



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

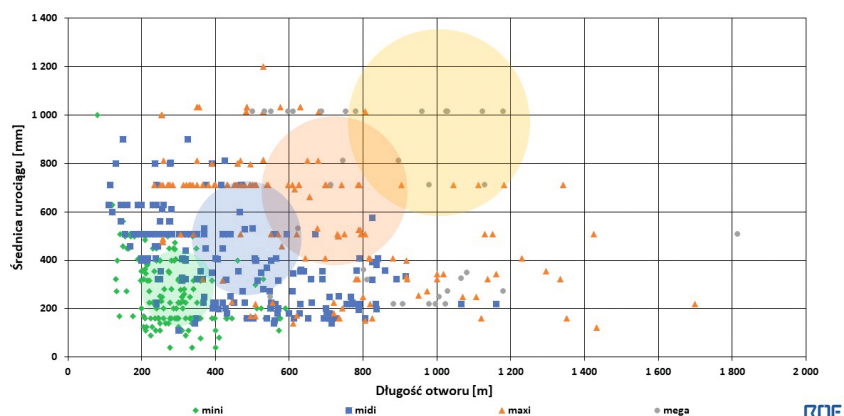
TAB. 1. | Parametry geometryczne czterech hipotetycznych projektów HDD dedykowanych różnym klasom urządzeń wiertniczych

zenie reprezentujące punkt się nie powtórzy, można go usunąć za zgodą administratora bazy. Jednak automatyczne odrzucanie wartości odstających nie jest uzasadnione.

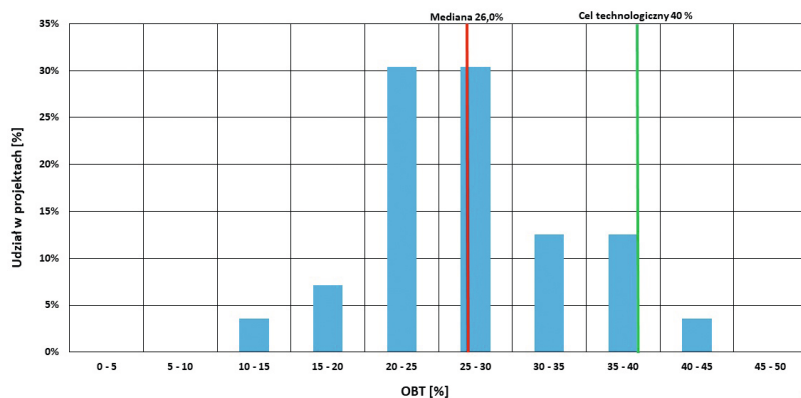
SELEKCJA URZĄDZENIA WIERTNICZEGO

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-

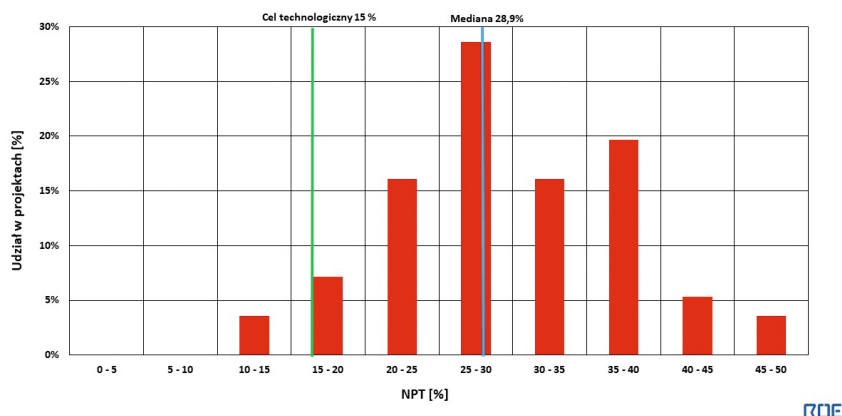
ne działanie przy spełnieniu wszystkich kryteriów (celów) jakimi są:

- 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.

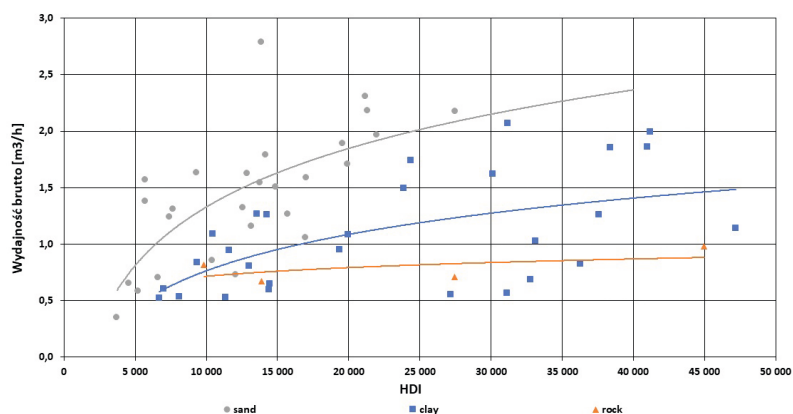
Na rys. 3 wskazano na procentowy udział poszczególnych przedziałów czasu nieproduktywnego wynikającego zarówno z komplikacji i awarii, a także z wykonywania czynności niezwiązanych bezpośrednio z procesem wiertniczym. Typowy dla polskiego rynku przedział wskazuje na parametr NPT zawierający się pomiędzy 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.

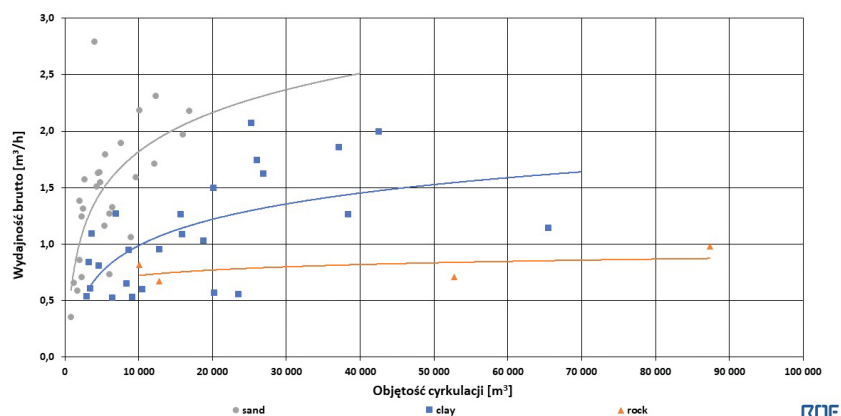


RYS. 4. | Parametr wydajności wiercenia brutto w funkcji wskaźnika trudności instalacji HDI z podziałem na zastane warunki geologiczne

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

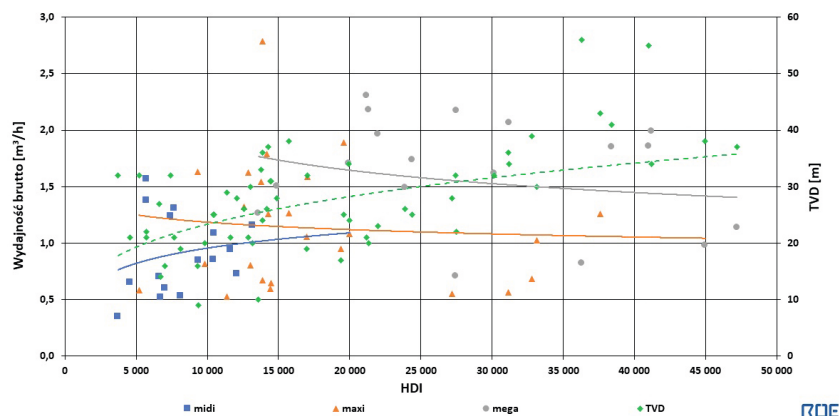
prędkość wypływu płuczki z dysz) powinny narastać wraz ze wzrostem stopnia zagęszczenia ID formacji niespoistych i spadkiem stopnia plastyczności IL formacji kohezyjnych.

W tab. 2 przedstawiono dane statystyczne dotyczące uzyskiwanych wydajności wierceń 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.

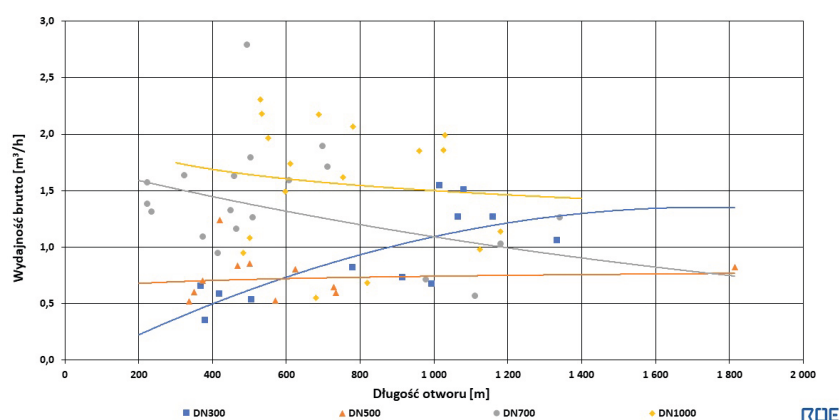
Wykres na rys. 6 zestawia wydajności uzyskiwane przez trzy klasy maszyn: midi, maxi i mega. Dwie wyższe klasy generują krzywe o lekko malejących wydajnościach DP wraz z narastającym wskaźnikiem HDI. Jest to częściowo wytłumaczalne przez przebieg stowarzyszonej przerywanej linii zielonej pokazującej wzrost 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 wierceń 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

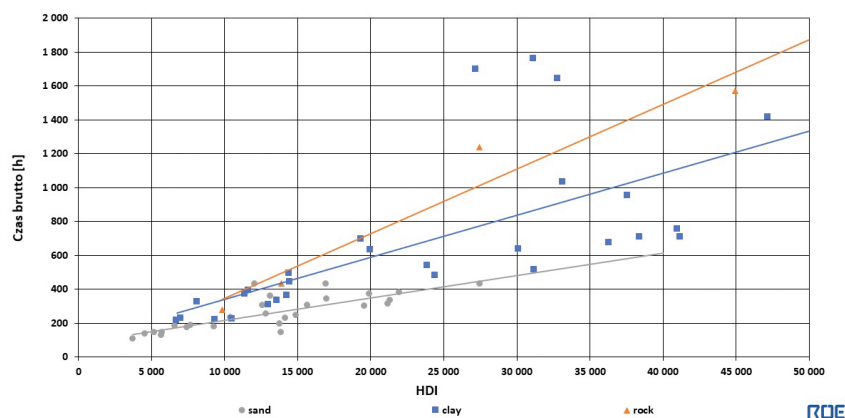
TAB. 2. | Wydajność procesu wierceń w funkcji klasy urządzenia oraz warunków geologicznych



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		

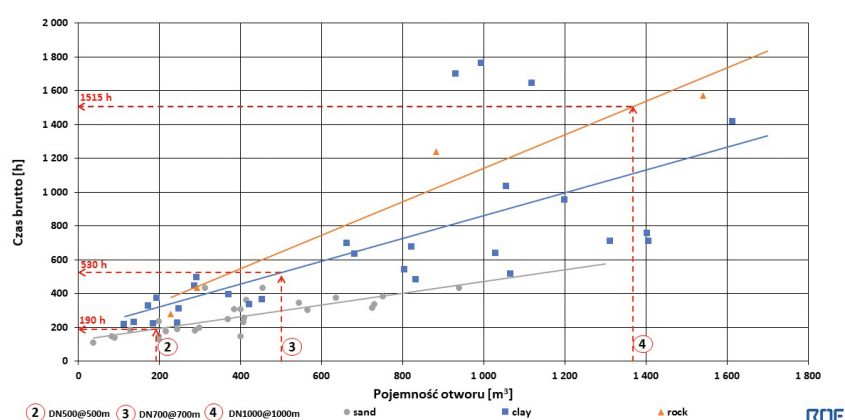
TAB. 3. | Kalkulacje czasu wiertniczego brutto TDT na podstawie przesłanek wynikających z bazy danych

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.

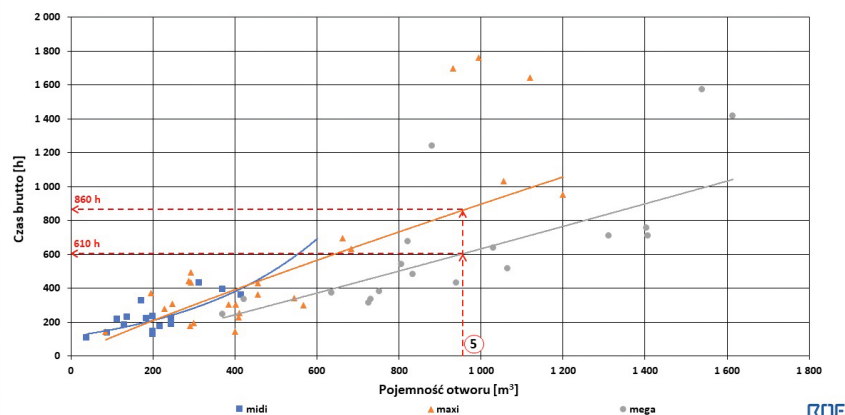
OPTIMALIZACJA PROCESU

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

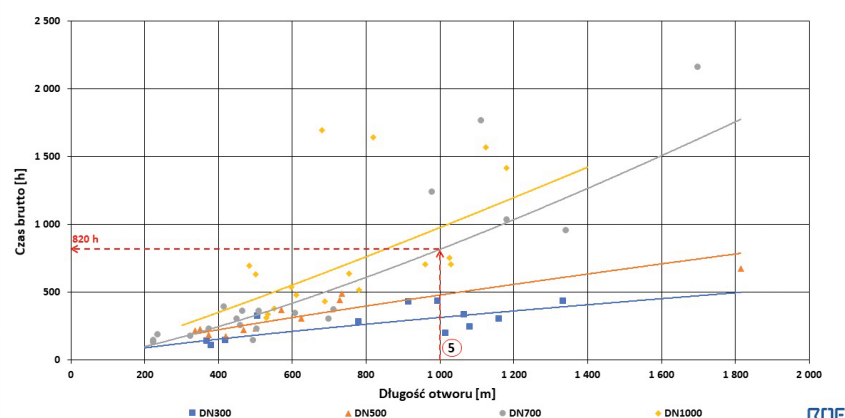
porównywania własnych wyników z najlepszymi osiągnięciami na rynku. Analiza porównawcza to praktyka, która prowadzi do zwiększenia konkurencyjności. Wymaga planowania, pomiarów, krytycznej weryfikacji danych i analiz. Wyniki uznawane za referencyjne punkty odniesienia powinny być regularnie aktualizowane (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 obowiązkowo porównywać z wynikami. Wyniki należy natomiast wprowadzić do bazy, aby precyzyjnie prognozować zdarzenia w przyszłości, także takie, które dotychczas nie miały miejsca. |