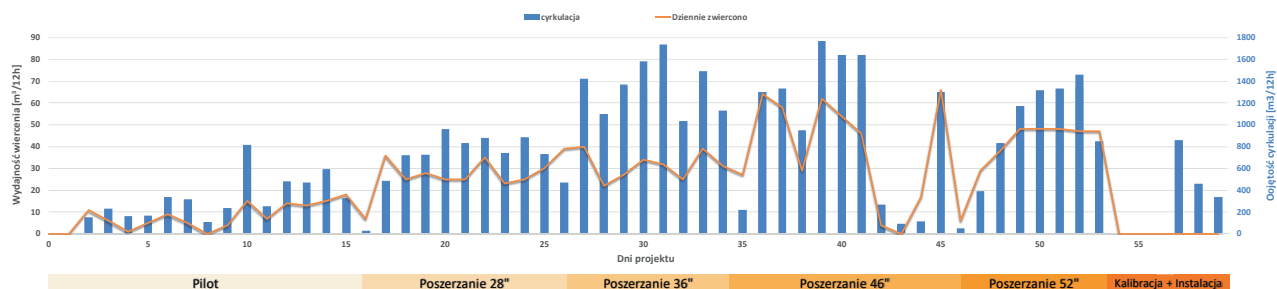
RYC. 3. Zestawienie czasów wiercenia poszczególnych stacji dla czterech marszy poszerzających w korelacji do wiercenia pilotowego



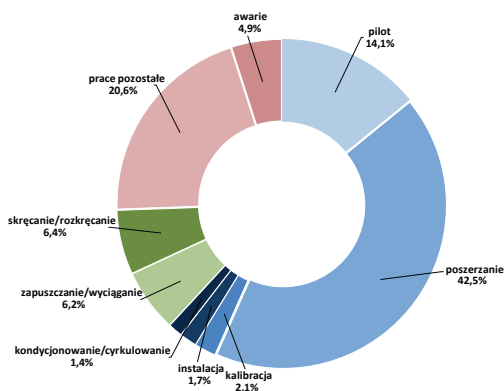
RYC. 4. Zestawienie średnich momentów obrotowych rejestrowanych w trakcie czterech marszy poszerzających



RYS. 5. Zestawienie obciążeń instalacyjnych dla poszczególnych stacji pomiarowych



RYS. 6. Produktowność procesu wiertniczego i dzienne objętości cyrkulacyjne dla poszczególnych faz robót



RYS. 7. Dystrybucja czasu pomiędzy operacjami wiertniczymi, operacjami pomocniczymi i czasem nieproduktywnym

950 kN, co przekłada się na uśrednione tarcie na powierzchnię poboczniczy rurociągu na poziomie 280 N/m². Wynik należy ocenić jako bardzo dobry w kontekście skali projektu.

BILANS PROJEKTU

Analizowany projekt należy do kategorii ekstremalnych (HDI > 40 000). Został zrealizowany w złożonych warunkach geologicznych w trakcie 59 zmian roboczych. Dane statystyczne zbierane na każdym etapie robót pozwalają na zobiektywizowaną ocenę czynności za pomocą ustandaryzowanych wskaźników techniczno-ekonomicznych. Wydajność wiercenia brutto podająca objętość wywierconego otwo-

ru w stosunku do ilości godzin poświęconych na fazę konstrukcyjną wynosi 2,0 m³/godz. Wydajność wiercenia netto odnosząca się do realnego czasu spędzonego na spodzie otworu wynosi 5,5 m³/godz. Procentowy udział czasu spędzonego na spodzie otworu do czasu całkowitego (708 godz.) wynosi 36%. Wszystkie wymienione tutaj wskaźniki pozwalają ocenić projekt jako jeden z najlepiej zrealizowanych w historii polskiego HDD. Na rys. 6 przedstawiono analizę dzienną produktywności procesu wiertniczego, zestawiając ją ze zdolnościami cyrkulacyjnymi. Grafika wskazuje na silną wzajemną korelację tych parametrów. Rys. 7 stanowi podsumowanie czasu spędzonego na poszczególnych czynnościach. Udział czynności podstawowych wyniósł 61,9%, czynności pomocniczych 12,6%, a pozostały czas nieproduktywny zajął 25,5%. Ostatni wskaźnik wskazuje na pewną rezerwę tkwiącą w czasie nieproduktywnym (ang. *Non-Productive Time*) ocenianą na 10% czasu całkowitego i kolejną rezerwę 5-10% określaną jako niewidoczny czas stracony (ang. *Invisible Lost Time*), którego redukcja mogłaby nastąpić na skutek wdrożenia zaawansowanych procedur optymalizacyjnych. Redukcja czasu operacyjnego o dziewięć zmian roboczych skutkowałaby wzrostem produktywności wiercenia brutto do poziomu 2,35 m³/godz.

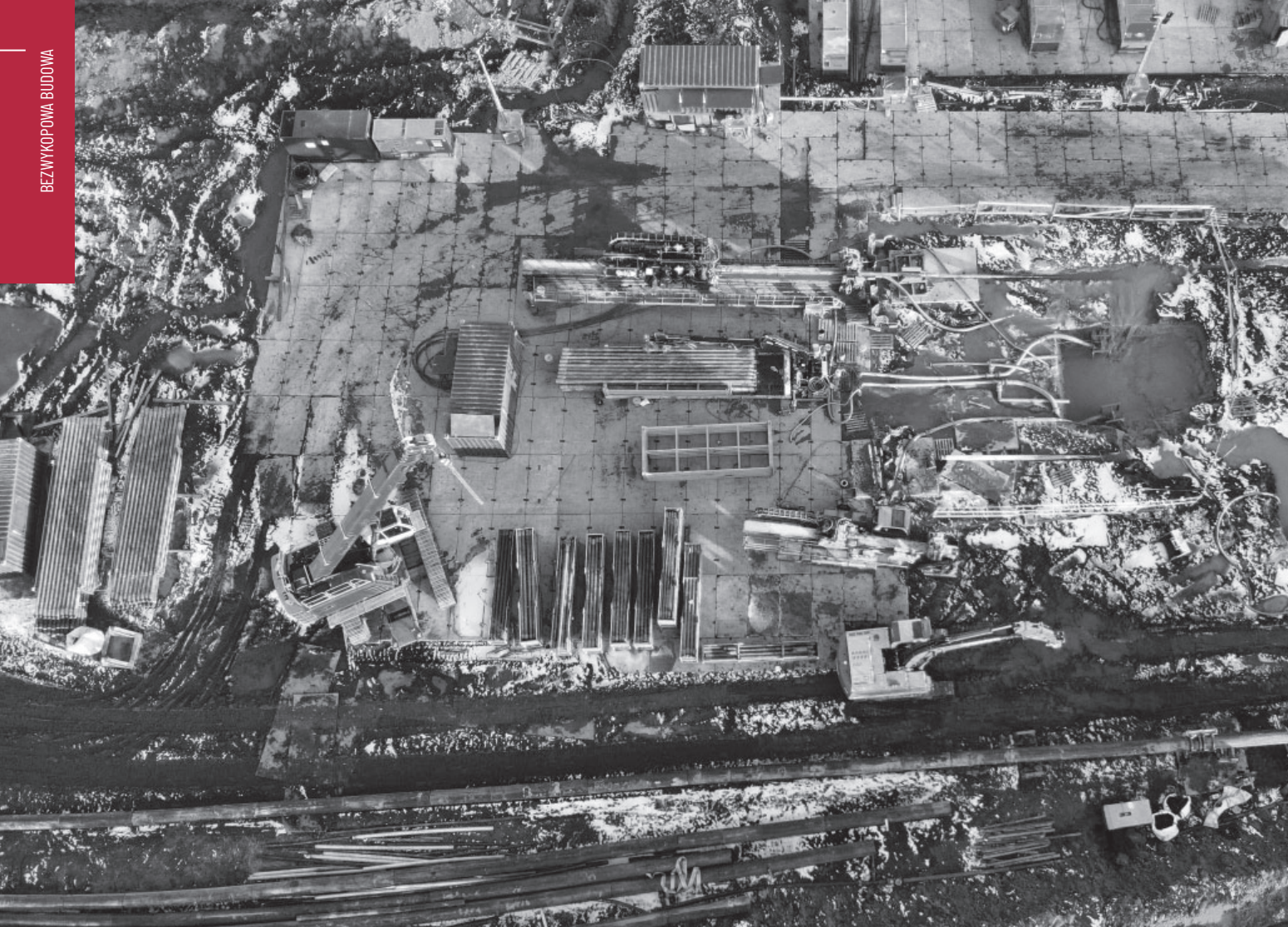
PODSUMOWANIE

Budowanie kompetencji personelu, budowanie baz danych i zarządzanie nimi to potencjalne i często niedoceniane źródła wzrostu firmy wiertniczej. Celem firmy jest uzyskanie jak największego zwrotu z inwestycji. Cel ten można osiągnąć na jeden z trzech sposobów: zwiększenie produktywności procesu poprzez skrócenie czasu operacji wiertniczych dla osiągnięcia otworu o wymaganej jakości, zwiększenie ilości zrealizowanych kontraktów dostępnym sprzętem w ciągu roku na skutek poprawy wydajności, osiąganie wyższych cen za swoje usługi w efekcie zyskania niepodważalnej reputacji firmy kompetentnej i niezawodnej. Omówione w niniejszym artykule czynniki wpływu: kompetencje i wysokiej jakości informacja techniczna wpływają pozytywnie na skuteczność działań i koszty operacyjne, co z kolei prowadzi do zwiększenia przychodów i wyższej rentowności. |

W najbliższych numerach kwartalnika „Inżynieria Bezwykopowa” zostaną opublikowane kolejne części artykułu poświęcone następującym zagadnieniom:

Część 9: Zarządzanie projektem. Harmonogram i budżet

Część 10: Słownik terminów i skrótów wiertniczych

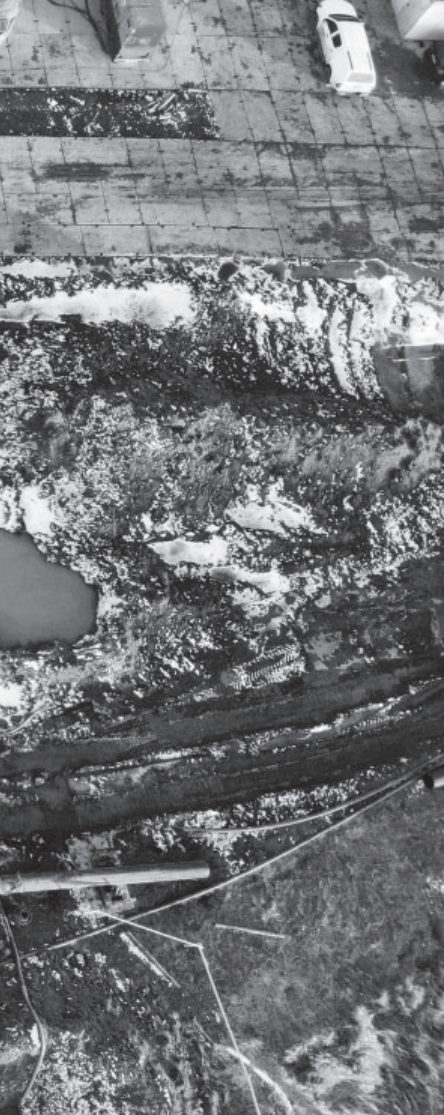


BEZWYKOPOWA BUDOWA

PLANOWANIE I REALIZACJA PROJEKTÓW HDD

CZĘŚĆ IX: ZARZĄDZANIE PROJEKTEM – HARMONOGRAM, BUDŻET, JAKOŚĆ I RYZYKO

Projekt wiertniczy jest przedsięwzięciem tymczasowym podjętym w celu stworzenia unikatowego produktu, usługi lub osiągnięcia wyniku technicznego. Jednym z głównych problemów, przed jakim stoją menedżerowie projektów, jest zharmonizowanie zakresu prac konstrukcyjnych z ich kosztami przewidzianym w kontrakcie, z czasem ich trwania, wymaganą jakością i akceptowalnym poziomem ryzyka



ROBERT OSIKOWICZ
ROE

(ur. 1966), absolwent Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Zajmuje się technologią wiercenia otworów kierunkowych i praktycznymi aplikacjami płynów wiertniczych w otworach różnego przeznaczenia. Jest autorem ponad 20 referatów wygłoszonych na międzynarodowych konferencjach technicznych, a także szeregu publikacji dotyczących konfiguracji sprzętu, optymalizacji techniki wiercenia, analiz rynku technologii bezwykopowych, zarządzania jakością i ryzykiem w działaniach wiertniczych, tworzenia harmonogramów i budżetów projektów. Od 2009 r. pracuje dla firmy Robert Osikowicz Engineering. Firma jest członkiem międzynarodowej branżowej organizacji wiertniczej Drilling Contractors Association (DCA-Europe).

Osiągnięcie wszystkich celów projektu, związanych z harmonogramem, budżetem, jakością i ryzykiem, jest trudne, ponieważ parametry te są powiązane ze sobą w taki sposób, że zmiana jednego wpływa na pozostałe. Często konieczne jest zawieranie kompromisów w celu pogodzenia interesów (wymagań) inwestora z interesem (możliwościami) wykonawcy. Zakres realizacji projektu jest równie ważny jak zakontraktowany harmonogram i budżet. Inwestor na ogół zainteresowany jest nie tylko samą instalacją rurociągu, ale także jego stanem technicznym, wynikającym z osiągniętej jakości procesu, skuteczności wdrożonych procedur technicznych, zgromadzonych zasobów ludzkich i kapitałowych. Do tych ostatnich, poza sprzętem i technologią, zalicza się też kapitał ludzki, czyli zakumulowanie umiejętności i wiedzy ludzi nabytej dzięki edukacji i szkoleniu.

Poprzednie artykuły naszego cyklu poświęcone były w znacznym stopniu ocenie zakresu prac wiertniczych i niezbędnym zasobom, które należy zgromadzić (zapewnić) do realizacji zaplanowanego zadania. W bieżącym artykule położymy nacisk na interpretację kolejnych pojęć występujących w teorii zarządzania projektami wiertniczymi, takimi jak: czas (harmonogram), koszt (budżet), jakość, ryzyko i zadowolenie klienta.

TEORIA WZAJEMNYCH OGRANICZEŃ

Projekt to zadanie o zdefiniowanym wymiarze, ograniczone m.in. zakresem, czasem, kosztami i jakością. Jego sukces zależy od tego, jak dobrze te ograniczenia są zrównoważone. Niepewny jest nie sukces technologiczny, ale to, ile będzie kosztowało jego osiągnięcie i ile czasu zajmie.

Bardzo często zarządzający projektem starają się zoptymalizować jakość działań wiertniczych w określonym przez kontrakt terminie i uzgodnionym budżecie. Każde działanie niesie za sobą przy tym ryzyko (niepewność lub szansę), które trzeba zdefiniować, ocenić i nauczyć się nim zarządzać. Dlatego więc profesjonalne monitorowanie kosztów, harmonogramu, jakości prac i ryzyka operacyjnego uznawane jest za pod-

stawowe źródło sukcesu projektu i warunek niezbędny dla utrzymywania dobrych relacji na linii inwestor (klient)–nadzór inwestorski–generalny wykonawca robót rurociągowych–wykonawca robót wiertniczych. Koncepcja o wzajemnej zależności pomiędzy czterema ograniczeniami nie jest niczym nowym, tym niemniej jej prawidłowe zrozumienie i wdrożenie w praktyce wciąż nastrocza problemów nawet doświadczonym firmom działającym w branży wiertniczej. Podczas wdrażania koncepcji kluczowe wydaje się pytanie, jak uszeregować cztery ograniczenia w ramach konkretnego zadania. To od oceny stopnia oryginalności i złożoności projektu będzie zależała przyjęta hierarchia. Jeśli dobra usługa ma być dostępna szybko, to prawdopodobnie nie będzie tania. Jeśli ktoś obiecuje szybki dostęp do taniej usługi, to prawdopodobnie ucierpi na tym jakość.

Wzmiankowane powyżej pojęcia są często konkurującymi ograniczeniami. Zwiększony zakres zwykle oznacza dłuższy czas oraz zwiększony koszt. Ścisłe ograniczenie czasowe może oznaczać wzrost kosztów i często zmniejszony zakres robót. Napięty budżet może oznaczać dłuższy czas oraz ograniczenia w zakresie realizacji.

Wydajność projektu mierzy się trzema kryteriami. Czy projekt jest na czas, czy też notuje opóźnienia? Czy projekt przeprowadzony jest w budżecie, czy poza budżetem? Czy projekt zapewni uzgodnione wyniki ku zadowoleniu inwestora? Wydajność projektu jest mierzona stopniem, w jakim cele zostały osiągnięte. Jeden z tych celów, zakres, jest ustalany przede wszystkim przez klienta.



RYS. 1.1 Składowe procesy zarządzania projektami wiertniczymi

Jakość jest odrębnym i wyraźnym celem projektu na równi z czasem, kosztami i zakresem. Wymagania dotyczące jakości są nieodłączną częścią specyfikacji istotnych warunków zamówienia.

ZARZĄDZANIE PROCEDURAMI

Jak już wspomniano na wstępie, projekt wiertniczy to przedsięwzięcie mające na celu stworzenie unikatowego produktu. Wiercenie otworu jest przedsięwzięciem, a produktem tego projektu jest podziemna instalacja rurociągową o potencjalnie bardzo różnych zastosowaniach. Właściwe zaplanowanie każdego przedsięwzięcia jest kluczem do optymalizacji operacji i minimalizacji wydatków.

Pod pojęciem zarządzanie projektem wiertniczym rozumie się złożoną, interdyscyplinarną wiedzę ekspercką związaną z kluczowymi dziedzinami, takimi jak: inżynieria wiertnicza, geologia, bezpieczeństwo i higiena pracy, logistyka, zarządzanie zasobami i procesami. Jej stosowanie jest zalecane we wszystkich etapach życia projektu, za jakie można uznać: planowanie i analizę danych, programowanie działań, mobilizację, etap wiertniczy, etap testów, demobilizację, monitoring i kontrolę działań oraz finalizację kontraktu. Zarządzanie projektem wiertniczym odbywa się poprzez zrównoważenie wzajemnie konkurencyjnych wymagań dotyczących jakości, zakresu, czasu i kosztów. Jeśli uznamy jednak, że najważniejszym czynnikiem decydującym o powodzeniu projektu jest czas, wszystkie wysiłki powinny być ukierunkowane na skrócenie czasu trwania operacji.

Zarządzanie projektami polega na wykonywaniu zadań. Chodzi w nim o to, aby dokładnie wiedzieć, co chcemy osiągnąć, jak to zamierzamy osiągnąć i jak długo to zajmie. Ważne jest, aby strategia przewidywana dla danego projektu wiertniczego była znana z wyprzedzeniem, aby można było wdrożyć odpowiednie kroki i procedury do zarządzania procesem. Wiercenie powinno odbywać się bezpiecznie, terminowo i skutecznie oraz w taki sposób, aby podejmowanie decyzji nie było opóźnione.

Im większa złożoność projektu i im bar-

dziej zróżnicowane są oczekiwania zainteresowanych stron, tym bardziej potrzebne jest wyrafinowane podejście. Wszyscy zaangażowani w projekt powinni mieć te same priorytety, aby odnieść sukces. Z tego wynika, że dla uzyskania satysfakcjonującej efektywności działania potrzebny jest wysiłek zespołowy.

W wyniku zarządzania procesem tworzonych jest wiele dokumentów niezbędnych z punktu widzenia legalnego, bezpiecznego i sprawnego działania. Zakres prowadzonych czynności, tworzonej dokumentacji i raportów technicznych będzie uzależniony od klasy (skali) projektu. W tab. 1 zestawiono szereg działań projektowych i wymagań z nimi związanych.

Jeśli dobra usługa ma być dostępna szybko, to prawdopodobnie nie będzie tania. Jeśli ktoś obiecuje szybki dostęp do taniej usługi, to prawdopodobnie ucierpi na tym jakość

KLUCZOWE WSKAŹNIKI EFEKTYWNOŚCI KPI

Termin KPI (ang. *Key Parameters Indicators*) stosowany jest w teorii zarządzania projektami jako miernik stopnia realizacji celów. Liczbowe wskaźniki mogą być oparte na analizie danych technicznych lub/i analizie danych finansowych. Ostatnio KPI odegrały ważną rolę we wspieraniu inżynierii wiertniczej. Ich głównym celem jest zapewnienie ciągłej oceny wydajności procesu (projektu) na wielu poziomach. Na ogół wskaźniki te porównywane są do referencyjnego poziomu odniesienia dla danej klasy projektów czy klasy urządzeń wiertniczych. Główne aplikacje KPI obejmują: identyfikację bieżącej wydajności, identyfikację obszarów wymagających poprawy, wyznaczanie celów i wdrażania działania służą-

cego osiągnięciu celów. Wśród najbardziej popularnych i użytecznych wskaźników KPI znajdują się:

- wydajność tworzenia otworu brutto, m³/godz. (iloraz aktualnej pojemności otworu w stosunku do czasu trwania robót wiertniczych);
- wydajność tworzenia otworu netto, m³/godz. (iloraz aktualnej pojemności otworu w stosunku do czasu pracy narzędzi na spodzie otworu);
- stosunek czasu pracy narzędzi na spodzie otworu do czasu trwania robót wiertniczych, %;
- wskaźnik średniej dziennej objętości cyrkulacji, m³/12 godz.;
- udział czasu poświęconego na podstawowe operacje wiertnicze (wiercenie pilotowe, poszerzanie otworu, kalibracja, cyrkulowanie w otworze, instalacja rurociągu), %;
- udział czasu nieproduktywnego NPT, %;
- udział czasu straconego na awarie sprzętowe i wiertnicze, %;
- czas potrzebny na mobilizację i demobilizację systemu wiertniczego, dni;
- odchylenie od założonego harmonogramu dla każdej z faz projektu, dni;
- obciążenia notowane na przewodzie wiertniczym (T&D) na każde 100 m otworu;
- koszt działań wiertniczych na zmianę roboczą, PLN/12 godz.;
- koszt działań wiertniczych na 1 m instalacji, PLN/m.

Podstawą do wyznaczania wskaźników KPI są tworzone na bieżąco bazy danych. Bazy danych są pochodną raportów wiertniczych i zapisów z rejestratorów parametrów wiercenia. W zarządzaniu projektami wiertniczymi doskonale sprawdza się też analiza porównawcza (ang. *Benchmarking*). Pozwala ona na porównywanie praktyk i osiągnięć firm działających na rynku w stosunku do podmiotów uznawanych za najlepsze w analizowanej dziedzinie. Wynik takiej analizy może posłużyć do doskonalenia procedur i unikania błędów popełnianych przez inne firmy. Benchmarking to szansa na szybsze uczenie się i twórcze adaptowanie najlepszych rozwiązań. Baza danych KPI może służyć jako materiał dla analiz porównawczych. Wyniki analizy pozwalają przewidzieć czas

Działanie	Kategoria projektu wg HDI				
	< 5.000	5.000–10.000	10.000–20.000	20.000–40.000	> 40.000
Projektowanie prac					
Analiza geologiczna	rekomendowana w formie uproszczonej opinii geotechnicznej	zalecana w formie rozbudowanej opinii geotechnicznej	zalecana w formie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej		
Analiza ciśnień dopuszczalnych i ciśnień wgłębných	rekomendowana	wymagana jako rozdział w projekcie wykonawczym		wymagana jako rozdział zarówno w projekcie, jak i w analizie wykonalności	
Analiza zgodności profilu z wytycznymi branżowymi	rekomendowana	wymagana jako rozdział w projekcie wykonawczym		wymagana jako rozdział zarówno w projekcie, jak i w analizie wykonalności	
Szacowanie budżetu	nie stawia się wymagań		rekomenduje się wykonanie analizy bazującej na doświadczeniach i wycenach wykonawców o udokumentowanych referencjach		
Wstępna analiza obciążeń instalacyjnych	nie stawia się wymagań		wymagana jako rozdział zarówno w projekcie, jak w analizie wykonalności		
Wstępna analiza ryzyka	nie stawia się wymagań		wymagana jako rozdział zarówno w projekcie, jak i w analizie wykonalności		
Ocena projektu i planowanie działań wiertniczych					
Ocena analizy geologicznej	rekomendowana w formie uproszczonej oceny		wymagana jako rozdział w planie wykonalności		
Weryfikacja profilu wiercenia	rekomendowana w formie uproszczonej oceny		wymagana jako rozdział w planie wykonalności		
Weryfikacja analizy ciśnień	nie stawia się takiego warunku	rekomendowana w formie uproszczonej oceny	wymagana jako rozdział w planie wykonalności		
Selekcja urządzeń wiertniczych	rekomendowana w formie uproszczonej oceny		wymagana jako rozdział w planie wykonalności		
Selekcja elementów obiegu płuczkowego	rekomendowana w formie uproszczonej oceny		wymagana jako rozdział w planie wykonalności		
Selekcja przewodu wiertniczego	nie stawia się takiego warunku	rekomendowana w formie uproszczonej analizy		wymagana jako rozdział w planie wykonalności	
Selekcja narzędzi wiertniczych	nie stawia się takiego warunku	rekomendowana w formie uproszczonej analizy		wymagana jako rozdział w planie wykonalności	
Analiza TQ and DRAG	nie stawia się takiego warunku		rekomendowana w formie uproszczonej analizy	wymagana jako rozdział w planie wykonalności	
Program płuczkowy	nie stawia się takiego warunku	rekomendowana w formie uproszczonej analizy		wymagana jako rozdział w planie wykonalności	
Ocena konsumpcji wody i materiałów płuczkowych					
Hydraulika wiertnicza	nie stawia się takiego warunku		zalecana w formie uproszczonej analizy		
Program wiercenia	nie stawia się takiego warunku		wymagana jako rozdział w planie wykonalności		
Program zarurowania otworu	nie stawia się takiego warunku			zalecana w formie analizy potrzeb i możliwych rozwiązań technicznych	
Szczegółowa analiza obciążeń instalacyjnych	nie stawia się takiego warunku		wymagana jako rozdział w planie wykonalności		
Serwisy wiertnicze	nie stawia się takiego warunku			wymagana jako rozdział w planie wykonalności	
Weryfikacja wymagań środowiskowych	nie stawia się takiego warunku	zalecana w formie uproszczonej analizy			
Tworzenie list wymaganego personelu	zalecane w formie uproszczonego zestawienia		wymagane jako rozdział w planie wykonalności		
Tworzenie harmonogramu	nie stawia się takiego warunku	rekomendowane w formie uproszczonej analizy	wymagane jako rozdział w planie wykonalności		

TAB. 1. | Zestawienie potencjalnych działań projektowych z podziałem na fazy robót i kategorie projektów wiertniczych

Tworzenie budżetu, zapewnienie źródeł finansowania	nie stawia się takiego warunku	rekomendowane w formie uproszczonej analizy	rekomendowane w formie rozbudowanej analizy
Analiza ryzyka	nie stawia się takiego warunku	rekomendowane w formie uproszczonej analizy	wymagane jako rozdział w planie wykonalności
Wstępne założenia do analizy jakościowej	nie stawia się takiego warunku	rekomendowane w formie uproszczonej analizy	wymagane jako rozdział w planie wykonalności
Logistyka materiałów i urządzeń	rekomendowane w formie uproszczonej analizy		rekomendowane w formie rozbudowanej analizy
Określenie standardów bezpieczeństwa	wytyczne zgodne z wewnętrznymi regulacjami firmy	wytyczne zgodne z przyjętymi standardami branżowymi	wymagane jako rozdział w planie wykonalności

Realizacja projektu			
Kolaudacja projektu	zgłoszenie do właściciela projektu	wymagany odbiór przez kierownika robót budowlanych (wiertniczych)	wymagany odbiór przez inspektora nadzoru (WNI)
Monitoring procesu	nie stawia się takiego warunku	według standardów spółki wiertniczej	według standardów przemysłu HDD
Kontrola harmonogramu	nie stawia się takiego warunku	według standardów spółki wiertniczej	według standardów przemysłu HDD w formie ustalonych kamieni milowych (etapów prac)
Tworzenie raportów dziennych	nie stawia się takiego warunku	rekomendowane w formie uproszczonych wzorów	rekomendowane w formie analizy szczegółowej
Tworzenie bieżących analiz technicznych	nie stawia się takiego warunku	rekomendowane w formie uproszczonych wzorów	wymagane w formie analizy szczegółowej
Optymalizacja działań wiertniczych	nie stawia się takiego warunku	rekomenduje się wdrażanie działań optymalizujących proces	wymagane dokumentowanie działań optymalizujących proces
Weryfikacja procedur bezpieczeństwa	wg standardów spółki wiertniczej	wg standardów spółki wiertniczej i wymagań klienta	wg standardów przemysłu HDD
Zarządzanie wodą technologiczną	rekomenduje się tworzenie uproszczonej dokumentacji potwierdzającej konsumpcję wody	rekomenduje się tworzenie dokumentacji potwierdzającej zużycie wody technologicznej i straty w otworze wiertniczym	
Zarządzanie fazą stałą i szlamem wiertniczym	rekomenduje się tworzenie uproszczonej dokumentacji potwierdzającej utylizację szlamu	rekomenduje się tworzenie dokumentacji potwierdzającej bilans fazy stałej oraz utylizację szlamu i urobku	
Zarządzanie ryzykiem	nie stawia się takiego warunku	wymagana analiza jakościowa	wymagana analiza jakościowa, rekomendowana analiza ilościowa
Końcowa ocena jakości otworu wiertniczego	wg standardów spółki wiertniczej	wg standardów spółki wiertniczej i wymagań klienta	Wg standardów przemysłu HDD
Bieżąca kontrola kosztów	nie stawia się takiego warunku	rekomendowane podsumowanie całego projektu	rekomendowane podsumowanie każdego z etapów projektu
Dzienne i tygodniowe mitingi techniczne	nie stawia się takiego warunku	rekomendowane okresowe rady budowy	wymagane codzienne odprawy techniczne i cotygodniowe rady budowy

Finalizacja projektu			
Tworzenie raportów końcowych	wymagany raport w zakresie przebiegu trajektorii	wymagany raport wiercenia pilotowego, wymagany raport z instalacji rurociągu	wymagany raport wiercenia pilotowego, zestawienie zbiorcze działań wiertniczych, raporty dotyczące obciążeń w trakcie wszystkich faz operacji wiertniczych
Przywracanie terenu do stanu pierwotnego	Obligatoryjne, zakres prac wynika z zapisów kontraktu		
Protokoły odbioru prac wiertniczych	rekomendowane	obligatoryjne, zakres dokumentów wynika z zapisów kontraktu	
Podsumowanie projektu w kontekście wcześniejszych zadań	nie stawia się takiego warunku	rekomendowane	wymagane
Tworzenie baz danych	nie stawia się takiego warunku	rekomendowane	wymagane
Transfer informacji do zainteresowanych stron	obligatoryjne, zakres przekazywanych informacji wynika z zapisów kontraktu		
Miting techniczny zamykający projekt	nie stawia się takiego warunku	rekomendowane	wymagane

TAB. 1 cd. | Zestawienie potencjalnych działań projektowych z podziałem na fazy robót i kategorie projektów wiertniczych

trwania projektu i ponoszone przez kontraktora koszty. Dzięki takiemu podejściu znana jest najskuteczniejsza metoda konfiguracji narzędzi i ustalania ich typoszeręgu, znany jest referencyjny rozkład pomiędzy podstawowym czasem wiertniczym, pomocniczym czasem wiertniczym i czasem nieproduktywnym (w którym nie dochodzi do działań związanych z kreowaniem postępu prac wiertniczych). Szczegółowa analiza poszczególnych faz projektu promuje określone działania oraz procedury, które poprawiają skuteczność działań (produktywność procesu). Wgląd w dystrybucję czasu nieproduktywnego NPT pozwala na wdrożenie środków zapobiegawczych i łagodzących skutki komplikacji.

ZARZĄDZANIE ZAKRESEM

Literatura przedmiotu definiuje zakres jako termin związany z rezultatem projektu, jako listę rzeczy, którą należy stworzyć, aby uzyskać oczekiwany wynik projektu. Listy kontrolne i weryfikacja zgodności stanu faktycznego z założeniami projektowymi oraz przyjętym planem wykonalności są używane w celu zapewnienia zakresu usługi i dla odpowiedniej płynności postępu prac. Zakres prac powinien być w zawartym kontrakcie czytelnie zidentyfikowany i precyzyjnie wymieniony. Rozszerzenie zakresu działań zwykle oznacza dłuższy czas i wyższy koszt. Dlatego, jeśli wykonawca robót wiertniczych pracuje w ramach ustalonego budżetu (ograniczenie kosztów), przy nieprecyzyjnie zdefiniowanym zakresie, a co za tym idzie, także harmonogramie (niedoszacowanym czasie), istnieje poważne ryzyko niedotrzymania zobowiązań kontraktowych lub też wykonawca poniesie na skutek realizacji przedsięwzięcia stratę finansową.

Zakres projektu może się zmieniać, zwłaszcza w realizacjach o długim czasie trwania. Zmiana zakresu powinna znaleźć odzwierciedlenie w zapisach umowy. Zarządzający projektem ma obowiązek dokumentować i analizować wszelkie zmiany wpływające na zakres. Jeśli zmiana zakresu wpłynie w istotny sposób na harmonogram i/lub budżet, należy niezwłocznie poinformować zainteresowane strony, aby właści-

we decyzje zostały podjęte. Zmiany zakresu projektu mogą wynikać zarówno z nowych wymagań inwestora, zmian organizacyjnych i prawnych, jak i ze zidentyfikowania nierozpoznanych dotąd warunków geologicznych. W trakcie realizacji zadania może okazać się, że zakresu w przyjętym kształcie nie można lub nie opłaca się realizować. Bezpośrednim skutkiem zmian zakresu powinna być renowacja kontraktu z klientem, w wyniku której nowe elementy zakresu zostają przyjęte do realizacji, a inne usunięte. W takim przypadku powstaje więc konieczność sformułowania nowego planu działań.

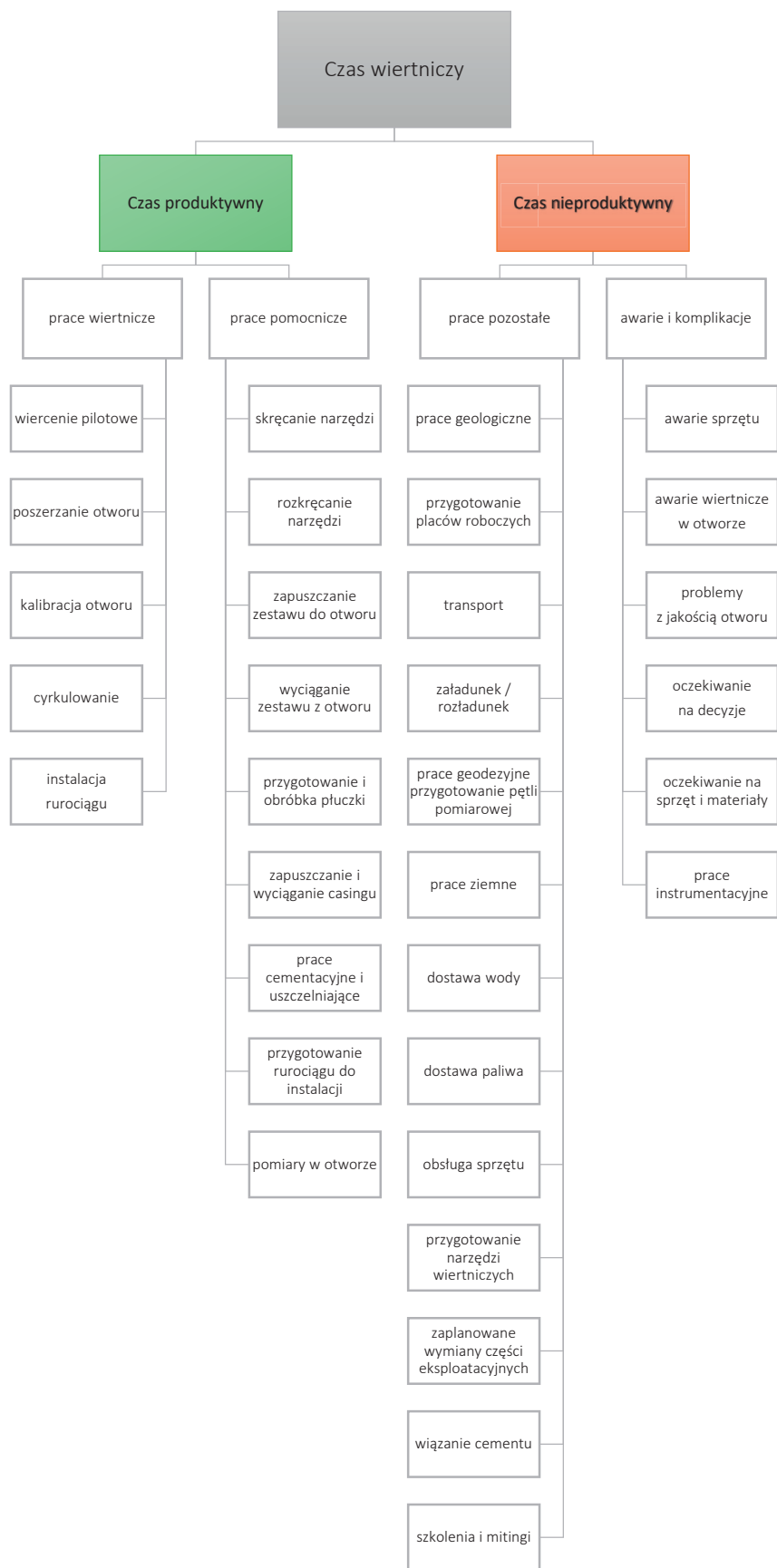
W przypadku realizacji projektu niepewny jest nie sukces technologiczny, ale to, ile będzie kosztowało jego osiągnięcie i ile czasu zajmie

ZARZĄDZANIE CZASEM

Zagadnienie to obejmuje wszystkie procesy i czynności zmierzające do terminowej realizacji zadania (zakończenia projektu). Opiera się zarówno na planowaniu, jak i na bieżącej kontroli wykonania harmonogramu. Zarządzanie czasem jest postrzegane jako krytyczny element dla każdego udanego projektu wiertniczego. Najczęstszą przyczyną przekraczania budżetów projektów jest brak zarządzania harmonogramem, w tym brak precyzyjnego zdefiniowania kamieni milowych. Każdy projekt można podzielić na wiele zadań (etapów). Część z nich musi być wykonywana sekwencyjnie, część może być realizowana równolegle z innymi. Aby przygotować projekt harmonogramu, menedżer projektu musi przewidzieć (zaplanować), jakie są zadania do zrealizowania na ścieżce krytycznej (najkrótszy czas trwania), jak długo będą trwać, jakich zasobów materialnych i intelektualnych wymagają i w jakiej kolejności powinny być wykonane. Jeśli kluczowym parametrem w danym projekcie jest czas, to jakość lub koszty powinny zostać zharmoni-

zowane. Jeśli finalizacja projektu powinna być przyspieszona, więcej zasobów powinno być wykorzystane w projekcie, co skutkować będzie w oczywisty sposób wyższymi nakładami. Zmiana czasu (harmonogramu) może wpłynąć zarówno na koszty, jak i jakość. Jeśli harmonogram projektu jest ciasny, a działania odbywać się będą pod presją czasu, należy rozważyć zaangażowanie większych (wyższej jakości) środków materialnych (w tym sprzętu i narzędzi wiertniczych) i być może większej ilości personelu dla uzyskania wymaganej produktywności procesu. Spowoduje to narastanie kosztów niezależnych od czasu trwania projektu i prawdopodobnie obniżenie niektórych kosztów silnie związanych z czasem. Istnieje korelacja pomiędzy czasem realizacji projektu a jego uzyskiwaną jakością. Próba nieracjonalnego skracania czasu w projektach o znacznym zakresie działania i wysokim stopniu komplikacji wiąże się na ogół z upraszczaniem procedur wiertniczych i ograniczaniem mechanizmów kontroli jakości (np. bezpieczne tempo wiercenia czy marsze kalibrujące w otworze). Może mieć to negatywny wpływ na zakres, jakość, poziom ryzyka i koszty, jeśli dojdzie do nieplanowanych komplikacji i awarii. Z kolei bardzo długa realizacja niekoniecznie będzie się wiązać ze wzrostem jakości. Przedłużenie nieuzasadnione czasu trwania projektu zwiększa ryzyko nieuzyskania zakładanego wskaźnika rentowności. Mając na uwadze powyższe, należy dążyć do równowagi pomiędzy czasem, kosztami, jakością i akceptowalnym ryzykiem.

Szacunki dotyczące czasu potrzebnego na realizację projektu wiertniczego mogą być opracowywane na wiele różnych sposobów, w zależności od skali działania oraz ilości szczegółów dostarczonych do modelu. Zrozumienie dostępnych metod szacowania, ich skuteczności i przydatności dla konkretnego projektu będzie miało w tym przypadku kluczowe znaczenie. Inżynier wykonujący estymację powinien zrozumieć metodę szacowania i okoliczności, w których należy ją zastosować, ponieważ żadna metoda szacowania nie rozwiązuje wszystkich problemów. Dostępną i stosowaną metodą jest **prognoza**. Ten typ szacowania opiera się na zawodowym doświadczeniu estymatora. Inna metoda



zakłada **korzystanie z danych projektów historycznych**. Jest ona stosunkowo dokładna pod warunkiem wybrania z historii firmy przypadków o podobnym zakresie technicznym, realizowanych w zbliżonych warunkach geologicznych. Trzecią spotykaną metodą jest **szacowanie parametryczne** bazujące na kilku kluczowych wskaźnikach wydajnościowych charakteryzujących proces wiertniczy. Uzasadniona statystycznie odpowiednio duża liczba przypadków pozwala wyznaczyć zakres czasowy przeznaczony na określony etap projektu. W wyniku podziału projektu na etapy i wykonanie szacunków proporcji produktywnego czasu wiertniczego (kiedy tworzymy otwór) w stosunku do czasu nieproduktywnego uzyskuje się informację o spodziewanej ilości godzin (zmian roboczych) wymaganych dla realizacji zadania. W czasie produktywnym znajdujemy zarówno czynności służące bezpośredniemu tworzeniu otworu i wykazujące postęp prac wiertniczych (prace podstawowe), jak i czynności uzupełniające, bez których bezpośredni proces wiertniczy nie może się odbyć (prace pomocnicze). Do czasu nieproduktywnego zaliczyć należy wszelkie czynności pozostałe związane z projektem oraz stany komplikacji i awarii technicznych. W czasie uznanym za nieproduktywny nie uzyskuje się postępu w pracach wiertniczych. Proporcje pomiędzy poszczególnymi segmentami spotykanymi w dystrybucji czasu pozwalają na ocenę jakości i wydajności projektu.

Zarządzanie projektem wiertniczym odbywa się poprzez zrównoważenie wzajemnie konkurencyjnych wymagań dotyczących jakości, zakresu, czasu i kosztów

W tab. 2 i 3 zaprezentowano próbę oszacowania harmonogramu bazującego na metodzie ustalenia ścieżki krytycznej warunkującej prawidłowy przebieg projektów realizowanych przez urządzenia klasy MAXI

RYS. 2. | Dystrybucja czasu produktywnego i nieproduktywnego

Etap	Objętość wywierconego otworu	Czas wyrażony w 12-godz. zmianach roboczych	Czas wyrażony w 12-godz. zmianach roboczych
warunki geologiczne		piasek 100%	głina 70% ił 30%
Przygotowanie i mobilizacja		10	10
Skręcanie BHA – pomiary geodezyjne	-	1	1
Zapuszczanie i deinstalacja casingu 18-20" (457-508 mm)		2	-
Wiercenie pilotowe 14" (356 mm)	100 m ³	10	16
Usunięcie kabla pomiarowego z przewodu	-	2	2
Zmiana BHA	-	1	1
Poszerzanie 28" (711 mm)	300 m ³	8	13
Zmiana BHA	-	1	1
Kalibracja 26" (660 mm)		-	2
Zmiana BHA		-	1
Poszerzanie 40" (1016 mm)	500 m ³	12	19
Zmiana BHA		1	1
Kalibracja 36/38" (914/965 mm)		2	2
Zmiana BHA		1	1
Przygotowanie do instalacji	-	1	1
Instalacja	-	2	2
Demobilizacja i rekultywacja	-	10	10
Σ	900 m ³	64 zmiany	83 zmiany
	wydajność tworzenia otworu brutto (pilot-instalacja)	900 m ³ : 528 godz. = 1,70 m ³ /godz.	900 m ³ : 756 godz. = 1,20 m ³ /godz.
W tym:	mobilizacja/demobilizacja/rekultywacja	20 zmian	20 zmian
	zmiany pomocnicze	10 zmian	9 zmian
	zmiany podstawowe	34 zmiany	54 zmiany

TAB. 2. I Harmonogram prac wiertniczych dla budowy rurociągu DN700 metodą HDD na dystansie 1000 m realizowanego urządzeniem wiertniczym klasy MAXI: 2500kN @ 90 kNm @ 2500 l/min

i MIDI. Wskazano przy tym na prawdopodobne etapy prac i prawdopodobną wydajność tworzenia otworu wiertniczego. Kalkulacje mają charakter szacunkowy, a ich dokładność zależy od faktycznej konfiguracji sprzętu wiertniczego i poziomu kompetencji spółek wiertniczych. Szacowany czas wyrażony w 12-godzinnych zmianach roboczych zawiera w sobie zarówno czas produktywny (ang. *Drilling Time*, DT), czas pomocniczy (ang. *Connection&Tripping*, BHA&T), jak i nieproduktywny (ang. *Non Productive Time*, NPT). Wyróżniono przy tym zmiany podstawowe, zmiany pomocnicze i czas związany z mobilizacją/demobilizacją. Podział na te obszary może być użyteczny przy ustalaniu budżetu projektu ze względu na różnicę

w ponoszonych kosztach uzależnioną od aktualnej fazy robót.

ZARZĄDZANIE KOSZTAMI

W ramach tego obszaru działania analizujemy procesy związane z szacowaniem (estymacją) kosztów, tworzeniem budżetu i kontrolowaniem wydatków, aby projekt mógł zostać ukończony z zadowalającym wynikiem finansowym. Aktywna kontrola w trakcie trwania projektu polega na ustalaniu zagregowanych kosztów dla danej fazy robót i porównanie ich z poziomem odniesienia zawartym w pierwotnie ustalonym budżecie. Planowanie generuje koszty, ale dobre planowanie zapobiega później nad-

miernym wydatkom na etapie realizacji. Gdy koszty operacyjne są niższe od zakładanych w preliminarzu, zysk firmy wzrasta.

Szacowanie kosztów można zdefiniować jako proces prognozowania wydatków, które należy ponieść dla realizacji projektu. Estymacje te uwzględniają wszystkie wydatki związane z analizą projektu, planowaniem działań, przygotowaniem placu budowy i dróg dojazdowych, mobilizacją urządzeń, sprzętu i personelu, robotami wiertniczymi, demobilizacją, przywracaniem terenu do stanu pierwotnego, odbiorami technicznymi zrealizowanych robót oraz finalizacją kontraktu. Oszacowanie kosztów obejmuje wstępne określenie ilości i rodzaju niezbędnego sprzętu wiertniczego, ilości ma-

Etap	Objętość wywierconego otworu	Czas wyrażony w 12-godz. zmianach roboczych	Czas wyrażony w 12-godz. zmianach roboczych
warunki geologiczne		piasek 100 %	głina 70% ił 30%
Przygotowanie i mobilizacja		5	5
Skręcanie BHA – pomiary geodezyjne	-	½	½
Wiercenie pilotowe 9 7/8" (251 mm)	40 m³	8	12
Usunięcie kabla pomiarowego z przewodu	-	2	2
Zmiana BHA	-	½	½
Poszerzanie 20" (508 mm)	120 m³	5	8
Zmiana BHA	-	½	½
Kalibracja 16/18" (406–457 mm)	-	2	2
Zmiana BHA	-	½	½
Instalacja	-	1	1
Demobilizacja i rekultywacja	-	5	5
Σ	160 m³	30 zmian	37 zmian
	Wydajność tworzenia otworu brutto (pilot–instalacja)	160 m³: 240 godz. = 0,65 m³/godz.	160 m³: 324 godz. = 0,50 m³/godz.
W tym:	mobilizacja/demobilizacja/rekultywacja	10 zmian	10 zmian
	zmiany pomocnicze	4 zmiany	4 zmiany
	zmiany podstawowe	16 zmian	23 zmiany

TAB. 3. I Harmonogram prac wiertniczych dla budowy rurociągu DN300 metodą HDD na dystansie 800 m realizowanego urządzeniem wiertniczym klasy MIDI: 800kN @ 40 kNm @ 1500 l/min

teriów eksploatacyjnych, ilości zaangażowanego personelu, zarówno własnego, jak i zewnętrznego. W ramach przedmiotowej analizy ustalamy, ile należy zainwestować w sprzęt i narzędzia, których nie posiadamy i na tej podstawie podejmujemy decyzję o ich zakupie lub najmie.

Szacunki kosztów dokonywane są we wstępnej fazie prac nad projektem. Są niezbędne dla oceny, czy dany projekt będzie opłacalny dla firmy i stanowią poziom odniesienia dla składowej oferty. Podstawą do tworzenia wycen są dotychczasowe doświadczenia zarówno firmy, jak i całego rynku, odnoszące się do danego typu (kategorii) projektów. Jeśli projekt nosi znamiona działania standardowego, wycena może być bardzo precyzyjna, gdyż bazuje na danych pochodzących z wielu podobnych przedsięwzięć. Jeśli projekt jest nietypowy (niestandardowy) i wykracza poza dotychczasowe doświadczenia firm, szacunki kosztów mogą cechować się większymi odchyleniami od wyników rzeczywistych. Zaleca się przy tym tworzenie dodatkowych rezerw na zdarzenia nadzwyczajne, koszty wdrażania nowych

procedur, zarządzanie jakością i zarządzanie ryzykiem projektu. Przygotowanie precyzyjnej analizy kosztowej wymaga wiedzy na temat metod działania, produktywności procesu i nie powinno być domeną specjalistów od marketingu i sprzedaży. Szacunki kosztów powinny być wspólnym dziełem inżynierów i działu finansowego firmy. Szacowanie kosztów ma krytyczne znaczenie dla działania i strategii sprzedaży usług. Zbyt wysokie szacunki nie pozwolą znaleźć pracy dla firmy (wygrać przetargu). Niedoszacowanie z kolei prowadzi do strat w obszarze działalności operacyjnej. Koszty zapobiegania (prewencji) pojawiają się już na etapie planowania. Wiążą się z wypracowaniem bezpiecznych (bezawaryjnych) procedur. Często są pomijane, gdyż firmy skupiają się na wydajności procesu.

Wycena zadania powinna uwzględniać także koszty działania firmy w czasie realizacji projektu, w tym koszty administracyjne, koszty obsługi kredytów, leasingu i wynajmu sprzętu. Koszty można podzielić na poszczególne działy (konta) w celu lepszego zrozumienia składowych budżetu. W trakcie realizacji zadania

każdy wydatek jest przypisywany do właściwej kategorii kosztowej. Suma poniesionych kosztów charakteryzuje projekt. Koszty można przeliczać według przyjętych w firmie wiertniczej zasad na dzień trwania projektu, na 1 mb zainstalowanego rurociągu o określonej średnicy czy na 1 m³ wywierconego otworu.

W trakcie realizacji zadania może okazać się, że zakresu w przyjętym kształcie nie można lub nie opłaca się realizować. Bezpośrednim skutkiem zmian powinna być renegocjacja kontraktu z klientem, w wyniku której nowe elementy zakresu zostają przyjęte do realizacji, a inne usunięte

W przypadku wygrania przetargu złożona oferta wskazuje zakres, w obrębie którego firma będzie zmuszona się poruszać. Budżet musi uwzględniać marżę firmy wiertniczej, rozumianą jako stosunek zysku ze sprzedaży usługi wiertniczej do ceny sprzedaży, wyrażony w procentach.

Kalkulacja i monitoring kosztów projektu jest niezbędną pracą dla efektywnego zarządzania każdym przedsięwzięciem. Pozwala firmie nie tylko dowiedzieć się, jakie były koszty różnych składowych czy etapów procesu, ale także poprzez porównanie do innych podmiotów działających na rynku – na jakim poziomie powinny się kształtować. Analizy porównawcze wskazują na obszary, w których pieniądze są wydawane nadmiernie lub też na działania nieefektywne ekonomicznie. Zaletą przeprowadzonych symulacji i prowadzonych rejestrów jest fakt, że wydatki są identyfikowane i przypisywane poszczególnym kategoriom grup kosztowych. Kalkulacje pokazują, jaki typ projektów przynosi firmie zyski, a jaki może generować stratę. Posiadany potencjał sprzętowy i kapitał ludzki przekłada się na optymalny zakres operacji wiertniczych, których efektywność ekonomiczna jest największa.

W tab. 4 zestawiono elementy, które powinny zostać uwzględnione przy wycenie każdego projektu o współczynniku trudności powyżej 10.000 (projekty o wysokim stopniu złożoności i skali ponoszonego ryzyka). Grupy kosztowe podzielono na cztery kategorie, wyróżniając przy tym koszty robót wiertniczych zależne od czasu i niezależne od czasu trwania projektu.

W uproszczonym modelu kosztorysowania można oprzeć się na przygotowanym wcześniej harmonogramie robót. Z harmonogramu wydzielamy cztery kategorie zmian roboczych, przyznając im odpowiednie wartości kosztowe: faza planowania i finalizacji projektu, faza mobilizacji i demobilizacji, czas robót wiertniczych podstawowych oraz czas wiertniczych robót pomocniczych. Koszty jednostkowe dotyczące jednej zmiany roboczej (12 godz. pracy) będą uzależnione od kategorii urządzenia wiertniczego przeznaczonego do mobilizacji i ilości zaangażowanego personelu.

Pomimo istnienia stosunkowo dużej ilości udokumentowanych projektów referencyjnych o znanych kosztach operacyjnych, istnieje wciąż pewna grupa niestandardowych zadań charakteryzujących się dużą niepewnością estymacji. Wynika to w niemałej części z wyjątkowości i niepowtarzalności każdego

projektu. Parametrami zmiennymi są m.in.: sprzęt, personel, warunki geologiczne, warunki pogodowe. Odchylenia od pierwotnych założeń skutkujące komplikacjami i awariami mogą powodować znaczny wzrost kosztów. Warto w tym miejscu zwrócić uwagę na fakt, że optymalizacja działań w zakresie czasu niekoniecznie oznacza optymalizację kosztu.

ZARZĄDZANIE JAKOŚCIĄ

Jedną z funkcji zarządzania w projekcie jest zarządzanie jakością, które jest prowadzone równoległe z innymi obszarami poddanymi zarządzaniu. Jakość w projektach wiertniczych nie jest pojęciem abstrakcyjnym. Jest tworzona przez korzystanie z doświadczenia. Inwestor stawia przed wykonawcą konkretne wymagania (wyrażone w specyfikacji istotnych warunków zamówienia). To inwestor powinien zadeklarować, w jaki sposób będzie oceniał jakość zamawianego produktu (zakończony usługi wiertniczej). Jakość będzie interpretowana w takim przypadku przez stopień osiągnięcia wymaganego przez inwestora zastawu cech (parametrów). Jakość powinna być kontrolowana w trakcie procesu wiertniczego przez przedstawicieli inwestora (WNI –

Prace przygotowawcze i pomocnicze		Prace wiertnicze	
koszty czynności przed mobilizacją	koszty czynności od momentu mobilizacji	koszty zależne od czasu	koszty niezależne od czasu
Prace analityczne firmy wiertniczej	roboty ziemne	urządzenie wiertnicze	zakup narzędzi wiertniczych
Zewnętrzne ekspertyzy i analizy	przygotowanie dróg i placów	elementy obiegu płuczkowego	materiały płuczkowe i cement
Dodatkowe badania geologiczne i testy	transport i logistyka	elementy przewodu wiertniczego	woda
Administracja	montaż i demontaż urządzeń	wynajem osprzętu wiertniczego	paliwa i oleje
Ubezpieczenia	utyliczacja urobku	wynajem systemu nawigacji	części eksploatacyjne
Obsługa prawna	utyliczacja szlamu wiertniczego	personel firmy wiertniczej	rury okładzinowe
Obsługa finansowa	rekultywacja terenu	hotele i wyżywienie	obsługa warsztatowa
Licencje i uprawnienia specjalistyczne	koszty prefabrykacji rurociągu	serwisy zewnętrzne	koszty przygotowania rurociągu do instalacji
koszty zarządzania bezpośredniego			
koszty zarządzania ryzykiem			
koszty zarządzania jakością			
koszty wprowadzania nowych (niestandardowych) procedur technicznych			
rezerwa na zdarzenia nadzwyczajne			
rezerwa na kary i odszkodowania			
narzut firmy wiertniczej			

TAB. 4. Typ kosztu lub czynnika wpływającego na wycenę projektu

wykonawca nadzoru inwestorskiego). Zestaw ocenianych przez WNI parametrów techniczno-technologicznych projektu, a także kryteria oceny, powinny być czytelne i uzgodnione z wykonawcą robót wiertniczych (WRB). W interesie firmy wiertniczej będzie utrzymywanie parametrów jakościowych (bieżącej oceny prac) na poziomie równym lub przewyższającym wymagania inwestora. WNI powinien wiedzieć, jakie grupy cech (parametrów) są wiodące dla oceny jakości prowadzonych prac w ramach konkretnego projektu. Cechy jakościowe mają charakter uniwersalny i należą do nich m.in.: geometria (trajektoria) otworu, stabilność ściany otworu, uzyskiwany postęp wiercenia (wydajność prac), obciążenia rejestrowane na przewodzie wiertniczym, zachowanie narzędzi wiertniczych, bilans masy i bilans objętości płynu wiertniczego, integralność zainstalowanego rurociągu i jego izolacji. Niektóre z tych cech są dokładnie mierzalne, inne są możliwe tylko do oszacowania. Istnieje ponadto grupa cech, których ocena wynika z obserwacji parametrów procesu wiercenia i wymaga dodatkowej interpretacji. Umiejętność ich oceny na podstawie przedkładanych raportów i bezpośredniej obserwacji procesu wiercenia wymaga praktycznego doświadczenia i dobrej komunikacji. Podstawowe narzędzia do kreowania i zapewniania jakości pozostają w rękach firmy wiertniczej. Wstępne założenia przyjęte przed rozpoczęciem prac wiertniczych powinny być weryfikowane w trakcie projektu i w przypadku nieosiągnięcia założonych celów pośrednich modyfikowane. Prawdopodobnie wdrożone metody oceny redukują ryzyko wystąpienia komplikacji i awarii wiertniczych. Mogą też wesprzeć działania dotyczące optymalizacji procesu, polegające na wzroście wydajności wiercenia bez spadku jakości.

Pod pojęciem zarządzania będziemy rozumieć działania mające na celu przygotowanie programów technologicznych, planowanie i wdrażanie procedur, kierowanie projektem i nadzorowanie realizowanych prac w kontekście jakości. System zarządzania jakością otworu wiertniczego powinien być wdrożony obligatoryjnie dla każdego projektu o wskaźniku HDI powyżej 10.000 punktów. Należy pamiętać, że powinien to być proces ciągły oparty na wiarygodnych i sprawdzonych procedurach zarządczych oraz działaniach kontrolnych.

W przypadku nieosiągnięcia wymaganego poziomu jakości na danym etapie prac firma wiertnicza powinna wdrożyć w porozumieniu z WNI działania naprawcze i usprawniające proces. Zarządzanie jakością i zapewnienie jakości kosztuje. Ukończenie projektu jest weryfikowane i warunkowane nie tylko dotrzymaniem uzgodnionej daty oraz wykonaniem budżetu, ale i potwierdzeniem akceptowanej jakości dostarczonej usługi i/lub produktu. Niespełnienie wymagań jakościowych może spowodować obniżenie wynagrodzenia wypłacanego wykonawcy. Dlatego tak ważne jest prowadzenie bieżącej kontroli jakości tworzonego otworu, wówczas ryzyko braku końcowej aprobaty i pozytywnego przejścia procedury odbiorów jest znacząco mniejsze. Warto zaznaczyć, że pojęcie wysokiej jakości (adekwatnej do wymagań kontraktowych) odnosi się nie tylko do produktu (wierconego otworu – rurociągu zainstalowanego w otworze), ale także do składników procesu wiertniczego: narzędzi, przewodu, płuczki wiertniczej.

Projekty wiertnicze są realizowane w warunkach niepewności. Czasami nawet najlepiej przygotowane plany nie w pełni się udają

Niedotrzymanie jakości może wiązać się z koniecznością powtórzenia niektórych procedur, a to z kolei pociąga za sobą wydłużenie czasu trwania projektu i wzrost ponoszonych nakładów. Systematyczne planowanie działań w obszarze jakości jest bardziej opłacalne niż reagowanie na problemy, które wynikają w trakcie działań wiertniczych na skutek braku wdrożonych procedur kontroli i utrzymania jakości. W dłuższej perspektywie wysoka jakość pozwala na oszczędność czasu i pieniędzy. Ograniczanie wydatków w ramach realizowanego projektu nie powinno dotyczyć sfery jakości. Podejście takie może czynić proces wiertniczy chwilowo droższym od założonego, ale w dłuższej perspektywie ponoszone koszty zwracają się w postaci mniejszej ilości czasu nieproduktywnego. Zarządzanie

jakością powinno uwzględniać przewidywanie zdarzeń niekorzystnych i niebezpiecznych z punktu widzenia osiągnięcia celu projektu. Dla takich przypadków należy opracować z wyprzedzeniem plan działań zarządczych.

Model oceny i weryfikacji jakości został szczegółowo zaprezentowany w artykule pt. „Zarządzanie jakością otworu wiertniczego” w kwartalniku „Inżynieria Bezwykopowa” 1/2015 [57].

ZARZĄDZANIE RYZYKIEM

Prace wiertnicze z użyciem techniki HDD składają się z wielu złożonych czynności i podlegają różnorodnym zagrożeniom. Zarządzanie ryzykiem wiercenia powinno być współmierne do skali projektu, jego lokalizacji, dostępnych informacji o warunkach geologicznych i złożoności sytuacji. Wraz z rozpoczęciem wiercenia nowe informacje stają się dostępne, niektóre przewidywane zagrożenia mogą nadal stanowić ryzyko, podczas gdy inne – nie. Można napotkać lub zidentyfikować nowe niebezpieczne sytuacje, a cechy charakterystyczne już zidentyfikowanych zagrożeń mogą ulec zmianie. Dlatego też zarządzanie ryzykiem powinno odbywać się przez cały czas trwania projektu. Istnieje wiele kategorii zagrożeń, które wpływają realnie na poziom ryzyka. Istnieje też kilka zdarzeń, przez które poszczególne zagrożenie może wpłynąć negatywnie na całą operację. Główne zagrożenia pogrupowane są w wyróżniające się kategorie, takie jak: geologia, sprzęt i materiały, czynnik ludzki, założenia projektowe, technologia, elementy prawne i organizacyjne, lokalne środowisko, procedury wiertnicze. Kategorie te nie wyczerpują wszystkich zagrożeń. Na rys. 3 pokazano katalog dziesięciu typowych i zidentyfikowanych potencjalnych kategorii zagrożeń, które mogą wpłynąć na działalność wiertniczą. Przytoczone kategorie ryzyka mają charakter wyłącznie poglądowy.

Projekty wiertnicze są realizowane w warunkach niepewności. Czasami nawet najlepiej przygotowane plany nie w pełni się udają. Z tej przyczyny zarządzający projektami poświęcają wiele czasu na dostosowanie się do nieprzewidywanych zmian. Podstawową metodą dostosowania jest zamiana jednego celu na inny. Jeśli projekt konstrukcyjny jest opóźniony z dowol-



RYS. 3. | Kategorie i obszary ryzyka wiertniczego definiowane dla HDD

nego powodu, powrót do harmonogramu może być możliwy przez dodanie zasobów materialnych i ludzkich. Jeżeli nie można zwiększyć budżetu na dodatkowe zasoby, firma może być zmuszona do negocjacji z klientem w sprawie opóźnień w oddaniu instalacji. Gdyby nie można było negocjować kosztów ani harmonogramu, wykonawca może być zmuszony zaakceptować niższe zyski.

Analiza ryzyka to szereg metod stosowanych do oceny niepewności. Większość z tych metod zakłada modelowanie matematyczne. Identyfikacja podstawowych grup zagrożeń oparta jest głównie na ocenie inżynierskiej, burzy mózgów, analizie QRA (ilościowa ocena ryzyka), raportach i dostępnych bazach danych. Zagrożenia są umieszczane w hierarchicznej strukturze w miarę ich identyfikacji i są uporządkowane według źródła (kategorii). W związku z tym całkowite narażenie na ryzyko można lepiej zwizualizować, a plany ograniczania ryzyka można łatwiej wdrożyć. W wyniku tego procesu powstaje katalog wszystkich możliwych zagrożeń wpływających na globalne ryzyko. Określenie tego, co może pójść nie tak, jakie jest tego prawdopodobieństwo i możliwe konsekwencje, daje wgląd w podatność operacji na zagrożenia i pomaga wygenerować opcje łagodzenia. Filtrowanie i tworzenie rankingu czynników ryzyka pozwala decydować o priorytetach i koncentrować się na najważniejszych elementach ryzyka.

Dla oceny i hierarchizacji ryzyka wiertniczego można użyć kwestionariusza, w którym powinno się znaleźć wiele pytań natury ogólnej i szczegółowej. Czy rozumiemy złożoność projektu? Czy mamy kwalifikacje techniczno-technologiczne do realizacji zadania? Czy posiadamy zasoby materialne i intelektualne do realizacji zaplanowanych działań? Czy potencjalne zagrożenia są wykrywalne? Czy zagrożenie jest sterowalne (kontrolowane)? Czy potencjalne zdarzenia są nieodwracalne? Czy czas trwania zdarzenia (czas ekspozycji) może wyrządzić dotkliwe straty? Czy pojedyncze zdarzenie może uruchomić efekt kaskadowy (seryjny)? Czy zdarzenie pochodzi ze źródeł wewnętrznych (zależnych od spółki wiertniczej), czy też ze źródeł zewnętrznych?

Metody identyfikacji, oceny i reakcji na ryzyko zostały szczegółowo zaprezentowane w czterech artykułach pt. „Zarządzanie ryzykiem w projektach wiertniczych” w kwartalniku „Inżynieria Bezwykopowa” 1-4/2017.

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono podstawowe pojęcia związane z zarządzaniem projektami wiertniczymi. Wskazano, że harmonogram, budżet, jakość i ryzyko są ze sobą ściśle powiązane, a manipulowanie jednym parametrem pociąga za sobą zmianę pozostałych. Powiązanymi pojęciami pozostają: zakres

projektu, zasoby materialne, zasoby ludzkie, komunikacja, inwestor (klient), wykonawca.

Korzyści płynące z wysokiej jakości projektów są liczne: satysfakcja inwestora, prestiż wykonawcy, redukcja niektórych grup kosztowych, zwiększenie wydajności prac wiertniczych (produktywności), zwiększenie konkurencyjności na rynku usług. Popularne środki optymalizacyjne, jakie stosują firmy wykonawcze zmierzające jednocześnie do zmniejszenia kosztów i czasu realizacji projektu, podnoszą ryzyko operacyjne i mogą prowadzić do obniżenia jakości, a więc niezadowolenia klienta. Standardy odnoszące się do zarządzania projektami wiertniczymi wskazują, że dla osiągnięcia celu zadania w określonym czasie, w ramach zdefiniowanego kontraktom kosztu i przy określonej jakości oraz wydajności, niezbędne jest precyzyjne planowanie, monitorowanie procesu, kontrola wszystkich aspektów projektu i motywacja wszystkich zaangażowanych w jego realizację stron. |

W najbliższych numerach kwartalnika „Inżynieria Bezwykopowa” zostaną opublikowane kolejne części artykułu poświęcone następującym zagadnieniom:

Część 10: Słownik terminów i skrótów wiertniczych.

Część 11: Suplement. Ranking projektów HDD zrealizowanych w Polsce w latach 1991-2020.



BEZWYKOPOWA BUDOWA

PLANOWANIE I REALIZACJA PROJEKTÓW HDD

CZĘŚĆ X: SŁOWNIK TERMINÓW WIERTNICZYCH I AKRONIMÓW ANGLOJĘZYZYCHNYCH

Niniejszy słownik jest próbą udokumentowania i uporządkowania terminów, skrótów i akronimów rurociągowej inżynierii wiertniczej, które są obecnie w użyciu. Złożoność tego przemysłu może utrudniać precyzyjne określenie wszystkich definicji związanych z wierceniem kierunkowym HDD. Autor zaprezentował wybór ponad 250 terminów i ponad 250 skrótów. Nie jest to oczywiście kompletny zestaw pojęć przydatnych dla każdego inwestora, projektanta czy inżyniera zajmującego się wykonawstwem. Nie mogę twierdzić, że zawarłem wszystkie możliwe terminy, ponieważ jestem pewien, że jest ich o wiele więcej. W artykule podaję przede wszystkim te najczęściej wykorzystywane w sektorze wiertniczym

AKRONIMY WIERTNICZE

Akronimy to wyrazy stanowiące skróty utworzone z pierwszych liter, ewentualnie pierwszych zgłosek, kilku innych wyrazów. Akronimy zawarte w niniejszym artykule pochodzą z kilku dyscyplin i są posortowane według kolejności alfabetycznej. Przemysł wiertniczy posługuje się powszechnie skrótami w raportach, komunikatach, artykułach technicznych. Żargon wiertniczy wymaga nie tylko poznania, ale też oswojenia się z jego wieloznacznością.

3D (*Three-dimensional*) – trójwymiarowy

AV (*Apparent Viscosity*) – lepkość pozorna

AVG (*Average*) – wartość średnia

A

AKRONIMY WIERTNICZE

ABIA (*At Bit Inclination Assembly*) – system pomiaru inklinacji (pochylenia) zlokalizowany w łączniku tuż za narzędziem wiertniczym

AC (*Alternating Current*) – prąd zmienny

AD (*Assistant Driller*) – pomocnik wiertacza

AFC (*Approved for Construction*) – zatwierdzony do budowy

AFP (*Annular Friction Pressure*) – spadek ciśnienia w przestrzeni pierścieniowej na skutek przepływu cieczy

AP (*Annulus Pressure*) – ciśnienie w przestrzeni pierścieniowej

APD (*Approved Permit to Drill*) – zatwierdzona zgoda na prace wiertnicze

API (*American Petroleum Institute*) – Amerykański Instytut Naftowy

API RP (*American Petroleum Institute Recommended Practice*) – zalecane praktyki techniczne opublikowane przez API

APWD (*Annulus Pressure While Drilling*) – system pomiaru ciśnienia w przestrzeni pierścieniowej otworu w czasie rzeczywistym zintegrowany z systemami typu MGS lub GST

AQL (*Acceptance Quality Level*) – akceptowalny (wymagany) poziom jakości

ASCE (*American Society of Civil Engineers*) – Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Budownictwa

ASTM (*American Society of Testing Materials*) – Amerykańskie Stowarzyszenie Badań i Materiałów

AV (*Annular Velocity*) – prędkość płuczki w przestrzeni pierścieniowej otworu

B

AKRONIMY WIERTNICZE

BAST (*Best And Safest Technology*) – najlepsza i najbezpieczniejsza technika

BAT (*Best Available Technology*) – najlepsza dostępna technika

BBL (*Barrel*) – baryłka, jednostka objętości

BH (*Borehole*) – otwór wiertniczy

BHA (*Bottom Hole Assembly*) – dolny zestaw przewodu wiertniczego

BHCP (*Bottom Hole Circulating Pressure*) – ciśnienie panujące na spodzie otworu w trakcie cyrkulowania

BHP (*Bottom Hole Pressure*) – ciśnienie panujące na spodzie otworu

BHT (*Bottom Hole Temperature*) – temperatura panująca na spodzie otworu

BIC (*Best In Class*) – najwyższa produktywność w danej klasie sprzętu

BMP (*Best Management Practice*) – najlepsza praktyka zarządzania

BOBT (*Bit On Bottom Time*) – czas pracy narzędzia na spodzie otworu

BOD (*Basis of Design*) – podstawa projektu

BOTTOM UP – czas wypływu z dna otworu

BOX – mufa w połączeniu gwintowym

BPV (*Back Pressure Valve*) – zawór zwrotny

BP (*Burst Pressure*) – ciśnienie rozrywające

BR (*Barrel Reamer*) – poszerzacz baryłkowy, narzędzie skrawające

BS (*Bit Sub*) – łącznik nadświdrowy

BSR (*Bending Strength Ratio*) – współczynnik wytrzymałości na zginanie

BUR (*Build-up Rate*) – tempo nabierania krzywizny (zmian kątowych trajektorii)



ROBERT OSIKOWICZ
ROE

(ur. 1966), absolwent Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Zajmuje się technologią wiercenia otworów kierunkowych i praktycznymi aplikacjami płynów wiertniczych w otworach różnego przeznaczenia. Jest autorem ponad 20 referatów wygłoszonych na międzynarodowych konferencjach technicznych, a także szeregu publikacji dotyczących konfiguracji sprzętu, optymalizacji techniki wiercenia, analiz rynku technologii bezwykopowych, zarządzania jakością i ryzykiem w działaniach wiertniczych, tworzenia harmonogramów i budżetów projektów. Od 2009 r. pracuje dla firmy Robert Osikowicz Engineering. Firma jest członkiem międzynarodowej branżowej organizacji wiertniczej Drilling Contractors Association (DCA-Europe).

C

AKRONIMY WIERTNICZE

C+F (*Cost and Freight*) – koszt towaru z transportem

CA (*Certifying Authority*) – instytucja certyfikująca

CAP (*Capacity*) – pojemność

C&C (*Circulating and Conditioning*) – cyrkulowanie i obróbka płuczki

CCI (*Carrying Capacity Index*) – wskaźnik zdolności płuczki do transportu zwiercin

CCR (*Central Control Room*) – centralna sterownia

CD (*Casing Drilling*) – wiercenie z jednoczesnym rurowaniem

CDP (*Comprehensive Drilling Plan*) – kompleksowy plan wiercenia

CFR (*Critical Flow Rate*) – krytyczny strumień przepływu

C/H (*Cased Hole*) – zarurowany otwór

CIRC (*Circulate*) – cyrkulować

COP (*Code of Practice*) – kodeks postępowania

CP (*Corrosion Protection*) – ochrona przed korozją

CP (*Cathodic Protection*) – ochrona katodowa

CPT (*Cone Penetration Test*) – geotechniczny test in situ

CSG (*Casing*) – zarurowanie techniczne otworu

D

AKRONIMY WIERTNICZE

DC (*Direct Current*) – prąd stały

DC (*Drill Collar*) – obciążnik wiertniczy

DCA (*Drilling Contractors Association*) – organizacja wiertnicza zrzeszająca spółki wiertnicze, konsultingowe oraz dostawców i projektantów

DCI (*Digital Control Inc.*) – producent sprzętu lokalizacyjnego

DD (*Directional Driller*) – inżynier prowadzący wiercenie kierunkowe

DDI (*Directional Difficulty Index*) – wskaźnik trudności geometrycznej otworu

DDR (*Daily Drilling Report*) – dzienny raport wiertniczy

DE (*Drilling Engineer*) – inżynier wiertnik

DFL (*Drilling Fluid*) – płyn wiertniczy

DIMS (*Drilling Information Management System*) – system zarządzania informacjami wiertniczymi

DIN (*Deutsches Institut für Normung*) – niemieckie standardy techniczne [Niemiecki Instytut Standaryzacji]

DLS (*Dogleg Severity*) – intensywność zmian kąta przestrzennego na jednostkę długości otworu

DMS (*Data Management System*) – system zarządzania danymi

DP (*Drill Pipe*) – rura płuczkowa

DP (*Direct Pipe*) – alternatywna technika wiertnicza

DRLG (*Drilling*) – wiercenie

DS (*Drill String*) – kolumna przewodu wiertniczego

DS (*Directional Service*) – serwis kierunkowy

DS (*Directional Survey*) – pomiary kierunkowe

DS (*Dispersed Solids*) – zwierciny trwale rozproszone (zdyspergowane) w płynie wiertniczym

DSV (*Drilling Supervisor*) – nadzorca robót wiertniczych

E

AKRONIMY WIERTNICZE

ECD (*Equivalent Circulating Density*) – ekwiwalentna gęstość płuczki

EIS (*Environmental Impact Statement*) – opinia o wpływie na środowisko

EOB (*End of Build*) – koniec sekcji budowania kąta

EOC (*End of Curve*) – koniec łuku

EP (*Entry Point / Exit Point*) – punkt wejścia / punkt wyjścia

EPB (*Earth Pressure Balance*) – system kompensacji parcia gruntu

ER (*Epoxy Resin*) – żywica epoksydowa

ERD (*Extended Reach Drilling*) – wiercenie o dalekim zasięgu

ERT (*Electrical Resistivity Tomography*) – metoda elektrooporowa w geologii i geofizyce

ESD (*Emergency Shut Down*) – awaryjne wyłączenie

ETS (*Engineering Technical Standard*) – standardy techniczne

EU (*External Upset*) – zewnętrznie spęczany zwornik

F

AKRONIMY WIERTNICZE

FC (*Fly Cutter*) – poszerzacz otwarty typu skrawającego

FD (*Formation Density*) – ciężar właściwy formacji

FF (*Friction Factor*) – współczynnik tarcia

FG (*Fracture Gradient*) – gradient ciśnienia szczelinowania nadkładu

FFP (*Formation Fracture Pressure*) – ciśnienie szczelinowania

FH (*Full Hole*) – typ połączenia gwintowego

FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) – analiza awarii i skutków

FR (*Flow Rate*) – strumień przepływu płuczki

FT (*Flat Time*) – część czasu produktywnego poza pracą narzędzia na spodzie

FV (*Funnel Viscosity*) – lepkość umowna mierzona lejkiem Marsha

FW (*Fresh Water*) – woda słodka

G

AKRONIMY WIERTNICZE

GL (*Ground Level*) – poziom terenu

GST (*Gyro Steering Tool*) – żyrokompasowy system nawigacji

GPM (*Gallons Per Minute*) – wydatek pompy wyrażony w galonach na minutę

GPS (*Global Positioning System*) – globalny system pozycjonowania

GS (*Gel Strength*) – wytrzymałość strukturalna płynu wiertniczego

H

AKRONIMY WIERTNICZE

HAZOP (*Hazardous Operations*) – operacje niebezpieczne

HB (*Brinell Hardness*) – twardość materiału wyrażona w skali Brinella

HCM (*Hole Condition Monitoring*) – monitorowanie stanu otworu wiertniczego

HDD (*Horizontal Directional Drilling*) – horyzontalne wiercenie kierunkowe

HDI (*Hole Difficulty Index*) – wskaźnik trudności otworu (instalacji)

HDPE (*High-Density Polyethylene*) – polietylen wysokiej gęstości

HHP (*Hydraulic Horse Power*) – moc hydrauliczna

HO (*Hole Opener*) – poszerzacz rolkowy lub skrawający

HP (*Horse Power*) – moc wyrażona w koniach mechanicznych

HP (*Hydrostatic Pressure*) – ciśnienie hydrostatyczne

HP (*High Pressure*) – wysokie ciśnienie (wysokiego ciśnienia)

HPU (*Hydraulic Power Unit*) – agregat hydrauliczny

HQI (*Hole Quality Index*) – wskaźnik jakości otworu

HS (*Horizontal Section*) – sekcja pozioma otworu

HSE (*Health Safety and Environment*) – systemowe podejście związane z bezpieczeństwem i higieną pracy

HV (*High-Viscosity*) – o wysokiej lepkości

HWDP (*Heavy Weight Drill Pipe*) – grubościennne rury płuczkowe

HYD (*Hydraulic*) – hydrauliczny

[Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna]

ISTT (*International Society for Trenchless Technology*) – Międzynarodowe Stowarzyszenie Technik Bezwykopowych

J

AKRONIMY WIERTNICZE

JETTING (*Jetting Assembly*) – dolny zestaw do wiercenia hydromonitorowego w miękkich formacjach, składający się zwykle ze świda i krzywego łącznika

JF (*Jacking Forces*) – siły przeciskowe

K

AKRONIMY WIERTNICZE

KOP (*Kick-Off Point*) – punkt odejścia od sekcji prostej otworu

KPI (*Key Performance Indicator*) – kluczowy wskaźnik wydajności (efektywności) procesu wiertniczego

L

AKRONIMY WIERTNICZE

LCM (*Lost Circulation Material*) – materiały płuczkowe do likwidacji zaników płuczki

LGS (*Low Gravity Solids*) – faza stała o niskiej gęstości

LH (*Left Hand Thread*) – gwint lewoskrętny

LIH (*Lost in Hole*) – strata narzędzia w otworze

LSYP (*Low Shear Yield Point*) – granica płynięcia, kalkulowana przy niskich prędkościach ścinania, parametr stosowany w modelowaniu reologicznym

LT (*Lost Time*) – czas stracony (nieproduktywny)

LT (*Longitudinal Tension*) – siła rozciągająca wzdłużna

LV (*Low Viscosity*) – o niskiej lepkości

M

AKRONIMY WIERTNICZE

MAWP (*Maximum Allowable Working Pressure*) – maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze

MBT (*Methylene Blue Test*) – test oznaczający zawartość aktywnych części bentonitu

MCL (*Maximum Contaminant Level*) – maksymalny poziom skażenia

MCP (*Main Control Panel*) – główny panel sterowniczy

MD (*Measured Distance, Measured Depth*) – długość otworu mierzona po przewodzie od punktu wejścia lub wyjścia

MGS (*Magnetics Guidance System*) – magnetyczny system nawigacji

MITM (*Meeting In the Middle – Intersect*) – metoda polegająca na przecięciu się trajektorii dwóch otworów wiertniczych

MMO / MMH (*Mixed Metal Oxides / Hydroxides*) – system płuczkowy

MSDS (*Material Safety Data Sheet*) – karta bezpieczeństwa materiału płuczkowego

MSE (*Mechanical Specific Energy*) – mechaniczna energia właściwa

MT (*Metric Tone*) – tona metryczna

MT (*Milled Tooth*) – frezowana struktura tnąca w świdrach i hole openerach

MT (*Micro Tunnel*) – mikrotunelowanie

MTBF (*Mean Time Between Failures*) – średni czas pomiędzy awariami

MTP (*Maximum Theoretical Performance*) – maksymalny postęp (produktywność) prac wiertniczych

MUT (*Make-Up Torque*) – moment skręcający połączenie gwintowe

MW (*Mud Weight*) – ciężar właściwy płuczki

MWD (*Measurement While Drilling*) – pomiar parametrów wiercenia kierunkowego w czasie rzeczywistym

N

AKRONIMY WIERTNICZE

NB (*Near Bit Stabiliser*) – stabilizator nadświdrowy

NDT (*Non-Destructive Testing*) – badania nieniszczące

NMDC (*Non-Magnetic Drill Collar*) – obciążnik ze stopów niemagnetycznych (element BHA)

NP (*Neutral Point*) – punkt neutralny

NPS (*Nominal Pipe Size*) – średnica nominalna rury

I

AKRONIMY WIERTNICZE

IADC (*International Association of Drilling Contractors*) – organizacja zrzeszająca naftowe firmy wiertnicze

ID (*Internal Diameter*) – średnica wewnętrzna

IEU (*Internal External Upset*) – wewnętrzne i zewnętrzne spęczenie zwornika

IF (*Internal Flush*) – typ połączenia gwintowego

ILT (*Invisible Lost Time*) – czas wiertniczy o ograniczonej produktywności (nieewidencjonowany)

IMR (*Inspection, Maintenance and Repair*) – inspekcja, konserwacja i naprawa

ISO (*International Standards Organization*) – międzynarodowa certyfikacja jakości

NPT (*Non-Productive Time*) – czas nieproduktywny

NRV (*Non-Return Valve*) – zawór zwrotny

NW (*Nominal Weight*) – masa jednostkowa

O

AKRONIMY WIERTNICZE

OCMA (*Oil Company Materials Association*) – organizacja przygotowująca standardy jakościowe materiałów płuczkowych

OD (*Outside Diameter*) – średnica zewnętrzna

OFF BOTTOM – stan dotyczący pozycji narzędzia ponad dnem otworu

OH (*Open Hole*) – niezarurowana sekcja otworu

ON BOTTOM – stan dotyczący pracy rzeczywistej narzędzia na dnie otworu

OOS (*Out of Service*) – nieczynny

OPEX (*Operation Expenditures*) – wydatki na utrzymanie i naprawę sprzętu

P

AKRONIMY WIERTNICZE

PAC (*Polyanionic Cellulose*) – polianionowa celuloza (materiał płuczkowy)

PCR (*Power Control Room*) – główna sterownia

PDC (*Polycrystalline Diamond*) – struktura tnąca narzędzi z polikrystalicznego syntetycznego diamentu

PDM (*Positive Displacement Motor*) – silnik wstępny typu naporowego

PF (*Pulling Force*) – siła ciągnięcia

PG (*Pressure Gradient*) – gradient ciśnienia

PHPA (*Partially Hydrolyzed Polyacrylamid*) – częściowo hydrolizowany poliakryloamid (materiał płuczkowy)

PIN (*Personal Identification Number*) – osobisty numer identyfikacyjny

PIN (*Pin*) – czop w połączeniu gwintowym

PL (*Pipeline*) – rurociąg

PM (*Particulate Matter*) – cząstki stałe

PO (*Purchase Order*) – zamówienie

POOH (*Pull Out of the Hole*) – wyciąganie z otworu

PP (*Pore Pressure*) – ciśnienie porowe

PPE (*Personal Protective Equipment*) – sprzęt ochrony osobistej

PPG (*Pounds Per Gallon*) – funt na galon (jednostka ciężaru właściwego)

PPM (*Parts Per Million*) – część milionowa

PR (*Pressure*) – ciśnienie

PS (*Pipe Side*) – rurociągową stronę przewiertu

PSD (*Particle Size Distribution*) – rozkład wielkości cząstek stałych

PSI (*Pounds Per Square Inch*) – funt na cal kwadratowy (jednostka ciśnienia / naprężenia)

PSU (*Power Supply Unit*) – zasilacz

PT (*Productive Time*) – czas produktywny

PTW (*Permit to Work*) – pozwolenie na pracę

PV (*Plastic Viscosity*) – lepkość plastyczna, parametr stosowany w modelowaniu reologicznym

PVC (*Polyvinyl Chloride*) – polichlorek winylu

Q

AKRONIMY WIERTNICZE

QA/QC (*Quality Assurance / Quality Control*) – zapewnienie i kontrola jakości

QCP (*Quality Control Procedure*) – procedura kontroli jakości

QMS (*Quality Management System*) – system zarządzania jakością

QRA (*Quantitative Risk Assessment*) – ilościowa analiza ryzyka

R

AKRONIMY WIERTNICZE

R&P (*Rack and Pinion*) – napęd wiertnicy typu zębatkowego

RD (*Rig Down*) – demobilizacja sprzętu

REG (*Regular*) – typ połączenia gwintowego

REV (*Revolution*) – obrót

RFP (*Request for Proposal*) – zapytanie ofertowe

RFQ (*Request for Quote*) – zapytanie o wycenę

RH (*Right Hand Thread*) – gwint prawoskrętny

RIG (*Rig*) – wiertnica

RIH (*Run Into the Hole*) – zapuszczanie do otworu

ROE – Robert Osikowicz Engineering

ROI (*Return on Investment*) – zwrot z inwestycji

ROP (*Rate of Penetration*) – postęp wiercenia

RM (*Rheology Modifier*) – regulator lepkości płuczki

RMS (*Rock Mass Rating*) – wskaźnik jakości masywu skalnego

RP (*Recommended Practice*) – zalecany sposób postępowania

RPM (*Revolutions Per Minute*) – liczba obrotów na minutę

RQD (*Rock Quality Designation*) – parametr określający jakość pobranego rdzenia skalnego (stopień spękania)

RS (*Rig Side*) – maszynowa strona przewiertu determinująca położenie wiertnicy

RSS (*Rotary Steerable System*) – system wiercenia polegający na ciągłej rotacji przewodu

RTD (*Real Time Data*) – dane gromadzone w czasie rzeczywistym

RU (*Rig Up*) – mobilizacja urządzenia

S

AKRONIMY WIERTNICZE

SCR (*Slow Circulating Rate*) – cyrkulacja ze zredukowanym wydatkiem pompy

SD (*Shut Down*) – zamknąć

SDR (*Standard Dimensional Ratio*) – stosunek średnicy do grubości ścianki w rurach z tworzyw sztucznych

SG (*Specific Gravity*) – ciężar właściwy (parametr płynu wiertniczego)

SHT (*Short Trip*) – krótki marsz w otworze polegający na wyciąganiu i zapuszczaniu przewodu

SOP (*Standard Operating Procedures*) – standardowe procedury operacyjne

SOR (*Statement of Requirements*) – zestawienie wymagań

SPM (*Stroke Per Minute*) – liczba suwów pompy na minutę

SPP (*Stand Pipe Pressure*) – ciśnienie rejestrowane na pompie płuczkowej

SPT (*Standard Penetration Test*) – standardowe sondowanie geologiczne

SQIN (*Square Inch*) – cal kwadratowy (jednostka pola powierzchni)

SR (*Shear Rate*) – prędkość ścinania

SRD (*Short Radius Drilling*) – wiercenie po łuku o krótkim promieniu

SS (*Shear Stress*) – naprężenie wynikające z zastosowanej prędkości ścinania

SS (*Suspended Solids*) – zwierciny zawieszone w płynie

STH (*Side-Tracked Hole*) – zmiana trajektorii wymagająca odejścia do dotychczas realizowanej trasy wiercenia

SW (*Sea Water*) – woda morska

T

AKRONIMY WIERTNICZE

T&D (*Torque and Drag*) – analiza obciążeń przewodu wiertniczego

TBM (*Tunnel Boring Machine*) – maszyna wiertnicza do tunelowania

TCI (*Tungsten Carbide Inserts*) – słupki z węgla wolframu

TD (*Total Depth*) – całkowita długość (głębokość)

TDS (*Top Drive System*) – system górnego napędu w urządzeniach wiertniczych

TFA (*Total Flow Area*) – całkowite pole przekroju dysz zainstalowanych w narzędziu

TH (*Thrust*) – siła pchania

TI (*Trip In*) – zapuszczanie narzędzi do otworu

TL (*Technical Limit*) – najkrótszy możliwy czas wynikający z aktualnej technologii

TN (*Tank*) – zbiornik

TO (*Trip Out*) – wyciąganie narzędzi z otworu

TQ (*Torque*) – moment obrotowy

TT (*Total Time*) – czas całkowity

TT (*Tru Tracker*) – system pomiarów w sztucznym polu magnetycznym

TT (*Trenchless Technology*) – techniki bezwykopowe

TVD (*True Vertical Depth*) – rzeczywista głębokość wiercenia

U

AKRONIMY WIERTNICZE

US (*Upper Section*) – sekcja górna w otworze

V

AKRONIMY WIERTNICZE

VIS (*Viscosity*) – lepkość (parametr płynu wiertniczego)

VLV (*Valve*) – zawór

W

AKRONIMY WIERTNICZE

WD (*Water Depth*) – głębokość wody

WL (*Water Loss*) – filtracja (parametr płynu wiertniczego)

WBM (*Water-Based Mud*) – płyn wodnospersyjny

WOB (*Weight On Bit*) – nacisk osiowy na świder lub inne narzędzie wierzące

WOC (*Waiting On Cement*) – oczekiwanie na wiązanie cementu

WOO (*Waiting On Orders*) – oczekiwanie na zamówienie

WOPL (*Waiting On Pipeline*) – oczekiwanie na rurociąg

WOW (*Waiting On Weather*) – oczekiwanie na pogodę

WPS (*Welding Procedure Specification*) – specyfikacja procedury spawania

WT (*Wall Thickness*) – grubość ścianki rury

X

AKRONIMY WIERTNICZE

XCD (*Xanthan Gum Polymer*) – biopolimer (składnik płuczki wiertniczej)

XO (*Cross Over*) – łącznik przejściowy pomiędzy różnymi połączeniami gwintowymi

Y

AKRONIMY WIERTNICZE

YP (*Yield Point*) – granica płynięcia, parametr stosowany w modelowaniu reologicznym

YS (*Yield Strength*) – granica plastyczności



TERMINY WIERTNICZE

HDD jest najszybciej rozwijającą się techniką wśród nowoczesnych metod budowy rurociągów. Wiele podanych tu terminów jest związanych z wiertnictwem, jego oprzyrządowaniem, procedurami, nawigacją, inżynierią płuczkową czy geotechniką. Ograniczono się tu do terminów, które są blisko związane z problematyką HDD, inaczej słownik ten rozrósłby się ponad miarę. Ma on być narzędziem wspomagania działalności szkoleniowej, zmniejszającym niejednoznaczności w tłumaczeniu terminów z języka angielskiego.

A

TERMINY WIERTNICZE

Adhezja (*adhesion*) – zdolność do łączenia się powierzchni ciał fizycznych

Akcelerometr (*accelerometer*) – przyrząd pomiarowy mierzący składowe ziemskiego pola grawitacyjnego

Aktywny zbiornik płuczkowy (*active tank*) – stalowy zbiornik na cyrkulującą płuczkę wiertniczą, usytuowany pomiędzy systemem separacji faz i tłokową pompą wysokiego ciśnienia

Alarm (*alarm*) – urządzenie ostrzegawcze wyzwalane przez obecność nienormalnych warunków w maszynie lub w systemie wiertniczym.

Aluwialny (*alluvial*) – naniesiony przez rzeki (osady aluwialne)

Amerykański Instytut Naftowy (*American Petroleum Institute*) – źródło norm i referencji dla przemysłu wiertniczego na świecie

Analiza ciśnień (*downhole pressure analysis*) – określenie bilansu pomiędzy ciśnieniem dopuszczalnym wynikającym z obecności nadkładu i ciśnieniem dennym będącym konsekwencją działania wiertniczego

Anion (*anion*) – jon naładowany ujemnie

Awaria (*breakdown*) – awaria sprzętu lub awaria wewnątrz otworu wiertniczego.

Azymut (*azimuth*) – w wierceniu kierunkowym kierunek osi otworu odchylony od północy geograficznej lub północy magnetycznej w stopniach (0–360°) zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara.

B

TERMINY WIERTNICZE

Balastowanie – proces polegający na obniżeniu siły kontaktowej pomiędzy instalowanym rurociągiem i ścianą otworu wypełnionego płuczką poprzez celowe wprowadzenie do wnętrza rurociągu balastu o optymalnej masie

Barka (*barge*) – płaskopokładowy statek o płytkim zanurzeniu, który może pomieścić platformę wiertniczą

Baza danych (*database*) – pełen zbiór plików (informacji) zbieranych i analizowanych w procesie wiercenia

Bentonit (*bentonite*) – drobnosproszkowany materiał ilasty (głównie montmorylonit), który pęcznieje (dysperguje) po zmieszaniu z wodą. Powszechnie stosowany jako strukturotwórczy materiał płuczkowy

C

TERMINY WIERTNICZE

Calizna rury płuczkowej (*drill pipe body*) – środkowa część stalowej rury (pomiędzy dwoma zwornikami), spęczana na końcach

Cementowanie (*cementing*) – zastosowanie płynnego zaczynu bazującego na wodzie i cemente portlandzkim w celu uszczelniania stref chłonnych lub izolowania przestrzeni pierścieniowej pomiędzy casin-giem i ścianą otworu wiertniczego

Centralizator (*centraliser*) – element centrujący położenie narzędzia wiertniczego w osi otworu

Ciśnienie cyrkulacyjne (*circulating pressure*) – ciśnienie generowane przez maszynę roboczą (pompa płuczkowa) dla podtrzymania obiegu płuczkowego przy zadanym strumieniu przepływu

Ciśnienie denne hydrostatyczne (*hydrostatic pressure*) – ciśnienie wywierane przez słup płuczki na ścianę otworu w stanie spoczynku

Ciśnienie denne dynamiczne (*dynamic pressure*) – ciśnienie wywierane przez płuczkę na ścianę otworu w stanach cyrkulowania w otworze (z uwzględnieniem oporów przepływu)

Ciśnienie różnicowe (*differential pressure*) – pojęcie związane z pracą silnika wgłębnego; jest to różnica ciśnienia mierzonego na pompie w trakcie pracy narzędzia na spodzie otworu i ciśnienia mierzonego podczas cyrkulowania nad dnem otworu

Ciśnienie zgniatające (*collapse pressure*) – wielkość siły potrzebna do zniszczenia powierzchni bocznej rury; wynika z różnicy ciśnienia panującego na zewnątrz i wewnątrz rurociągu. Parametr krytyczny z punktu widzenia instalacji rurociągów wykonanych z tworzyw sztucznych

Cyrkulowanie (*circulating*) – załaczanie do otworu płuczki wiertniczej, jej powrót, wraz ze zwiercinami na powierzchnię do systemu oczyszczania (kondycjonowania) i ponowne kierowanie jej do otworu; komponentami systemu cyrkulacyjnego są: pompa płuczkowa, infrastruktura rurociągową, przewód wiertniczy, narzędzie wiertnicze, przestrzeń pierścieniowa otworu, system separacji i kondycjonowania

Czas obiegu płuczki (*circulation time*) – czas potrzebny na załoczenie płuczki na dno otworu i jej powrót na powierzchnię

Czop (*pin*) – męskie połączenie gwintowe (gwint na zewnątrz zwornika)

D

TERMINY WIERTNICZE

Deklinacja magnetyczna (*magnetic declination*) – kąt między północą rzeczywistą a północą magnetyczną, różni się w zależności od położenia geograficznego

Demobilizacja (*demobilization*) – wszystkie czynności mające przywrócić tereny objęte pracami konstrukcyjnymi do stanu pierwotnego obejmujące m.in. demontaż urządzeń i sprzętu, demontaż rurociągów i innych czasowych konstrukcji, utylizację urobku i szlamu, rekultywację terenu

Długość otworu (*measure depth / distance*) – odległość zmierzona wzdłuż osi otworu będąca sumą długości wszystkich elementów przewodu wiertniczego (sumą długości wszystkich sekcji otworu pomiędzy punktem wejścia i punktem wyjścia)

Dodatek (*additive*) – substancja dodana w małych ilościach do głównego produktu, aby zmienić niektóre charakterystyczne parametry dla tego ostatniego, najczęściej pod tym pojęciem znajdujemy materiały do produkcji płuczek wiertniczych i zaczynów cementowych

Dodawanie kawałka (*connection*) – zakładanie (odkładanie) kolejnej rury płuczkowej w procesie wiercenia otworu, polegające na rozcięciu, a następnie docięciu połączenia gwintowego z kontrolowanym momentem

Dokładność (*accuracy*) – zdolność pomiaru za pomocą instrumentu do dokładnego wskazywania wartości lub przybliżenie prawdziwej wartości

Dolny zestaw przewodu wiertniczego (*bottom hole assembly*) – elementy wyposażenia głębokiego usytuowane pomiędzy pierwszą rurą płuczkową i narzędziem urabiającym (świdrem, poszerzaczem); komponentami BHA mogą być narzędzia, motor, obciążniki, łączniki wiertnicze, centralizatory, stabilizatory i narzędzia specjalnego przeznaczenia

Dystrybucja czasu (*time distribution*) – podział czasu realizacji projektu na czas produktywny (prace wiertnicze + prace pomocnicze) oraz czas nieproduktywny (prace pozostałe + awaria i komplikacje).

Dysze narzędzia (*nozzles*) – wyprofilowane otwory montowane na końcu kanałów płuczkowych w narzędziach wiertniczych,

w których dochodzi do przyspieszania płynu wiertniczego, analizowana jest prędkość wypływu z dysz, spadek ciśnienia przy zadanym przepływie oraz energia hydrauliczna na jednostkę pola przekroju narzędzia

Dźwig boczny (*sideboom*) – maszyna robocza służąca do podnoszenia, opuszczania, podtrzymywania i przesuwania ciężkich elementów rurowych, niezbędna przy prefabrykacji i instalacji rurociągu

E

TERMINY WIERTNICZE

Efekt tłokowania (*swabbing effect*) – sytuacja utraty stateczności ściany i/lub przepływu płuczki do formacji będąca skutkiem szybkiego ruchu przewodu w otworze w trakcie operacji wyciągowych i lokalnej utraty równowagi ciśnień.

Ekwiwalentna gęstość płuczki (*equivalent circulating density*) – efektywna gęstość krążącego płynu wiertniczego, poza gęstością mierzoną w warunkach statycznych uwzględnia spadek ciśnienia w przestrzeni pierścieniowej pomiędzy punktem pomiarowym a powierzchnią terenu

F

TERMINY WIERTNICZE

Faza stała (*solids*) – cząstki wprowadzone do płynu wiertniczego w sposób celowy (materiały płuczkowe) lub w wyniku procesu wiertniczego (zwierciny); ilość fazy stałej powinna być monitorowana i ograniczana do niezbędnego technologicznego minimum, faza stała wpływa znacząco na charakterystykę reologiczną płynu

Finalizacja projektu (*project finalization*) – przekazanie dokumentacji powykonawczej przeprowadzonych robót, w tym rysunków potwierdzających przebieg instalacji, podpisane niezbędnych i wymaganych kontraktem protokołów odbioru

Firma wiertnicza (*drilling contractor*) – podmiot będący w posiadaniu systemu wiertniczego i zatrudniający załogę wymaganą do jego obsługi

Flokulacja (*flocculation*) – koagulacja fazy stałej w płuczkę wiertniczej wywołana specjalnymi dodatkami chemicznymi lub naturalnym skażeniem

Funkcje płynu wiertniczego (*drilling fluid functions*) – cechy (zdolności) jakimi powinien charakteryzować się płyn dla jego skutecznej aplikacji w otworze. Do podstawowych funkcji należą: kontrola ciśnień w otworze, transport i utrzymywanie w suspensji zwiercin, dostarczanie mocy hydraulicznej na dno otworu, odprowadzanie ciepła, redukcja tarcia

G

TERMINY WIERTNICZE

Gatunki stali wiertniczych (*drill pipe steel grade*) – stale stopowe stosowane do produkcji przewodu wiertniczego różnicowane zgodnie z normą API według wytrzymałości materiału na rozciąganie wyrażonego w tysiącach psi (funtów na cal kwadratowy)

Generator elektryczny (*electric generator*) – maszyna, za pomocą której energia mechaniczna zamieniana jest w elektryczną

Gęstość (*density*) – masa substancji na jednostkę objętości

Głębokość wiercenia (*true vertical depth*) – przyjęta jako różnica elewacji punktu wejścia (wyjścia) i aktualnej pozycji narzędzi

Gradient szczelinowania (*fracture gradient*) – miara wytrzymałości skały na ciśnienie wewnętrzne wyrażona w jednostce ciśnienia na jednostkę głębokości (miąższości)

Granica płynięcia (*yield point*) – parametr występujący z modelach reologicznych m.in. Binghama, Herschel-Bulkleya, Zarmory oznaczająca graniczne naprężenie styczne, po pokonaniu którego uruchamiany jest przepływ, ustalenie rzeczywistej granicy płynięcia jest niezbędne dla określenia oporów przepływu

H

TERMINY WIERTNICZE

Hard banding – specjalny materiał służący do wykładania powierzchni zwornika przewodu wiertniczego, zabezpieczający przed jego wycieraniem i utratą średnicy nominalnej

Hole opener – typ narzędzia do poszerzania otworu składającego się z korpusu, ramion i gryzów urabiających w wersji rolkowej lub alternatywnie z korpusu i struktury tnącej w wersji skrawającej

Horizontalne Wiercenie Kierunkowe (*Horizontal Directional Drilling*) – kilkietapowa technika wiertnicza, której celem jest instalacja pod powierzchnią terenu rurociągów i kabli zgodnie z zatwierdzonym uprzednio projektem; cechą charakterystyczną metody jest płuczkowe, orientowane wiercenie pilotowe realizowane z wykorzystaniem przewodu wiertniczego po zdefiniowanej krzywej

Hydraulika otworowa (*downhole hydraulic*) – dział inżynierii wiertniczej zajmujący się przepływami przez zmienne geometrie, spadkami ciśnień w układzie, reologią, mechanizmami transportu zwiercin, oddziaływaniem płynu na ścianę otworu wiertniczego

Hydrocyklon (*hydrocyclone*) – urządzenie do separacji cząstek stałych z płuczki wiertniczej. Płyn jest pompowany stycznie do komory hydrocyklonu, a rotacja płynu wewnątrz stożka zapewnia wystarczającą siłę odśrodkową do oddzielenia cząstek o ciężarze właściwym większym od ciężaru właściwego płuczki



TERMINY WIERTNICZE

Inklinacja (*inclination*) – miara odchylenia osi wierconego otworu od pionu wyrażona w stopniach

Instalacja rurociągu (*pipeline pulling*) – ostatnia faza procesu konstrukcyjnego HDD, w trakcie której rurociąg lub grupa rurociągów zostaje wprowadzona do otworu za pomocą przewodu wiertniczego

Instalacja morska doprowadzona na ląd (*landfall*) – specyficzny typ instalacji przeprowadzonej pomiędzy lądem i akwenem morskim, przekracza linię brzegową, medium transportowane jest w kierunku lądu

Instalacja lądowa wyprowadzona w morze (*outfall*) – specyficzny typ instalacji przeprowadzonej pomiędzy lądem i akwenem morskim, przekracza linię brzegową, medium transportowane jest w kierunku morza

Instalacja wielorurowa (*multiduct installation*) – instalacja w otworze wiertniczym więcej niż jednego rurociągu

Instrumentacja (*fishing*) – proces, w którym z otworu wiertniczego są usuwane pozostawione w nim elementy narzędzi lub przewodu wiertniczego

Intensywność zmiany kątovej (*dogleg*) – zmiana kątowa w przestrzeni trójwymiarowej (inklinacja i azymut) na jednostkę długości otworu; często termin odnosi się do sekcji, w której zmiany kątowe są większe niż zakładał projekt – zwykle ze szkodliwymi skutkami ubocznymi

Intersect – metoda polegająca na jednoczesnym wierceniu dwóch otworów pilotowych, których trajektorie przecinają się w wyznaczonym miejscu, a przewód wiertniczy zostaje zintegrowany

Interwał pomiarowy (*survey interval*) – długość odcinka pomiędzy punktami pomiarowymi

Inżynier płuczkowy (*mud engineer*) – zwykle pracownik specjalistycznej firmy serwisowej, której główna odpowiedzialność w trakcie projektu wiertniczego polega na programowaniu, testowaniu i utrzymywaniu założonych właściwości płynu wiertniczego

Inżynier wiertnik (*drilling engineer*) – inżynier specjalizujący się w technicznych i technologicznych aspektach procesu wiertniczego



TERMINY WIERTNICZE

Jednostkowa energia mechaniczna (*mechanical specific energy*) – ilość energii niezbędnej do skruszenia skały o jednostkowej objętości



TERMINY WIERTNICZE

Kalibracja otworu (*calibration run*) – kontrolny marsz techniczny w otworze mający na celu potwierdzenie i/lub poprawę jakości wywierconego otworu

Kalibrator (*calibrator*) – narzędzie służące do sprawdzenia jakości otworu o średnicy

równej lub nieznacznie mniejszej od aktualnej średnicy otworu

Kask wiertniczy (*hard hat*) – twardy kask wykonany z tworzywa, chroniący głowę przed niebezpieczeństwem zranienia

Kation (*cation*) – jon naładowany dodatnio

Karta bezpieczeństwa materiału płuczkowego (*Material Safety Data Sheet*) – standardowy dokument określający cechy materiału, zakres i ograniczenia stosowania, sposób postępowania z nim i stopień jego oddziaływania na środowisko

Karta pracy narzędzia (*drilling tool record*) – raport zawierający listę użytych narzędzi podczas operacji wiercenia otworu, podający: typ i średnicę narzędzia, typ formacji geologicznej, długość przewiercanego interwału, postęp liniowy i stan techniczny narzędzia po zakończeniu marszu

Kawałek (*joint*) – pojedyncza rura płuczkowa

Kąt wyprzedzenia (*lead angle*) – kierunek, w którym inżynier kierunkowy kieruje os otworu, aby zrekompensować naturalną dewiację wynikającą z prawej rotacji przewodu wiertniczego (świdra), kąt wyprzedzenia jest mierzony w stopniach po lewej lub prawej stronie w stosunku do proponowanego kierunku

Kąty wejścia i wyjścia (*entry / exit angle*) – kąt pomiędzy przewodem wiertniczym i powierzchnią terenu

Kierownik wiertni (*drilling supervisor / toolpusher*) – osoba dozoru kierująca pracami wiertniczymi; powinna posiadać odpowiednie kwalifikacje i doświadczenie stosowne do klasy urządzenia wiertniczego

Klucze wiertnicze (*tongs*) – duże klucze używane do łączenia i rozłączania odcinków rur płuczkowych i/lub narzędzi wiertniczych z kontrolowanym momentem

Kod IADC – kod standardowo wykorzystywany do opisu typu narzędzi wiertniczych i do oceny stopnia ich zużycia

Kohezja (*cohesion*) – nazwa zjawiska stawiania oporu przez ciała fizyczne, poddawane rozdzielaniu. Jej miarą jest praca potrzebna do rozdzielenia określonego ciała na części, podzielona przez powierzchnię powstałą na skutek tego rozdzielania

Kolumna przewodu wiertniczego (*drill string*) – skręcone ze sobą elementy tworzące jedną nieprzerwaną całość w postaci: rur płuczkowych, obciążników, łączników, stabilizatorów, centralizatorów,

opcjonalnie także: silnika wgłębnego, krzywego łącznika, amortyzatora drgań

Kondycjonowanie płynu wiertniczego (*mud conditioning*) – obróbka i kontrola parametrów płuczki wiertniczej w celu uzyskania prawidłowych właściwości. Może to obejmować stosowanie materiałów płuczkowych, kontrolę fazy stałej, dodawanie wody i innych środków specjalnych

Konsultant (*consultant*) – osoba zawierająca umowę ze spółką wiertniczą na wykonanie określonych prac związanych z nadzorem i serwisowaniem procesu wiertniczego

Kontrakt wiertniczy (*drilling contract*) – pisemna umowa zawierana pomiędzy generalnym wykonawcą lub inwestorem a spółką wiertniczą, która może być egzekwowana przez prawo i zawierająca listę warunków w ramach których prace mają zostać zrealizowane, umowa zawiera co najmniej zakres robót, termin rozpoczęcia i ukończenia prac oraz cenę wykonania zlecenia

Korekta trajektorii (*correction run*) – odcinek otworu, który musi być wiercony kierunkowo, aby doprowadzić do powrotu na właściwy (zaplanowany) kurs

Koroza (*corrosion*) – złożony proces chemiczny lub elektrochemiczny przez który metal jest niszczone na skutek reakcji z otoczeniem

Krętlik (*swivel*) – narzędzie stosowane w fazie instalacji procesu HDD, którego zadaniem jest uniemożliwienie przenoszenia momentu obrotowego z przewodu wiertniczego na instalowany rurociąg

Krzywa płynięcia – wykres zależności naprężeń stycznych od prędkości ścinania, kreślony na podstawie wskazań lepkościomierza obrotowego

Krzywy łącznik (*bent sub*) – grubościenny łącznik, którego osie połączeń gwintowych mufy i czopa krzyżują się i tworzą ugięcie pod kątem od 1 do 3 stopni, krzywy łącznik stosuje się dla odchylenia osi otworu w celu zmiany inklinacji i/lub azymutu

Lej płuczkowy (*hopper*) – urządzenie służące do dozowania materiałów płuczkowych do płuczki wiertniczej, wykorzystujące zwężkę Venturiego

Lepkość (*viscosity*) – właściwość płynów charakteryzująca ich opór wewnętrzny przeciw płynięciu

Lepkość plastyczna (*plastic viscosity*) – parametr modelu reologicznego Bingham'a wskazujący na stałe pochylenie krzywej płynięcia zaczepionej w punkcie odpowiadającym granicznemu naprężeniu stycznemu

Linia brzegowa (*shoreline*) – linia zetknięcia się powierzchni wody znajdującej się w zbiorniku z powierzchnią lądu

Linia transferowa (*mud return line*) – rurociąg służący do transferu płuczki i/lub szlamu wiertniczego ze strony rurociągowej na stronę maszynową

Lira (*pipeline*) – specjalne ułożenie przygotowanego do instalacji rurociągu na podporach stałych lub podporach ruchomych pozycjonowanych za pomocą dźwigów

Lokalizacja (*location*) – miejsce, w którym jest prowadzony projekt wiertniczy



TERMINY WIERTNICZE

Łącznik cyrkulacyjny (*jet sub*) – łącznik wiertniczy z wbudowaną dyszą

Łącznik nadświdrowy (*bit sub*) – krótki stalowy element łączący świder z motorem lub krzywym łącznikiem

Łącznik wiertniczy narzędziowy (*saver sub*) – łącznik czop x mufa dokręcany na stałe do górnego napędu (top drive) lub do narzędzi wiertniczych, którego zadaniem jest ochrona cennego gwintu narzędziowego

Łącznik wiertniczy przejściowy (*crossover sub*) – stalowy element pozwalający na łączenie zworników o różnych rozmiarach lub typach gwintów

Łupek (*shale / schist*) – skała charakteryzująca się dobrą łupkowatością o pochodzeniu osadowym, metamorficznym lub krystalicznym



TERMINY WIERTNICZE

Magnetometr (*magnetometer*) – urządzenie geodezyjne, które mierzy intensywność i kierunek ziemskiego pola magnetycznego

Margiel (*marl*) – skała osadowa składająca się z węglanów i minerałów ilastych

Materiały płuczkowe (*drilling fluids materials*) – materiały chemiczne używane do produkcji i kondycjonowania płynów wiertniczych, służące do spełniania ich funkcji i osiągania celów technologicznych; wśród podstawowych komponentów wyróżnia się materiały strukturotwórcze (np. bentonity, biopolimery), koloidy ochronne, inhibitory, środki specjalnego przeznaczenia, chemikalia komercyjne

Mesh – miara gęstości (ilości) otworów w siatkach (panelach) do sit wibracyjnych określona dla długości 1 cala bieżącego

Metody kalkulacji trajektorii otworu (*survey methods*) – metody mierzące do matematycznego ustalenia pozycji narzędzia wierzącego w oparciu o zmiany kierunku i inklinacji pomiędzy dwoma punktami pomiarowymi: metoda stycznej, zrównoważonej stycznej, średniego kąta, promienia krzywizny i minimalnej krzywizny.

Mieszadło (*agitator*) – łopatką napędzana silnikiem elektrycznym używana do mieszania w zbiorniku roboczym cieczy i ciał stałych podczas wiercenia z użyciem płuczki wiertniczej

Minerały ilaste (*clay minerals*) – składniki skał ilastych, które zapewniają ich plastyczne właściwości, wśród nich znajdują się między innymi kaolinit, illit i montmorillonit

Mobilizacja sprzętu (*mobilization of equipment*) – dostarczenie na miejsce budowy wymaganego kontraktem sprzętu wiertniczego, systemów płuczkowych, przewodu wiertniczego i wyposażenia wgłębnego

Modele reologiczne (*rheological models*) – formuły atematyczne służące do opisywania związków przyczynowo-skutkowych występujących pomiędzy parametrami reologicznymi płynu a technologią jego stosowania. Najpopularniejsze modele stosowane w technikach wiertniczych to model Bingham'a, Ostwalda de Waele, Herschela-Bulkleya, Zamory, Cassona



TERMINY WIERTNICZE

Łądowy (*onshore*) – znajdujący się na stałym lądzie

Moment obrotowy (*torque*) – wielkość fizyczna wynikająca z przyłożonej siły koniecznej do wykonania ruchu obrotowego po zadanym promieniu; w wiertnictwie HDD moment obrotowy dostarczany przez maszynę roboczą służy do pokonania oporów generowanych przez elementy przewodu wiertniczego wraz z zestawem narzędzi

Morski (*offshore*) – znajdujący się na morzu

Mufa (*box*) – żeńskie połączenie gwintowe (gwint wewnątrz zwornika)

Mułowiec (*mudstone*) – zwięzła skała okruczowa składająca się głównie z kwarcu, skaleni, minerałów węglanowych i ilastych

N

TERMINY WIERTNICZE

Nacisk na narzędzie (*weight on tool*) – jeden podstawowych parametrów technologicznych związanych z pracą narzędzia na spodzie otworu wyrażony w kN lub T

Nadkład (*overburden*) – warstwy skał leżące powyżej określonej formacji

Napęd górny (*top drive*) – urządzenie umożliwiające przekazywanie mocy mechanicznej (siły osiowej i momentu obrotowego) na przewód wiertniczy i tłoczenie płuczki do wnętrza przewodu

Narzędzie instrumentacyjne (*fishing tool*) – specjalnie zaprojektowane narzędzie, które mocuje się do przewodu wiertniczego, aby odzyskać elementy pozostawione w otworze lub połączyć się z przewodem wiertniczym

Nawigacja w otworze (*directional surveys*) – czynności służące do ustalania aktualnej pozycji narzędzia w otworze w stosunku do pozycji zaplanowanej; zarówno pomiary bezpośrednie, jak i kalkulacje geometryczne pozwalają operatorowi systemu na kierowanie trajektorii otworu

O

TERMINY WIERTNICZE

Obciążnik niemagnetyczny (*non-magnetic drill collar / monel*) – termin używany w stosunku do niemagnetycznego grubościennego elementu wykonanego ze specjalnej stali stopowej nie wpływającej na

wskazania magnetycznych przyrządów mierzących do pomiarów magnetycznych

Obroty narzędzia wiertniczego (*drilling tool revolution*) – jeden z podstawowych parametrów technologicznych związanych z pracą narzędzia na spodzie otworu wyrażony w obrotach na minutę

Obudowa sondy pomiarowej (*sonde housing*) – element rurowy będący miejscem zamontowania sondy pomiarowej służącej do lokalizacji narzędzia

Ochroniacze na gwinty (*thread protectors*) – elementy wykonane z metalu lub tworzywa sztucznego, które są nakręcane na zworniki przewodu wiertniczego lub narzędzi, aby zapobiec uszkodzeniom gwintów podczas transportu lub w czasie eksploatacji na wiertni

Odchodzenie świdra (*bit walk*) – tendencja świdra i kolumny przewodu wiertniczego do zbaczania z kursu przez podążanie za kierunkiem obrotu (zwykle w prawo) w otworze wierconym kierunkowo

Odchylenie osi strumieniem (*jet deflection*) – technika stosowana w wierceniach kierunkowych w celu odchylenia osi otworu płuczka wypływająca z dysz świdra w jednym określonym kierunku. Dysza narzędzia musi być zorientowana w kierunku zamierzonego odejścia

Odległość w planie (*AWAY*) – odległość pomiędzy punktem wejścia a dowolną pozycją w rzucie na płaszczyznę poziomą

Odpiaszczacz (*desander*) – hydrocyklon usuwający frakcję piaskową z płuczki

Odmulacz (*desilter*) – hydrocyklon usuwający część frakcji pyłowej z płuczki

Operacje wiertnicze (*drilling operations*) – czynności wiertnicze mające na celu wywiercenie otworu o określonej trajektorii i geometrii w zastanych warunkach geologicznych, w celu instalacji rurociągu lub grupy rurociągów; podstawowe operacje obejmują: wiercenie pilotowe, poszerzanie otworu, kalibrację otworu, instalację rurociągu; pomocnicze operacje obejmują m.in. mobilizację, demobilizację oraz prefabrykację i testy rurociągów

Operacje wyciągowe (*trip in / trip out*) – proces zapuszczania (do otworu) lub wyciągania zestawu wiertniczego (z otworu)

Operator strony rurowej (*pipe side man*) – osoba odpowiedzialna za dokręcanie i odkręcanie kawałków przewodu wiert-

niczego, obserwacje płynu wiertniczego i transfer szlamu na stronę wiertnicy

Optymalizacja (*optimisation*) – sposób planowania i wiercenia otworów pozwalający osiągnąć jak najlepsze wyniki dla poszczególnych kryteriów: czasu, kosztu, jakości, zakresu ryzyka

Osad filtracyjny (*filter cake*) – tworzący się na ścianie otworu osad będący skutkiem naturalnej filtracji płynu wiertniczego do porowatego (przepuszczalnego) ośrodka

Orientacja czoła narzędzia (*tool face*) – proces, w którym narzędzie wiertnicze zostaje ustawione w sposób, umożliwiający osiągnięcie prawidłowej inklinacji (pochylenia) i kierunku (azymutu)

Otwarty obieg płuczki (*open mud system*) – przypadek, w którym płuczka wiertnicza jest używana po jednokrotnym użyciu jej w otworze i nie podlega oczyszczaniu w mechanicznych systemach separacji faz

Otwór pilotowy (*pilot hole*) – otwór kierunkowy jaki powstaje w pierwszej fazie procesu HDD. Na tym etapie determinowane jest położenie rurociągu

Otwór podwymiary (*tight hole*) – sekcja otworu o średnicy poniżej rozmiaru nominalnego

Otwór wiertniczy (*borehole*) – wyrobisko o przekroju kołowym powstałe na skutek zwiercenia (wypłukania) skały przez narzędzia wiertnicze (świdry, poszerzacze). Otwór może być w trakcie operacji wiertniczych częściowo zarurowany (zabezpieczony mechanicznie) lub całkowicie otwarty (podparty jedynie płynem wiertniczym)

Otwór w kształcie klucza (*key-hole, key-seat*) – kanał wydrążony przez obracający się przewód równolegle do osi otworu

Overband – łuk wykreślony przez instalowany rurociąg stalowy przed wejściem do otworu wiertniczego, wysokość i promień łuku determinowany jest przez kąt wyjścia oraz geometrię rurociągu

Overcut – parametr określający stosunek nominalnej średnicy otworu do średnicy zewnętrznej rurociągu (z izolacją)

P

TERMINY WIERTNICZE

Panel sterowania (*control panel*) – manipulatory, przełączniki i urządzenia do sterowania procesem wiertniczym, jego monitorowania i archiwizowania.

Parametry (*parameters*) – wartości, które charakteryzują i podsumują najważniejsze cechy pomiarów

Parametry wiercenia (*drilling parameters*) – niezbędne do prowadzenia procesu parametry mechaniczne (nacisk osiowy, moment obrotowy, prędkość obrotowa narzędzia) i hydrauliczne (strumień cyrkulującej płuczki, energia hydrauliczna na spodzie otworu).

Parametry wiercenia kierunkowego (*directional parameters*) – wartości ustalane na podstawie pomiarów dokonywanych przez sondę wgłębną (inklinacja, azymut, orientacja czoła narzędzia) lub ustalane w wyniku kalkulacji (współrzędne X,Y,Z)

pH – wskaźnik kwasowości lub zasadowości substancji, suspensji lub roztworu prezentowany w skali od 0 do 14, przy czym wartości powyżej 7 oznaczają poziom zasadowy

Piasek (*sand*) – materiał ścierny złożony z małych ziaren kwarcu, o cząsteczkach w zakresie rozmiaru od 1/16 mm do 2 mm.

Piaskowiec (*sandstone*) – drobnoziarnista skała osadowa

Płuczka inhibitowana (*inhibitive fluid*) – płuczka wzbogacona chemikaliami (substancjami) ograniczająca aktywność ścian i zwiercin ilastych

Płuczka wiertnicza (*mud*) – potoczna nazwa płynu wiertniczego (węższy zakres znaczeniowy)

Płyn pseudoplastyczny (*pseudoplastic fluid*) – płyn wiertniczy charakteryzujący się zmienną lepkością na skutek zmiany prędkości ścinania, lepkość narasta wraz ze spadkiem intensywności ścinania

Płyn rozrzedzany ścinaniem – płyn nienewtonowski, w którym naprężenie styczne wzrasta mniej niż proporcjonalnie do prędkości ścinania, charakterystykę tego typu posiadają płyny wiertnicze stosowane w HDD

Płyn wiertniczy (*drilling fluid*) – płyn krążący w otworze podczas normalnych operacji wiertniczych, spełniający powierzone mu funkcje. Woda stanowi ośrodek rozpraszający, komponenty płuczkowe i faza pozyskana

z otworu stanowi ośrodek rozpraszany

Podłoże skalne (*bedrock*) – lita skała położona pod miękkimi osadami

Polimery (*polymers*) – substancje chemiczne o bardzo dużej masie cząsteczkowej, które składają się z wielokrotnie powtórzonych jednostek zwanych merami. W technologii płynów wiertniczych stosuje się zarówno polimery pochodzenia naturalnego, jak i polimery syntetyczne

Pomiar parametrów w trakcie wiercenia (*measurement while drilling*) – metoda pomiaru parametrów wiercenia kierunkowego, ciśnienia dennego, parametrów technologicznych (nacisk i moment obrotowy na świrdrze) i wysyłanie wyników na powierzchnię bez przerywania procedury wiertniczej.

Pomocnik wiertacza (*asistant drillier – rig hand*) – osoba wykonująca prace pomocnicze na wiertni (np. dokładanie i zdejmowanie przewodu wiertniczego, łączenie kabla transmitującego sygnał z sondy pomiarowej)

Pompa odśrodkowa (*centrifugal pump*) – pompa składająca się z wirnika, wału i obudowy, która tłoczy płyn dzięki sile odśrodkowej, często używana w systemach separacji faz i układach kondycjonowania płuczki wiertniczej

Pompa płuczkowa (*mud pump / triplex pump*) – urządzenie wywołujące cyrkulację płuczki w otworze, jest nim na ogół wysokociśnieniowa, trzytłokowa pompa pojedynczego działania, zdolna do pokonywania oporów przepływu i przekazująca energię hydrauliczną przez dysze narzędzia na dno otworu

Porowatość (*porosity*) – parametr używany do wyrażenia objętości porów w skale (zwykle podawany jako procent objętości jednostkowej)

Postęp wiercenia (*rate of penetration*) – wskaźnik liniowego postępu wyrażony na ogół w m/min lub w m/godz.

Poszerzacz (*reamer*) – narzędzie służące do poszerzania otworu pilotowego do określonej średnicy i/lub stabilizacji wgłębnego zestawu poszerzającego i/lub instalującego; ze względu na cechy konstrukcyjne rozróżnia się poszerzacze typu: otwartego / zamkniętego lub poszerzacze bez części łożyskowanych / z rolkami (gryzami); struktura tnąca narzędzi wymaga rotacji przewodu do ich prawidłowego stosowania

Poszerzanie – etap w procesie HDD polegający

na powiększeniu średnicy otworu pilotowego do średnicy większej od średnicy instalowanego rurociągu lub ekwiwalentnej średnicy grupy rurociągów

Potwierdzenie (*acknowledgement*) – oświadczenie lub przyznanie się do jakiegokolwiek aktu lub faktu dokonanego przez urzędnika publicznego lub inną upoważnioną osobę do potwierdzenia, że jest to zgodne z prawem lub zamierzonym efektem

Północ magnetyczna (*magnetic north*) – kierunek północny w polu magnetycznym Ziemi wskazywany przez igłę kompasu magnetycznego

Prasa filtracyjna (*filter press*) – urządzenie służące do pomiaru filtracji płynu wiertniczego w zdefiniowanych warunkach ciśnienia i temperatury

Prędkość krytyczna przepływu (*critical velocity*) – punkt przejściowy pomiędzy laminarnym i turbulentnym reżimem przepływu

Prędkość wypływu z dysz (*jet velocity*) – prędkość do jakiej przyspieszana jest płuczka w dyszach narzędzia wyrażana najczęściej w m/s, jeden z kluczowych parametrów hydrauliki otworowej

Prędkość w przestrzeni pierścieniowej otworu (*annular velocity*) – jeden z kluczowych parametrów hydrauliki otworowej, znajduje swoje odzwierciedlenie w programie robót wiertniczych

Profil lepkościowy (*rheological profile*) – pomiar stresu (naprężenia) dla poszczególnych prędkości obrotowych przyrządu (prędkości ścinania) wykonywany w kilku (kilkunastu) charakterystycznych punktach, lepkość jest ilorazem mierzonego naprężenia i prędkości ścinania, do wykonania pomiaru wykorzystuje się lepkościomierz obrotowy

Program płuczkowy (*mud program*) – zespół parametrów płuczkowych i technologicznych, rekomendowanych dla danego projektu, każdy parametr powinien być podawany w możliwie wąskim zakresie

Promień krzywizny (*drilling radius*) – parametr wiercenia kierunkowego, określający stopień lokalnego skrzywienia krzywej (trajektorii)

Przeciwcisnienie (*back pressure*) – ciśnienie utrzymywane w przewodzie wiertniczym, na sprzęcie lub systemach rurociągowych, przez które możliwy jest przepływ

płynu

Przepływ laminarny (*laminar flow*) – przepływ uwarstwiony, w którym płyn przepływa w równoległych warstwach, bez zakłóceń między warstwami. Przepływ taki zachodzi przy odpowiednio małej prędkości przepływu

Przepustowość systemu płuczkowego (*mud system capacity*) – maksymalna zdolność do cyrkulowania przez elementy układu (pompa płuczkowa, system kondycjonowania, system separacji faz)

Przestój (*downtime*) – czas, w którym prace wiertnicze są zatrzymane, otwór nie jest wiercony aktywnie

Przestrzeń pierścieniowa (*annulus*) – przestrzeń geometryczna pomiędzy zewnętrzną średnicą przewodu wiertniczego a aktualną średnicą otworu

Przewód wiertniczy grubościenny (*heavy wall drill pipe*) – rura wiertnicza produkowana ze ścianką grubszą niż w standardowej rurze płuczkowej, spęczana na środku

Przykrycie (*cover depth*) – odległość osi otworu od nadległej powierzchni terenu

Punkt wejścia (*entry point*) – miejsce kontaktu świda z powierzchnią terenu po stronie urządzenia wiertniczego

Punkt wyjścia (*exit point / target*) – określony przez projektanta cel na powierzchni terenu, do którego musi dotrzeć otwór wiertniczy

R

TERMINY WIERTNICZE

Raport płuczkowy (*mud report*) – dzienny raport technologiczny przygotowywany na miejscu projektu przez inżyniera płuczkowego, zawiera co najmniej program płuczkowy, dane pochodzące z pomiarów laboratoryjnych, konsumpcję i stany materiałów płuczkowych, dane dotyczące pojemności systemu płuczkowego, dane cyrkulacyjne i hydraulikę otworową

Raport wiertacza (*driller's report*) – tworzony na bieżąco raport będący zestawieniem parametrów mechanicznych, hydraulicznych i kierunkowych dotyczących każdego odcinka wierconego otworu, odpowiadającego długości przewodu wiertniczego

Raporty wiertnicze (*drilling reports*) – materiały źródłowe służące monitorowaniu, analizie

czynności, tworzeniu baz danych i statystyk wiertniczych; raporty są tworzone i dystrybuowane na bieżąco; stroną tworzącą raporty są firmy wiertnicze oraz firmy serwisowe; raporty powinny zawierać opis bieżących procedur wiertniczych, rejestrowane parametry technologiczne oraz komentarz do nich

Rdzeniowanie (*coring*) – proces pobierania cylindrycznej próbki skał, mający na celu rozpoznanie budowy geologicznej obszaru objętego wierceniami, rekomenduje się pozyskiwanie próbek w stanie możliwie mało naruszonym

Reaktywny moment obrotowy (*reactive torque*) – tendencja przewodu do obracania się w przeciwnym kierunku niż kierunek rotacji świda. Ten efekt należy wziąć pod uwagę podczas ustawiania (orientowania) czoła narzędzia

Reologia (*rheology*) – nauka o odkształceniach (deformacji) oraz płynięciu materiałów, w przypadku suspensji empirycznie ustala się zależność pomiędzy prędkością ścinania i naprężeniem, przepływ jest jednym z trzech podstawowych rodzajów odkształceń

Reprezentant inwestora (*company man*) – przedstawiciel inwestora delegowany do nadzorowania prac wiertniczych

Rozkręcanie (*breakout*) – odłączanie jednego odcinka rury płuczkowej od drugiego

Rozpoczęcie prac wiertniczych (*spud the hole*) – pierwszy dzień wiercenia otworu pilotowego

Rura płuczkowa (*drill pipe*) – ciężka bezszwowa rura, która służy do przekazywania do narzędzia energii mechanicznej (nacisku i rotacji) oraz energii hydraulicznej. Rury płuczkowe łączy się za pomocą gwintowanych zworników w kolumnę przewodu wiertniczego

Ryzyko wiertnicze (*drilling risk*) – zdarzenie niepewne o możliwym do wyliczenia prawdopodobieństwie, które może wpłynąć na przedsięwzięcie wiertnicze

S

TERMINY WIERTNICZE

Sekcja nabierania kąta (*build-up section*) – część trajektorii otworu w której następuje wzrost inklinacji

Sekcja pozioma (*horizontal section*) – środkowa część otworu kierunkowego HDD o inklinacji zbliżonej do 90°

Sekcja zrzucania kąta (*drop-off section*) – część trajektorii otworu, w której następuje obniżanie inklinacji

Sieciowanie (*cross-linking*) – proces molekularny mostkowania polimerów z innymi substancjami chemicznymi zmieniający lepkość i poprawiający zdolność do transportu zwiercin

Silnik wgłębny (*mud motor*) – naporowy silnik hydrauliczny, w którym moment obrotowy generowany jest przez strumień płuczki przepływającej pomiędzy statorem i rotorem; wgłębny silnik hydrauliczny działa na zasadzie silnika Moineau, a jego cechą charakterystyczną jest iloraz kinematyczny

Siła osiowa (*thrust force / pulling force / drag*) – siła działająca wzdłuż osi przewodu wiertniczego w wyniku prowadzenia operacji wiertniczych; w fazie wiercenia pilotowego przewód jest ściskany (siła pchania, naporu, nacisku), w fazie poszerzania, kalibracji i instalacji przewód jest na ogół rozciągany (siła ciągnięcia)

Sito wibracyjne (*shale shaker*) – urządzenie przesiewające, którego jeden z elementów wibruje z określoną częstotliwością i amplitudą, sito odrzuca fazę stałą o ziarnie skorelowanym z wielkością oczek na panelu (siatce) sita; ze względu na przekrój płaszczyzny, w jakiej odbywa się ruch drgającej ramy sita, możemy wydzielić urządzenia o ruchu: kołowym, eliptycznym, liniowym (linearnym)

Skażenie jonowe (*ion contamination*) – zanieczyszczenie płuczki jonami rozpuszczonymi będącymi wynikiem interakcji z przewiercaną formacją lub celowym działaniem w ramach inżynierii płuczkowej

Skomplikowana trajektoria (*complex profile*) – otwór kierunkowy charakteryzujący się zmianami zarówno w obszarze inklinacji, jak i azymutu, sumaryczna zmiana kątowa przekracza 45°

Skręcanie (*make-up*) – łączenie dwóch odcinków przewodu wiertniczego

Sonda pomiarowa (*steering tool*) – wgłębne narzędzie sterujące (instrument geodezyjny) stale monitorujące azymut, inklinację (nachylenie) i położenie czoła narzędzia, Pomiaru są przekazane w czasie rzeczywistym na powierzchnię poprzez kabel i pokazane na wyświetlaczu w kabinie wiertacza

Spadek ciśnienia (*pressure drop*) – przepływ przez układ cyrkulacyjny powoduje

stratę ciśnienia, które zużywa się na pokonanie oporów ruchu, opory ruchu składają się z oporów tarcia na długości i z oporów miejscowych w dyszach

Stabilizator (*stabiliser*) – element umieszczony w BHA w celu kontrolowania odchylenia osi otworu, w celu uzyskania zamierzonych efektów można zastosować jeden lub więcej stabilizatorów

Stacja pomiarowa (*survey station*) – punkt, w którym wykonywany jest pomiar aktualnego położenia sondy

Suchy otwór (*dry hole*) – fragment otworu niepodparty płynem wiertniczym, efekt obserwowany na skutek różnicy rzędnych terenu pomiędzy punktem wejścia i punktem wyjścia

Sygnał (*signal*) – informacja o zmiennym parametrze, która podlegać może transmisji

Systemy nawigacji (*navigation systems*) – systemy magnetyczne, elektromagnetyczne i żyrokompasowe umożliwiające ustalanie pozycji narzędzia i kierowanie trajektorią otworu, wykorzystują ziemskie pole magnetyczne i pole grawitacyjne

System oczyszczania płuczki (*recycling unit*) – zintegrowany system mechanicznej i chemicznej separacji faz działający na zasadzie sekwencyjnej (od grubej do drobnej frakcji); elementami systemu mogą być m.in. siła wibracyjne, hydrocyklony, mud cleanery, wirówki dekantacyjne, prasy filtracyjne

Szczelina (*fracture*) – pęknięcie w strukturze skały wzdłuż określonego kierunku, może występować naturalnie lub może być wywołane przez zastosowanie nadmiernego ciśnienia dennego w wierconym otworze



TERMINY WIERTNICZE

Ścieżka krytyczna (*critical path*) – w teorii zarządzania projektami wiertniczymi oznacza ciąg takich działań (zadań), spośród których opóźnienie któregośkolwiek opóźni zakończenie realizacji całego projektu

Ślepe wiercenie (*drilling blind*) – wiercenie z całkowitym zanikiem płuczki wiertniczej

Średnica otworu (*hole diameter*) – średnica wynikająca z rozmiaru narzędzia (średni-

ca nominalna) lub rozmiaru faktycznego (średnica efektywna)

Świder (*drilling bit*) – narzędzie zwierające lub działające hydromonitorowo na skałę w procesie wiercenia otworu pilotowego, składa się ze struktury tnącej i z układu umożliwiającego krążenie płuczki

Świder hydromonitorowy (*jet bit*) – narzędzie służące do urabiania miękkiej formacji strumieniem płuczki przyspieszanej w dyszach

Świder trójgryzowy (*tri cone bit / rock bit*) – narzędzie składające się z trzech zespanych segmentów wyposażonych w czop na końcu którego osadzony jest gryz uzbrojony we frezowane stalowe zęby lub w słupki z węgla wolframu (TCI); w segmentach świda wydrążone są kanały płuczkowe



TERMINY WIERTNICZE

Tabela stratygraficzna (*stratigraphic table*) – schemat obrazujący przebieg historii Ziemi na podstawie następstwa procesów geologicznych i układu warstw skalnych

Tarcie (*friction*) – siła przeciwstawiająca się ruchowi obiektów stykających się między sobą powierzchnią

Tempo nabierania krzywizny (*build-up rate*) – szybkość, z jaką inklinacja narasta wraz z postępem wiercenia

Tiksotropia (*tixotropy*) – zjawisko fizyczne polegające na tymczasowym przejściu żelu w zol pod wpływem oddziaływania mechanicznego, zwykle pod wpływem wymuszania płynięcia i/lub mieszania, substancja wykazująca własności tiksotropowe posiada tzw. granicę płynięcia po przekroczeniu której upływnia się, a po ustaniu ścinania ponownie się konsoliduje

Tłok (*pig*) – element w kształcie cylindra służący do czyszczenia rurociągów

Tłok (*piston*) – element roboczy w pompie płuczkowej poruszający się ruchem posuwisto-zwrotnym w tulei

Tongi (*tongs*) – duże klucze służące do skręcania i rozkręcania połączeń gwintowych w przewodzie wiertniczym oraz w narzędziach

Trajektoria (*drilling profile*) – przestrzenne zobrazowanie osi otworu (profil otworu)

Tuleja (*cylinder*) – komora w pompie wysokiego ciśnienia, w której porusza się tłok

Twarda woda (*hard water*) – woda zawierająca rozpuszczone związki wapnia i magnezu



TERMINY WIERTNICZE

Układ koloidalny (*colloid*) – niejednorodna mieszanina, zwykle dwufazowa, tworząca układ dwóch substancji, w którym jedna z nich jest rozproszona w drugiej. Rozdrobnienie substancji rozproszonej jest tak duże, że fizycznie mieszanina sprawia wrażenie homogenicznej



TERMINY WIERTNICZE

Waga płuczkowa (*mud balance*) – przyrząd (waga ramienna) służący do określania ciężaru właściwego płynu

Wapień (*limestone*) – skała osadowa składająca się głównie z węglanu wapnia

Warunki otoczenia (*ambient conditions*) – warunki panujące w danym punkcie odnoszące się do temperatury, ciśnienia, wilgotności itp., parametry charakteryzujące są mierzalne za pomocą przyrządów, mierników, czujników

Wiercenie (*drilling*) – mechaniczno-hydrauliczny proces drążenia wyrobiska za pomocą narzędzia o przekroju kołowym. Proces polega na skrawaniu, ścieraniu, kruszeniu lub odpajaniu hydromonitorowym za pomocą obracającego się świda lub poszerzacza; przewód wiertniczy wprawiany jest w ruch obrotowy i ruch posuwisty za pomocą maszyny roboczej (wiertnicy); zwierciny z dna otworu wynoszone są za pomocą płuczki wiertniczej

Wiercenie powietrzne (*air drilling*) – metoda wiercenia wykorzystująca sprężone powietrze jako cyrkulującą płuczkę

Wiertacz (*driller*) – osoba obsługująca manualnie wiertnicę i kontrolująca proces drążenia otworu; musi posiadać kwalifikacje i odpowiednie uprawnienia

Wiertnica (*drilling rig*) – maszyna robocza realizująca operacje wiertnicze, służąca do wywierania sił osiowych na przewód wiert-

niczy, podtrzymywania prędkości obrotowej przewodu, a w konsekwencji do zapewnienia wymaganego momentu obrotowego

Wirówka (centriguge) – maszyna robocza wykorzystująca siłę odśrodkową do skutecznego rozdzielenia faz w systemie oczyszczania płuczki wiertniczej

Wskaźnik jakości otworu (hole quality index) – w nomenklaturze ROE jest to wskaźnik będący wynikiem oceny bieżącej jakości otworu

Wskaźnik trudności instalacji (hole difficulty index) – w nomenklaturze ROE jest to wskaźnik będący iloczynem długości otworu wyrażonej w metrach i średnicy rurociągu wyrażonej w calach

Współczynnik bezpieczeństwa (safety factor) – stosunek wartości niebezpiecznej do wartości dopuszczalnej

Współczynnik tarcia (friction factor) – stosunek siły tarcia do nacisku ciała na podłoże

Wyboczenie przewodu wiertniczego (drill pipe buckling) – odejście osi przewodu od osi otworu wiertniczego wywołane siłami ściskającymi, rozpatruje się wyboczenie sinusoidalne (bezpieczne) i helikalne (niebezpieczne)

Wydajność wiercenia (drilling efficiency) – wskaźnik objętościowego postępu wyrażony na ogół w l/min lub w m³/godz.

Wydatek pompy płuczkowej (pump output / flow rate) – objętość płuczki zatłaczanej do otworu w jednostce czasu; jeden z podstawowych parametrów technologicznych znajdujący odzwierciedlenie w programie wiercenia

Wytrzymałość strukturalna (gel strength) – zdolność suspensji koloidalnej do budowania żelu odpornego na ścinanie; żel (naprężenie) jest miarą zdolności utrzymania fazy stałej w suspensji

Zamknięty obieg płuczkowy (closed loop system) – układ, w którym płuczka permanentnie cyrkuluje pomiędzy powierzchnią i dnem wierconego otworu. Elementami umożliwiającymi trwałe podtrzymanie tego procesu są między innymi: zbiorniki płuczkowe z armaturą, pompy, rurociągi, przewód wiertniczy, narzędzia wgłębne, system kontroli fazy stałej (separacji faz). Wspomniane powyżej elementy są niezbędne dla skutecznego zamknięcia obiegu. W przypadku gdyby płuczka nie podlegała ponownemu wykorzystaniu w procesie, mielibyśmy do czynienia z obiegiem otwartym, w którym płyn wiertniczy po opuszczeniu otworu poddawany jest utylizacji

Zanik prawidłowej cyrkulacji (lost circulation) – zanik prawidłowego krążenia płuczki w otworze wywołany migracją do stref chłonnych lub przebiciem hydraulicznym przez warstwy nadległe na powierzchnię terenu

Zapas sprzętu (backup) – element wyposażenia trzymany w rezerwie na wypadek awarii innego elementu

Zarurzenie otworu (casing) – tymczasowe lub stałe zabudowanie przypowierzchniowych odcinków otworu HDD za pomocą rur stalowych (casingu), odcinki rur okładzinowych łączone są za pomocą spawania lub skręcane za pomocą połączeń gwintowych

Zatrzymanie rury produktowej (stuck pipe) – mechaniczne zakleszczenie instalowanego rurociągu, skutkujące osiągnięciem maksymalnej dostępnej siły osiowej

Zawartość piasku (sand content) – standardowy test płuczkowy polegający na oznaczeniu procentowej zawartości frakcji z zakresu od 74 µm do 2 mm

Zawór zwrotny (non return valve) – element wnętrza przewodu wiertniczego umożliwiający przepływ tylko w jednym kierunku

Zbiornik płuczkowy (mud tank / mud pit) – otwarty zbiornik, w którym płyn wiertniczy jest przechowywany i/lub kondycjonowany, wyposażony jest w niezbędne pompy, mieszadła i armaturę rurociągową

Zestaw budowania kąta (building assembly) – dolny zestaw przewodu specjalnie zaprojektowany w celu zwiększenia inklinacji

Zmęczenie materiału (fatigue) – podatność materiału na uszkodzenia na skutek powtarzającego się cyklicznie obciążenia

Zwierciny (cuttings) – rozdrobnione cząstki skały, wytworzone w procesie wiercenia i rozproszone w płuczce

Zwornik (tool joint) – element przewodu wiertniczego służący do łączenia rur płuczkowych, rur grubościennych, narzędzi i stabilizatorów



TERMINY WIERTNICZE

Żel (gel) – półstały, galaretowaty stan przyjmowany przez niektóre suspensje koloidalne w spoczynku, po wymieszaniu żel przechodzi w stan płynny

Żyroskopowy przyrząd pomiarowy (gyroscopic surveying instrument) – urządzenie używane do określania kierunku i inklinacji (stopnia odchylenia od pionu), przyrząd w zakresie oznaczania kierunku (azymutu) jest niezakłócany przez zewnętrzne pole magnetyczne czy istniejącą infrastrukturę zbudowaną ze stali



TERMINY WIERTNICZE

Zakres długości przewodu (range length) – trzy zakresy długości przewodu wiertniczego zawarte w specyfikacji API, najpopularniejszy zakres Range 2 zawiera się pomiędzy 25 i 34 stóp długości (feet)

Załoga wiertnicza (drilling crew) – pracownicy zatrudnieni na wiertni do obsługi procesu wiertniczego zarządzani przez wiertacza

Dziesiątą częścią artykułu o planowaniu i realizacji projektów HDD kończymy najdłuższy tekst tematyczny w historii kwartalnika „Inżynieria Bezwykopowa”. Dobre planowanie jest kluczem do bezpiecznego i ekonomicznego wiercenia użytecznego otworu. Planowanie wymaga intuicyjnych, zdroworozsądkowych osądów kontrolujących podejmowanie decyzji. Realizacja projektu to skoordynowane wysiłki wielu osób, z których każda wnosi do zadania określone umiejętności. Zarówno planowanie, jak i realizacja czerpie swoją kreatywną siłę z analizy rzeczywistych przypadków zbliżonych do aktualnie rozważanego (case studies). Przy szybkich zmianach technologicznych jakie dokonują się w HDD ważne jest, aby zachować świeżość spojrzenia na każdy kolejny projekt i upewnić się, że żaden problem krytyczny z punktu widzenia wydajności i jakości procesu wiertniczego nie został przeoczony. |



BEZWYKOPOWA BUDOWA

PLANOWANIE I REALIZACJA PROJEKTÓW HDD

CZĘŚĆ XI: OCENA WYDAJNOŚCI ROBÓT NA PODSTAWIE DANYCH STATYSTYCZNYCH

Projekty wiertnicze stają się coraz bardziej wymagające i złożone. Dłuższe otwory wiercone są na większych głębokościach, penetrując trudno urabialne lub aktywne chemicznie formacje. W konsekwencji może to wywołać wzrost kosztów operacyjnych, jeśli nie wdroży się skutecznych i zoptymalizowanych programów technologicznych. Warunkiem postępu jest poprawianie dotychczasowych rezultatów i wskaźników technicznych. Aby osiągnąć ten cel, branża musi prowadzić otwartą dyskusję skupiającą się na ocenie aktualnego stanu rynku, potencjalnych kierunkach rozwoju, aplikacji innowacyjnych technologii i możliwościach jakie ze sobą niosą



ROBERT OSIKOWICZ
ROE

(ur. 1966), absolwent Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Zajmuje się technologią wiercenia otworów kierunkowych i praktycznymi aplikacjami płynów wiertniczych w otworach różnego przeznaczenia. Jest autorem ponad 20 referatów wygłoszonych na międzynarodowych konferencjach technicznych, a także szeregu publikacji dotyczących konfiguracji sprzętu, optymalizacji techniki wiercenia, analiz rynku technologii bezwykopowych, zarządzania jakością i ryzykiem w działaniach wiertniczych, tworzenia harmonogramów i budżetów projektów. Od 2009 r. pracuje dla firmy Robert Osikowicz Engineering. Firma jest członkiem międzynarodowej branżowej organizacji wiertniczej Drilling Contractors Association (DCA-Europe).

PROGNOZOWANIE PROJEKTÓW

Planowanie wiercenia otworów kierunkowych HDD wymaga intensywnych inwestycji w gromadzenie, przetwarzanie i analizę danych z poprzednich prac wykonanych w podobnym otoczeniu geologicznym. Wiedząc, jakie wydajności były osiągane wcześniej i jakie problemy występowały wcześniej można poprawiać wyniki własne i swoich konkurentów. W każdym projekcie wyróżniamy zasadniczo trzy fazy:

- programowanie działań i mobilizacja,
- wiercenie,
- finalizacja i demobilizacja.

Każdą fazę projektu można podzielić na etapy (operacje główne i pomocnicze). Czas wiercenia definiuje się jako przedział czasu od rozpoczęcia wiercenia pilotowego (ang. *spud the hole*) do osiągnięcia finalnej pojemności otworu i zainstalowaniu w gotowym tunelu rurociągu (grupy rurociągów). I to właśnie fazie wiercenia jest poświęcony niniejszy artykuł.

OCENA PROCESU WIERTNICZEGO

Wysokiej jakości proces drążenia otworu powinien być oczywistym celem dla każdej ambitnej spółki wiertniczej. Ale nie wystarczy tylko zidentyfikować potrzebę takiego procesu. Ta świadomość powinna być wspierana przez decyzje, które pomagają wyodrębnić, ocenić i zoptymalizować czynniki wpływające na poprawę wydajności. Do tego potrzebna jest szczegółowa analiza odpowiednich danych. Warto odpowiedzieć sobie na postawione pytanie: co działa prawidłowo, a co szwankuje? Jakie zachowania techniczne należy wzmocnić, a jakie eliminować?

Krytycznej ocenie powinien zostać poddany cały system wiertniczy: urządzenie, przewód wiertniczy, narzędzia wgłębne, nawigacja, hydraulika otworowa, system płuczkowy. Poszczególne komponenty nie są złe lub dobre same w sobie. Mogą kwalifikować się lepiej lub gorzej jako elementy wydajnego systemu

roboczego mającego pomóc w osiągnięciu celów projektu. Komponenty muszą być kompatybilne i tworzyć sprawnie działający układ. W związku z tym prowadzona (przed rozpoczęciem projektu, w trakcie jego trwania oraz po jego zakończeniu) analiza danych powinna koncentrować się na charakterystyce i zachowaniu systemu, a nie na atrybutach określonych narzędzi.

Najbardziej popularny – dla uzyskania oceny – jest proces retrospektywny, który ocenia i dokumentuje wyniki wiercenia (w tym jego wydajność) z perspektywy historycznej. Dzięki niemu można stosunkowo skutecznie zidentyfikować zarówno procedury, które działają i te rozwiązania, które są mało skuteczne. Dzięki segregowaniu procedur i ich świadomemu wyborowi, dokonujemy optymalizacji procesu zalecając powtarzanie tego co działa najefektywniej. Działania tego typu mają za zadanie także wymianę urządzeń, narzędzi i oprzyrządowania na lepiej dopasowane do aktualnych potrzeb (bardziej efektywne). Pozytywnym aspektem takiego podejścia jest tworzenie kultury ciągłego doskonalenia procesu.

EFEKTYWNOŚĆ WIERTENIA – CZYNNIKI WPŁYWU

Efektywność procesu wiertniczego to złożone pojęcie dające się określić szeregiem parametrów odnoszących się do postępu, jakości i kosztu. Działania nakierowane na jego poprawę związane są zarówno z selekcją, konfiguracją urządzeń i narzędzi (technika) oraz ich optymalnym wykorzystaniem (technologia). Otwory wiercone z wykorzystaniem narzędzi o wysokiej jakości, z dobrą kontrolą trajektorii i geometrii, przy użyciu celowo zaprogramowanego płynu wiertniczego zawsze będą bardziej ekonomiczne i wydajne. Poprawa wydajności wiercenia jako sposobu na obniżenie kosztów operacyjnych wymaga wdrożenia procesów optymalizacyjnych. Czynniki, które odpowiadają w największym stopniu za poziom wydajności powinny być zidentyfikowane, analizowane i monitorowane.

System wiercenia i środowisko operacyjne określają czynniki, które mają wpływ na wydajność procesu. Czynniki te obejmują typ formacji geologicznej, nacisk wywierany na narzędzie (WOB – *Weight on Bit*), prędkość obrotową narzędzia (RPM – *Revolutions per Minute*), generowany moment obrotowy na spodzie otworu (TOB – *Torque on Bit*), strumień przepływu płuczki (FR – *Flow Rate*) i moc hydrauliczną przypadającą na jednostkowe pole przekroju narzędzia (HPSI – *Hydraulic Power per Square Inch*). Elementami stowarzyszonymi dodatkowo wpływającymi na wydajność będą: rodzaj płynu wiertniczego, parametry reologiczne, trajektoria otworu, geometria przewodu wiertniczego i sposób przekazywania energii na dno otworu.

Należy pamiętać, że zmiana dokonywana w obszarze jednego czynnika może wpłynąć na poziom innych parametrów wiertniczych. Wyboru zastosowanej kombinacji parametrów dokonuje się dzięki żmudnemu wykonywaniu testów porównawczych.

BAZY DANYCH

Wykorzystana w niniejszym artykule baza danych liczy ponad 500 pozycji, zawierając podstawowe dane projektów zrealizowanych dzięki metodzie HDD. Ponad 60 projektów zostało w pełni opomiarowanych i wybrane dane dotyczące działań wiertniczych zostały zaprezentowane na wykresach. Wśród zarejestrowanych danych znajdują się:

- nazwa projektu,
- lokalizacja,
- typ przeszkody,
- nazwa spółki wiertniczej,

- geometria rurociągu,
- długość otworu,
- średnica otworu,
- głębokość otworu,
- warunki geologiczne,
- klasa urządzenia wiertniczego,
- system nawigacji,
- czas wiercenia otworu pilotowego,
- czas pracy narzędzia na spodzie dla wszystkich etapów,
- czas operacji pomocniczych,
- czas nieproduktywny,
- objętość cyrkulacji,
- ocenę jakości otworu.

Projekty historyczne to reprezentatywne otwory, dla których zmierzono wydajność procesu w określonych warunkach geologicznych i w określonym regionie wiercenia. Dzięki dokładnej analizie danych dotyczących zakończonych otworów i zastosowanych w nich praktyk operacyjnych możliwa jest skuteczna identyfikacja zagrożeń i w konsekwencji ograniczenie ryzyka. Informacje i dane pozyskane z projektów historycznych są cenne, ale niezbędna jest wiedza co z nimi zrobić. Znane jest wiele przypadków powtarzania przez firmy kosztownych błędów. Część firm nadal ignoruje potrzebę raportowania i tworzenia rzetelnych analiz. Decyzje podejmowane są w oparciu o własną intuicję i opinie innych ludzi. Wskazywać to może na niezrozumienie procesu dobrego planowania.

GRAFICZNE OBRAZOWANIE DANYCH

Najlepszym sposobem przekazywania wyników analiz są wykresy i tabele. Zwłaszcza te pierwsze ujawniają zależności i trendy w danych skuteczniej niż inne formy analizy. Dzięki wykresom możliwe jest też sprawdzenie

nie i weryfikacja wyników. Ujawnione są na nich błędnie wprowadzone lub omyłkowo skalkulowane dane.

Zależność między dwiema zmiennymi można zobaczyć, przedstawiając je na wykresie punktowym. Jeśli istnieje korelacja między zmiennymi, można sformułować modele predykcyjne. Regresja metodą najmniejszych kwadratów jest powszechnie stosowana do obliczania najlepszego równania prognozy. Modelowanie predykcyjne daje najlepszą prognozę zmiennej zależnej na podstawie obserwowanych wartości innej zmiennej – zmiennej niezależnej. Zmienna niezależna jest na ogół umieszczana na osi X, a zmienna przewidywana (zmienna zależna) na osi Y.

Czas, koszt, wydajność wiercenia jako zmienne zależne umieszczane są na osi Y, długość otworu, pojemności otworu, wskaźnik HDI pojawia się w związku z tym na osi X. Stosując model dwuwymiarowy możemy korelację dwóch zmiennych poprawić wyświetlając wyniki w seriach rozróżniających warunki geologiczne (piasek, ił, skała), klasę zastosowanego urządzenia wiertniczego (mini, midi, maxi, mega) lub średnicę instalowanego rurociągu (DN300, DN500, DN700 i DN1000). Im mniejszy rozrzut danych (nie-dopasowanie) tym wyższa korelacja.

Duży wpływ na ocenę jakości wykresów mają punkty danych leżące daleko od krzywej ustalonej jako linia trendu. Proces obliczania regresji traktuje punkty odległe jako część normalnego rozkładu danych i nie zmniejsza ich znaczenia. Jeśli byłaby wystarczająco duża liczba punktów danych, powinna istnieć równa liczba wartości odstających powyżej i poniżej linii w normalnym rozkładzie danych. Konieczne jest podjęcie decyzji czy wartości odstające powinny zostać zachowane, czy usunięte ze zbioru danych. Jeśli odstający punkt danych wydaje się prawdopodobny, należy go zachować. Jeśli wydaje się, że zda-

Numer projektu	Średnica rurociągu	Długość instalacji	HDI	Średnica otworu	Głębokość	Dominujące warunki geologiczne	Wybrane urządzenie wiertnicze
1	DN300 (12")	300 m	3600	18"	10 m	piasek	mini
2	DN500 (20")	500 m	10 000	28"	17 m	piasek	midi
3	DN700 (28")	700 m	19 600	38"	24 m	ił / glina pylasta	maxi
4	DN1000 (40")	1000 m	40 000	52"	34 m	skała lita	mega

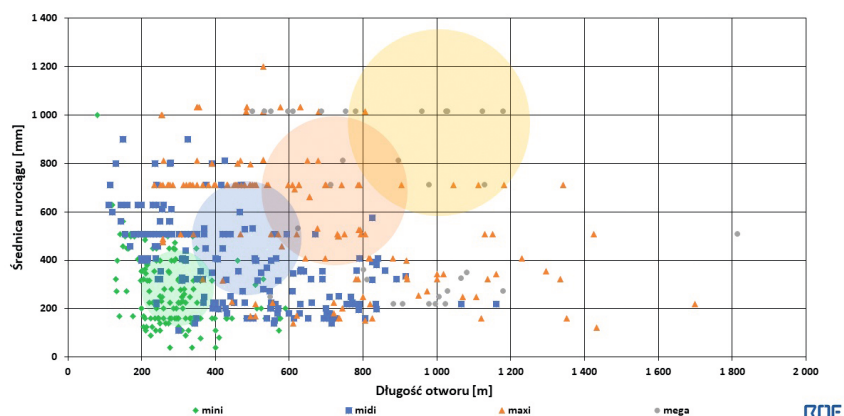
TAB. 1. | Parametry geometryczne czterech hipotetycznych projektów HDD dedykowanych różnym klasom urządzeń wiertniczych

zenie reprezentujące punkt się nie powtórzy, można go usunąć za zgodą administratora bazy. Jednak automatyczne odrzucanie wartości odstających nie jest uzasadnione.

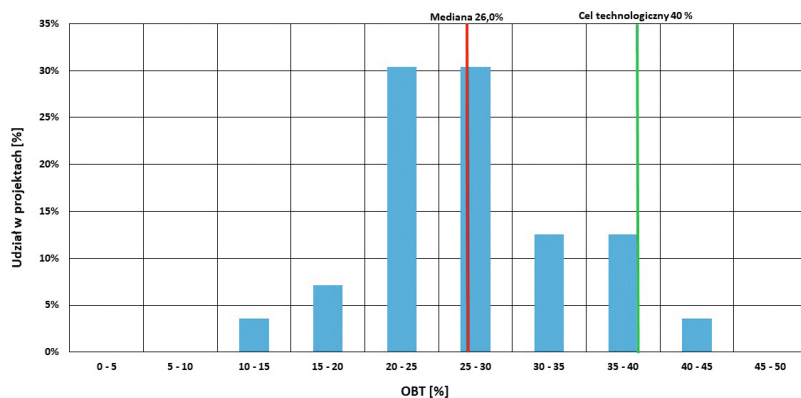
SELEKCJA URZĄDZENIA WIERTNICZEGO

Na potrzeby niniejszej analizy urządzenia wiertnicze podzielono na cztery klasy zależne od ich parametrów mechanicznych: mini (do 300 kN siły ciągnięcia), midi (300–990 kN), maxi (1000–2500 kN) oraz mega (powyżej 2500 kN). Zastosowano ponadto założenie, że każdy z segmentów urządzeń jest stowarzyszony z układem płuczkowym o standardowej przepustowości. Urządzenia klasy midi, maxi i mega pracują z wykorzystaniem zamkniętego obiegu płuczkowego. Każda z wymienionych klas urządzeń ma swój optymalny zakres stosowania, określony przez geometrię otworu lub alternatywnie przez parametr HDI (będący kombinacją długości instalacji i średnicy rurociągu, a w przypadku wiązki rur – ich średnicy zastępczej). Dla potrzeb analizy założymy, że mamy do wykonania cztery instalacje o następujących parametrach przedstawionych w tab. 1.

Na rys. 1 wskazano obszary (o kształcie kołowym), w których zidentyfikowano dominujący udział poszczególnych klas urządzeń wiertniczych. Ilość przypadków w określonym kole pozwala wskazać najczęściej wybierane urządzenie wiertnicze. Im projekt o wyższym wskaźniku HDI, tym promień koła jest większy. Dopasowanie



RYS. 1. Rozkład statystyczny 500 projektów HDD wskazujących na stopień dopasowania urządzeń do klasy projektu



RYS. 2. Rozkład statystyczny 60 projektów HDD wskazujący na udział czasu spędzonego na spodzie otworu w stosunku do czasu trwania projektu

urządzenia do danej klasy projektu następuje po porównaniu ilości rzeczywistych instalacji w danym przedziale HDI.

W tab. 1 przedstawiono cztery kategorie projektów HDD zróżnicowanych pod względem długości instalacji, średnicy rurociągu, głębokości oraz dominującej formacji geologicznej. Planowana średnica wierconego otworu wynika z obserwowanych praktyk wiertniczych, a jego głębokość jest ilorazem długości i liczby 30 (reguła ROE).

Dla uzyskania satysfakcjonujących wyników technicznych i ekonomicznych potrzebne jest bardzo dobre zrozumienie jakiego typu system wiertniczy będzie najbardziej efektywny dla danej klasy projektów. Jeśli wykonanie otworu wiąże się z określonym wydatkiem energetycznym, to należy ustalić taką konfigurację systemu, która zapewni najbardziej ekonomicz-

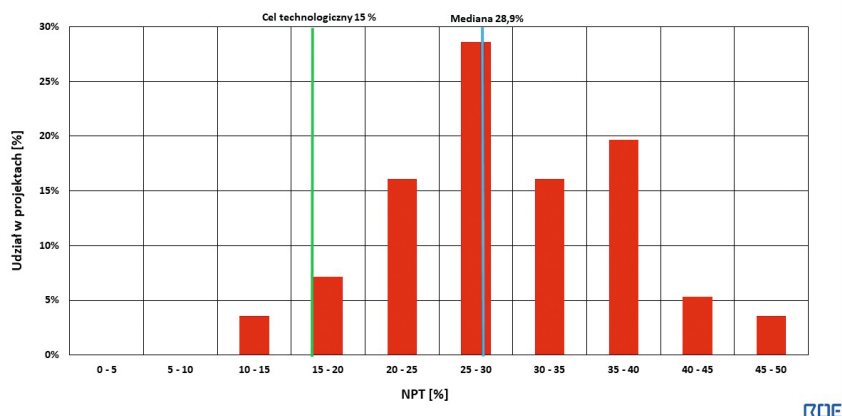
ne działanie przy spełnieniu wszystkich kryteriów (celów) jakimi są:

- zakres kontraktu,
- harmonogram,
- budżet,
- gwarantowany poziom jakości,
- akceptowalny poziom ryzyka.

DYSTRYBUCJA CZASU I ZDARZENIA NEGATYWNE

Parametrem weryfikującym stopień trudności projektu jest czas spędzony na spodzie (OBT – *On Bottom Time*) niezbędny do wytworzenia otworu o wymaganej jakości. Zapewnienie adekwatnego do skali przedsięwzięcia poziomu jakości będzie kosztowało. Koszty operacyjne będą zależały zarówno od czasu OBT (za co odpowiedzialne są technika i technologia), jak i czasu nieproduktywnego NPT (*Non Productive Time*), za co często odpowiedzialne są kompetencje i organizacja. Czas pracy na spodzie powinien zapewnić płynność i efektywność działania. Z jednej strony iloraz OBT / NPT powinien być jak najwyższy, z drugiej strony OBT powinien maleć wraz z nabywanym doświadczeniem i ciągłym doskonaleniem procedur.

Na rys. 2 wskazano na procentowy udział poszczególnych przedziałów czasu wiertniczego wynikającego z pracy narzędzi na spodzie otworu. Typowy dla polskiego rynku przedział wskazuje na parametr OBT zawierający się pomiędzy 20 i 30% czasu trwania projektu (liczonego od rozpoczęcia wiercenia pilotowego do zakończenia instalacji).



RYS. 3. | Rozkład statystyczny 60 projektów HDD wskazujący na udział czasu nieproduktywnego w stosunku do czasu trwania projektu

Wartość mediany została ustalona na 26%. Wartość będąca celem technologicznym w tym wypadku wynosi 40%. Jest to poziom charakteryzujący najlepiej przeprowadzone projekty HDD na świecie.

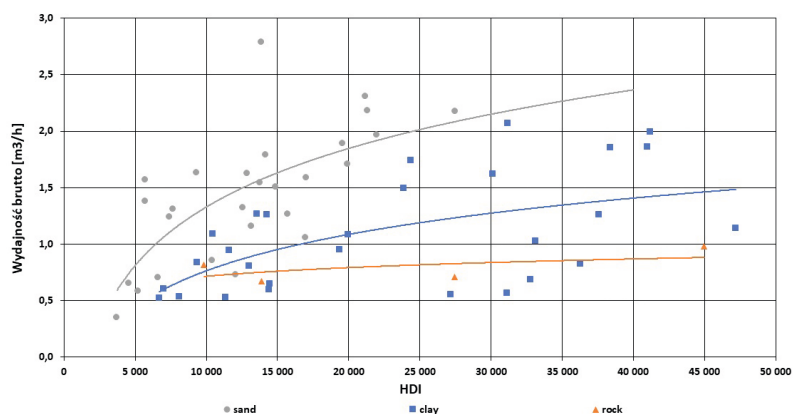
Na rys. 3 wskazano na procentowy udział poszczególnych przedziałów czasu nieproduktywnego wynikającego zarówno z komplikacji i awarii, a także z wykonywania czynności niezwiązanych bezpośrednio z procesem wiertniczym. Typowy dla polskiego rynku przedział wskazuje na parametr NPT zawierający się pomiędzy 20 i 40% czasu trwania projektu (liczonego od rozpoczęcia wiercenia pilotowego do zakończenia instalacji). Wartość mediany została ustalona na blisko 29%. Wartość będąca celem technologicznym w tym wypadku wynosi 15%. Jest to poziom charakteryzujący najlepiej przeprowadzone projekty HDD na świecie.

Niestety, zoptymalizowana wydajność czasowa niekoniecznie oznacza zoptymalizowany koszt. Porównania projektów powinny dotyczyć zarówno kosztów, jak i wydajności. Wymaga to jednak szczegółowych danych dotyczących kosztów, które zarówno obecnie, jak i w przeszłości są ograniczone zarówno pod względem jakości, jak i ilości. Bez rygorystycznego systemu księgowania kosztów nie możemy być pewni dokładności rzeczywistych kosztów projektu. Oczywiście analiza „optymalnego limitu kosztów” jest procesem bardziej skomplikowanym i trudniejszym do wdrożenia. Analiza historycznych danych dotyczących kosztów jest trudna, ponieważ

prawdopodobnie nie zostały one zebrane dokładnie lub wystarczająco szczegółowo. Innym głównym problemem są zmiany kosztów jednostkowych w czasie.

W niemal wszystkich realizowanych projektach występują nieplanowane zdarzenia identyfikowane często jako awarie lub komplikacje wiertnicze, wynikające zarówno z przyczyn niezależnych od spółki wiertniczej, jak i z popełnianych błędów. Awarie i komplikacje stanowią jeden ze składników czasu nieproduktywnego NPT. Wśród błędów wpływających na parametry projektu wymienia się:

- błędne rozpoznanie geologiczne wpływające na planowanie działań,
- złą konfigurację systemu wiertniczego,
- niewłaściwe praktyki wykonawcze,
- brak wystarczającej jakości monitoringu procesu.

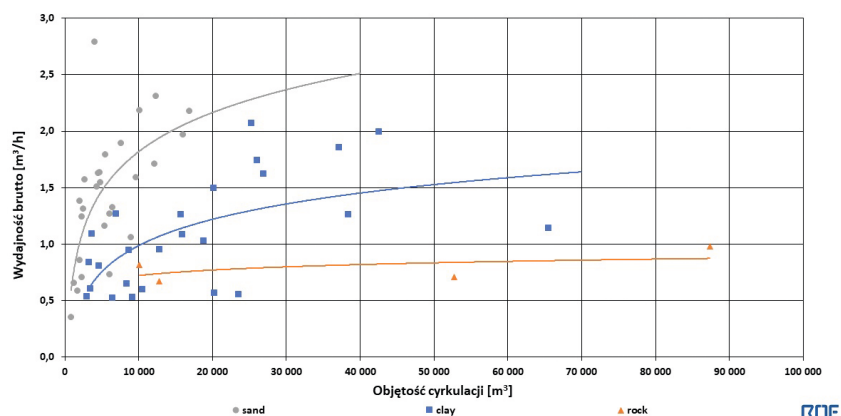


RYS. 4. | Parametr wydajności wiercenia brutto w funkcji wskaźnika trudności instalacji HDI z podziałem na zastane warunki geologiczne

WYDAJNOŚĆ WIERCENIA BRUTTO (DP – DRILLING PERFORMANCE)

W kwestii wydajności wiercenia (*Drilling Performance*) przeważa stanowisko, że jest ona liniowo związana z postępem prac, zdolnością do tworzenia określonej objętości otworu w jednostce czasu. Ponadto parametr wydajności procesu jest powiązany odwrotną zależnością z kosztem otworu na jednostkę długości lub objętości oraz ze zwiercalnością formacji geologicznej (ilością energii potrzebnej dla uzyskania założonego postępu). Warto jednak zauważyć, że dobry postęp liniowy (ROP – *Rate of Penetration*) może nie wystarczyć dla pozytywnej oceny całego procesu wiertniczego. Warte wzięcia pod uwagę jest także ocena integralności otworu oraz czas efektywny operacji wiertniczych (czas spędzony na spodzie otworu), będący częścią całkowitego czasu operacyjnego.

Jak wynika z analizy wykresu (rys. 4) warunki geologiczne mają bardzo silny wpływ na uzyskiwaną wydajność tworzenia otworu. Wiercenie w piasku pozwala osiągnąć optymalną wydajność zawierającą się w przedziale od 1,5 do 2,8 m³/h dla większości projektów charakteryzujących się wskaźnikiem HDI powyżej 10 000. Wiercenie w warunkach formacji kohezyjnych (gliny pylaste i iły) charakteryzuje się wydajnością procesu wiertniczego zawierającą się w przedziale od 0,7 do 2 m³/h. Maksymalna zarejestrowana wydajność procesu dla



RYS. 5. | Parametr wydajności wierceń brutto w funkcji całkowitej objętości cyrkulacji z podziałem na zastane warunki geologiczne

projektów realizowanych w warunkach litej formacji skalnej przekracza 0,9 m³/h. Dla wszystkich wyodrębnionych formacji geologicznych wydajność wierceń charakteryzuje się trendem wzrostowym wraz ze wzrostem skali projektu. Wynika to z wykorzystania większych urządzeń wiertniczych i wydajniejszych systemów płuczkowych w projektach o wskaźniku powyżej 15 000 punktów.

Parametr określony jako wydajność wierceń mechaniczno-hydraulicznego, jakim w gruncie rzeczy jest proces HDD, będzie obejmował wkład obydwu typów energii niezbędny do stworzenia jednostki objętości otworu, przy jednoczesnym ustaleniu warunków niezbędnych do zapewnienia wydajności operacyjnej.

Proporcje pomiędzy wymaganą energią hydrauliczną i mechaniczną zmieniają się w zależności od typu przewiercanej formacji. I tak w trakcie wiercenia w formacjach niespoistych dominujący udział posiada energia hydrauliczna (wypłukiwanie strugą płuczki przyspieszanej w dyszach narzędzia). Odwrotnie rzecz się ma w trakcie urabiania formacji spoistych (kohezyjnych) lub litych skał, gdzie udział energii mechanicznej staje się przeważający. Wykres na rys. 5 wskazuje na stromy przebieg krzywej dla piasków zwłaszcza w zakresie HDI do 15 000 punktów. Krzywe dla iłów i formacji skalnej mają przebieg bardziej horyzontalny. Jednocześnie warto też zwrócić uwagę, że spadek ciśnienia w dyszach narzędzia (i powiązana z nim

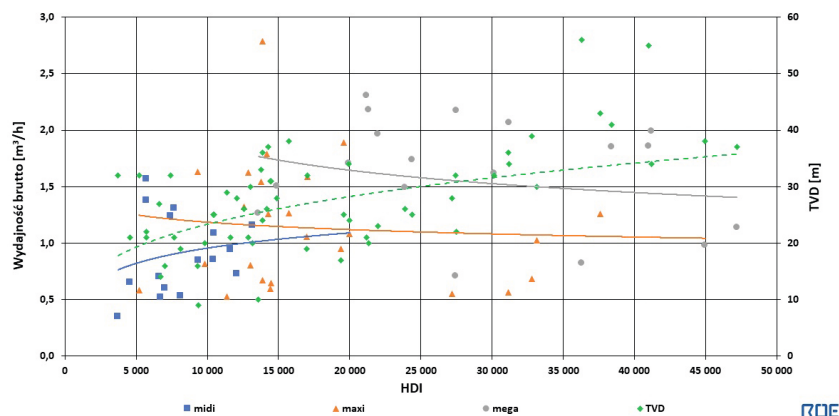
prędkość wypływu płuczki z dysz) powinny narastać wraz ze wzrostem stopnia zagęszczenia ID formacji niespoistych i spadkiem stopnia plastyczności IL formacji kohezyjnych.

W tab. 2 przedstawiono dane statystyczne dotyczące uzyskiwanych wydajności wiercenia DP z podziałem na klasy urządzeń (4) i warunki geologiczne (3). Dla większych urządzeń dane pochodzą z bazy zawierającej ponad 60 opomiarowanych projektów. Dla urządzeń wiertniczych klasy mini zastosowano przybliżenie wynikające z obserwacji rynku. Dla każdej możliwej kombinacji ustalono wartości minimalne, maksymalne, średnie arytmetyczne i średnie ważone oraz medianę (wartość środkową dla zbioru danych). Na podstawie wyodrębnionych zakresów parametrów DP zostaną w kolejnym rozdziale przedstawione scenariusze zdarzeń: optymistyczny, realistyczny i pesymistyczny.

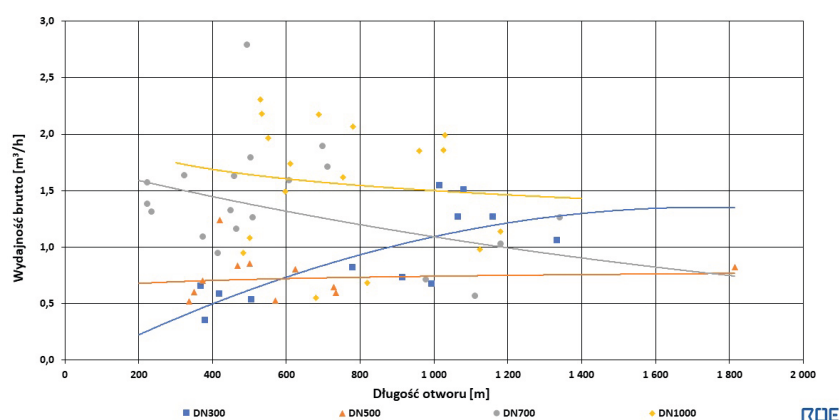
Wykres na rys. 6 zestawia wydajności uzyskiwane przez trzy klasy maszyn: midi, maxi i mega. Dwie wyższe klasy generują krzywe o lekko malejących wydajnościach DP wraz z narastającym wskaźnikiem HDI. Jest to częściowo wytłumaczalne przez przebieg stowarzyszonej przerywanej linii zielonej pokazującej wzrost głębokości wierconego otworu wraz z przyrostem wartości HDI. W konsekwencji wierząc na coraz większych głębokościach napotykaemy na trudniejsze warunki geologiczne.

Klasa urządzenia	Warunki geologiczne	Wydajność wiercenia brutto DP [m³/h]				
		Wartość minimalna	Średnia arytmetyczna	Średnia ważona	Mediana	Wartość maksymalna
mini	piasek	0,300	-	0,600	0,600	0,700
	glina / ił	0,352	0,994	1,085	1,004	1,568
midi	glina / ił	0,523	0,756	0,823	0,726	1,088
	lita skała	-	-	-	-	-
maxi	piasek	0,593	1,553	1,633	1,589	2,785
	glina / ił	0,527	0,841	0,895	0,802	1,261
	lita skała	0,671	0,742	0,734	0,742	0,814
mega	piasek	1,551	1,974	2,031	2,072	2,310
	glina / ił	0,820	1,553	1,589	1,617	2,066
	lita skała	0,711	0,845	0,881	0,845	0,979

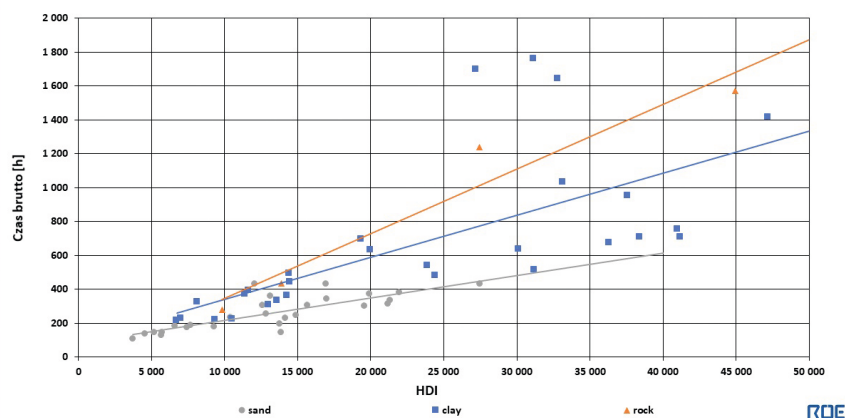
TAB. 2. | Wydajność procesu wiercenia w funkcji klasy urządzenia oraz warunków geologicznych



RYS. 6. Parametr wydajność wierceń brutto w funkcji wskaźnika trudności instalacji HDI z podziałem klasy wykorzystywanych urządzeń wiertniczych



RYS. 7. Parametr wydajność wierceń brutto w funkcji długości otworu z podziałem na średnice instalowanych rurociągów



RYS. 8. Parametr czas wierceń brutto w funkcji wskaźnika trudności instalacji HDI z podziałem na kategorie warunków geologicznych

Z kolei wykres na rys. 7 stara się wskazać na prawidłowości w ustaleniu parametru DP w kontekście średnicy instalowanego rurociągu. Najwyższe wydajności wiążą się z realizacją projektów w stan-

dardzie DN1000, do których angażowane są największe systemy wiertnicze. Rozkład punktów pomiarowych jest bardziej chaotyczny niż w przypadku sortowania danych według warunków geologicznych.

CZAS WIERCENIA BRUTTO (TDT – TOTAL DRILLING TIME)

Jest to czas jaki upłynął pomiędzy rozpoczęciem wiercenia pilotowego i zakończeniem instalacji rurociągu. Nie obejmuje planowania, mobilizacji i demobilizacji sprzętu. Zawiera w sobie zarówno czas pracy na spodzie OBT, jak i czas nieproduktywny NPT. Dopełnieniem do 100% jest czas niezbędny do wykonania robót pomocniczych (skręcanie / rozkręcanie narzędzi, dokładanie kawałków przewodu, zapuszczanie i wyciąganie zestawu przewodu, przygotowanie i kondycjonowanie płuczki. Jest to czas, który decyduje o kosztach projektu i jego harmonogramie.

Wykresy na rys. 8 i 9 pozwalają ustalić całkowity czas wiercenia TDT w kontekście warunków geologicznych. Dla obydwu zmiennych niezależnych (wskaźnik HDI i pojemność otworu) wskazano na liniowy przebieg funkcji. Rozkład danych zarejestrowanych dla projektów zakładających wiercenie w piasku wskazuje na najlepsze dopasowanie do zaproponowanej linii. Oznacza to, że czasy estymowane dla takich warunków geologicznych będą zbliżone do wyniku końcowego. W przypadku warunków określonych w analizie jako glina pylasta / ił blisko połowa punktów znajduje się w znacznej odległości od zaproponowanej linii trendu, co wskazuje na większą niepewność co do prognozowanego wyniku. Warunki geologiczne silnie różnicują czas niezbędny do zrealizowania zadania, co z kolei powinno przełożyć się na znaczące różnicowanie budżetu projektów.

W tab. 3 dokonano zestawienia prognozowanych czasów operacji wiertniczych brutto TDT dla czterech potencjalnych projektów o zdefiniowanych warunkach geologicznych i klasie zaangażowanego sprzętu wiertniczego. Wyniki przedstawiono dla trzech wariantów zdarzeń:

- wariant optymistyczny odpowiadający najlepszemu zanotowanemu wynikowi wydajnościowemu DP zarejestrowanemu w bazie danych (BIC – Best In Class),
- wariant prawdopodobny odpowiadający

Nr projektu	Parametry instalacji	Warunki geologiczne	Klasa urządzenia	Pojemność otworu [m³]	Czas operacji wiertniczych brutto [h]		
					Wariant pesymistyczny	Wariant prawdopodobny	Wariant optymistyczny
1	300 m @ DN300	piasek	mini	50	111 h 9 zmian	84 h 7 zmian	72 h 6 zmian
2	500 m @ DN500	piasek	midi	200	295 h 25 zmian	184 h 16 zmian	128 h 11 zmian
					Odczyt z wykresu nr 9: 190 h		
3	700 m @ DN700	glina / ił	maxi	510	767 h 64 zmiany	570 h 48 zmian	405 h 34 zmiany
					Odczyt z wykresu nr 9: 530 h		
4	1000 m @ DN1000	lita skała	mega	1370	1760 h 147 zmian	1555 h 130 zmian	1400 h 117 zmian
					Odczyt z wykresu nr 9: 1515 h		

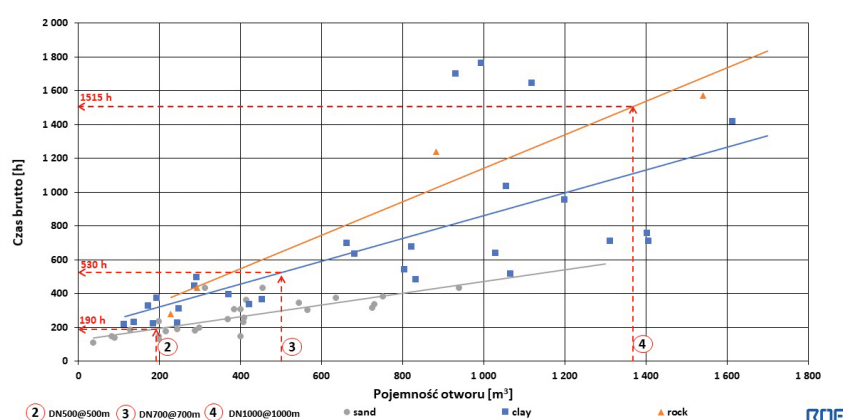
TAB. 3. | Kalkulacje czasu wiertniczego brutto TDT na podstawie przesłanek wynikających z bazy danych

średniej ważonej dla danej grupy projektów,

- wariant pesymistyczny wskazujący na czas będący pochodną po wydajności ustalonej jako średnia arytmetyczna mediany i wartości minimalnej.

Kalkulacje czasu całkowitego brutto zostały dla trzech projektów (nr 2, 3 i 4) zestawione z odczytem dokonany na wykresie (rys. 9). Pionowa linia poprowadzona z punktu określającego pojemność otworu (oś X) do przecięcia z linią trendu, a następnie rzutowania na punkt na osi Y określający prognozowany czas wiercenia brutto TDT. Rozbieżność wyników dla analizowanych projektów pomiędzy metodą analityczną (dla wartości średniej ważonej) i metodą graficzną nie przekracza 10%.

Wykresy (rys. 10 i 11) mogą być pomocne przy ustalaniu czasu wiertniczego TDT w oparciu o klasę zaangażowanego sprzętu i skorelowanie projektu ze średnicą rurociągu. Dla projektu 1000 m @ DN700, realizowanego w mieszanych warunkach geologicznych, z wykresu na rys. 11 odczytujemy czas 820 h. Idąc do wykresu na rys. 10 odczytujemy prawdopodobny czas realizacji otworu (o średnicy 38" i pojemności 965 m³) jako 610 h dla urządzenia klasy mega i 860 h dla urządzenia klasy maxi. Wybór systemu wiertniczego będzie determinował czas i koszty.



RYŚ. 9. | Parametr czas wiercenia brutto w funkcji pojemności otworu z podziałem na kategorie warunków geologicznych

W zależności od rodzaju przedsięwzięcia, warunków w jakich jest ono realizowane, każdy z tych trzech elementów: koszty, jakość i czas nabiera mniejszej bądź większej wagi. I tak w warunkach umiarkowanej koniunktury ograniczenie kosztów, konkutowanie ceną, przy oczywiście zachowaniu wysokiej jakości i dużej szybkości realizacji zleceń staje się celem sektora wiertniczego.

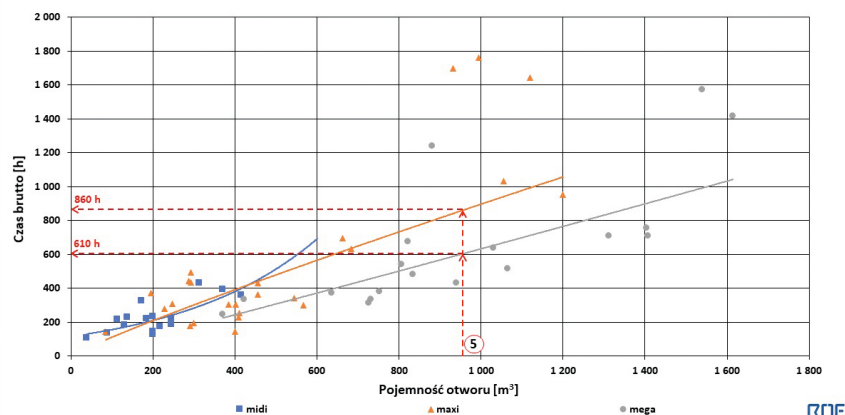
OPTIMALIZACJA PROCESU

Aby stać się innowacyjnym w danej dziedzinie, należy najpierw w pełni zrozumieć problemy z nią związane. Analiza porównawcza wskazuje, jak dalece można ulepszyć proces wiertniczy. To proces ciągłego

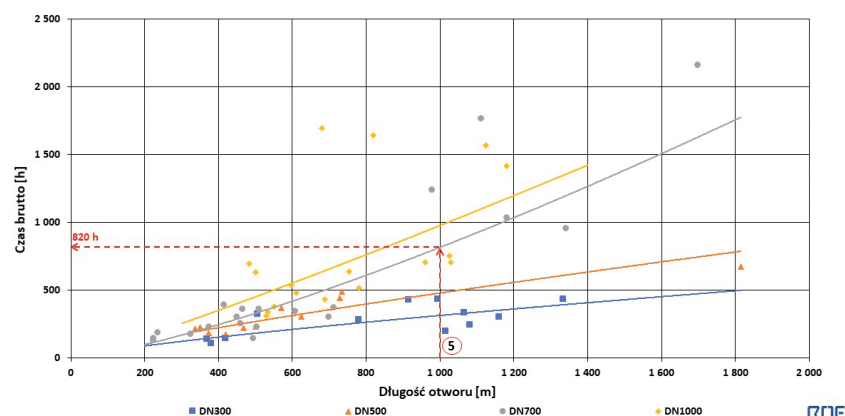
porównywania własnych wyników z najlepszymi osiągnięciami na rynku. Analiza porównawcza to praktyka, która prowadzi do zwiększenia konkurencyjności. Wymaga planowania, pomiarów, krytycznej weryfikacji danych i analiz. Wyniki uznawane za referencyjne punkty odniesienia powinny być regularnie aktualizowane (np. co 12 miesięcy). Bieżąca analiza opierać musi się na możliwie najnowszych i precyzyjnych informacjach. Definicje i zasady pobierania danych powinny zostać ustalone, aby zapewnić wiarygodność wyników każdego projektu niezależnie od realizującej go firmy.

Po szczegółowym przeglądzie programu działań wiertniczych zidentyfikowano następujące oczekiwania dotyczące jakości:

- osiągnięcie możliwie najdoskonalszej



RYS. 10. | Parametr czas wiercenia brutto w funkcji pojemności otworu z podziałem na klasy urządzeń wiertniczych



RYS. 11. | Parametr czas wiercenia brutto w funkcji długości otworu z podziałem na średnice instalowanych rurociągów

- trajektorii otworu (o nieznacznych odchyleniach od zaplanowanej krzywej),
- wykorzystanie parametrów wiercenia poprzez ustalenie ich optymalnej kombinacji,
- konfiguracja narzędzi mająca na celu stabilną pracę bez wibracji i wyeliminowanie awarii wgłębnych,
- dopasowanie geometrii przewodu wiertniczego do planowanego zasięgu wiercenia w zadanych warunkach geologicznych,
- zapewnienie odpowiedniej przepustowości systemu płuczkowego ograniczającego w sposób istotny czas nieproduktywny NPT,
- zastosowanie najbardziej skutecznej kompozycji płynu wiertniczego i ustalenie programu płuczkowego zapewniającego spełnienie funkcji krytycznych,
- uzyskanie wymaganego planem postępu liniowego ROP.

NAUKA PŁYNĄCA Z DANYCH HISTORYCZNYCH

Podczas przewidywania czasu trwania przyszłych projektów można, a nawet należy wziąć pod uwagę efekt uczenia się. Krzywe wydajności wiercenia w funkcji pojemności otworu lub wskaźnika HDI pozwalają na określenie czasu operacyjnego dla określonej klasy sprzętu wiertniczego lub zastanych warunków geologicznych. Na podstawie obserwacji wyników pozyskanych z projektów historycznych potrafimy przewidzieć czas, a w konsekwencji także koszty niezbędne dla osiągnięcia celu technicznego jakim jest instalacja rurociągu. Tempo uczenia się można wykorzystać do zmierzenia potencjalnych oszczędności kosztów. Firma, która uczy się szybko, szybciej obniży koszty. Potencjalne oszczędności kosztów można wykorzystać do zaplanowania odpowiednich inwestycji w edukację.

PODSUMOWANIE

Jak wynika z powyżej przeprowadzonej analizy, informacje operacyjne dotyczące projektów HDD są rejestrowane w bazie danych. Każda linia i kolumna arkusza Excel zawiera unikatowe dane związane z geologią, geometrią otworu, osiąganymi parametrami pracy, wydajnością procesową, dystrybucją czasu. Odpowiednio zagregowane dane wskazują na trendy, które mogą służyć jako materiał wyjściowy do analiz przyszłych projektów. Czas wiertniczy jest ściśle powiązany z warunkami geologicznymi, parametrami zmobilizowanego systemu wiertniczego oraz poziomem kompetencji firmy wiertniczej.

Koszt realizacji projektu wiertniczego jest zasadniczo funkcją czasu trwania wiercenia, kosztu dziennego, niezależnych od czasu kosztów zmiennych i kosztów stałych. Na koszty robót HDD wpływa wiele czynników, w tym geometria otworu i rurociągu, geologia, zaangażowany sprzęt, technologia, sposób realizacji i zarządzania projektem, podaż i popyt, środowisko naturalne. Te czynniki wpływu mogą łączyć się w niezliczone kombinacje. Wybór odpowiedniej kombinacji danych wejściowych zależy od doświadczenia analityka.

Zarówno firmy wiertnicze jak i konsultingowe prowadzą własne obszerne bazy danych związanych ze zrealizowanymi projektami. Jednak przepływ danych pomiędzy nimi jest niewielki, nie prowadzona jest standaryzacja analiz. Jak powszechnie wiadomo informacja nie stanowi jeszcze wiedzy. Informacja, która umożliwi skuteczne działanie może zostać uznana za wartość. Zaproponowany system zarządzania informacją obejmuje analizę porównawczą, z której mogą wynikać wnioski dotyczące najlepszych praktyk. Prognozy przedprojektowe wynikają z danych historycznych, wcześniejszych doświadczeń i oczekiwań. Po zakończeniu projektu prognozy należy obligatoryjnie porównywać z wynikami. Wyniki należy natomiast wprowadzić do bazy, aby precyzyjniej prognozować zdarzenia w przyszłości, także takie, które dotychczas nie miały miejsca. |