

## 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 wymaganym 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 pomyślnie 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 zamieszczonych 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 <b>Parametry technologiczne wiercenia:</b> nacisk, obroty, wydatek pompy <b>Obciążenia mierzone na przewodzie wiertniczym:</b> siła pchania/ciągnięcia (kN) moment obrotowy (kNm) <b>Objętości:</b> wywiercono dziennie (m) wywiercono od początku marszu (m) objętość otworu wywiercona dziennie (m <sup>3</sup> ) całkowita objętość otworu (m <sup>3</sup> ) cyrkulacja dzienna (m <sup>3</sup> ) cyrkulacja całkowita (m <sup>3</sup> ) odseparowany urobek dziennie (m <sup>3</sup> ) całkowita objętość odseparowanego urobku (m <sup>3</sup> ) zawieszony trwale urobek (m <sup>3</sup> ) stopień oczyszczenia otworu (%) <b>Podstawowe parametry płynu wiertniczego:</b> ciężar właściwy IN/OUT zawartość piasku (IN/OUT) profil lepkościowy (min. 6 zakresów) pH płuczki <b>Zużycie materiałów:</b> 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	<p>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</p> <p><b>Program płuczkowy dla marszu</b></p>	<p>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)</p> <p><b>Parametry pracy narzędzia:</b> 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)</p> <p><b>Objętości:</b> pojemność otworu (m<sup>3</sup>) objętość płuczki w zbiornikach (m<sup>3</sup>) całkowita objętość płuczki (m<sup>3</sup>) całkowita objętość aktywna (m<sup>3</sup>)</p> <p><b>Hydraulika otworowa:</b> 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)</p> <p><b>Faza stała:</b> dziennie zwiercono (m<sup>3</sup>) dzienna separacja (m<sup>3</sup>) całkowita separacja (m<sup>3</sup>) faza trwale zawieszona (m<sup>3</sup>) wskaźnik oczyszczenia otworu (%)</p> <p><b>Bilans objętości:</b> dzienna cyrkulacja (m<sup>3</sup>) całkowita cyrkulacja (m<sup>3</sup>) straty dzienne (m<sup>3</sup>) straty całkowite (m<sup>3</sup>) straty całkowite: objętość cyrkulacji (%) zawartość fazy stałej (%) wskaźnik płuczki: zwierciny</p> <p><b>Utylizacja:</b> zwierciny (dziennie/cały projekt) szlam wiertniczy (dziennie/cały projekt)</p> <p><b>Opis procedur płuczkowych</b> obróbka płuczki materiałami chemicznymi (dozowanie)</p> <p><b>Wyniki pomiarów laboratoryjnych:</b> 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 (<i>Low Shear Rate Viscosity</i>) pH płuczki przewodność płuczki filtracja API (ml/30')</p> <p><b>Wyniki kalkulacji:</b> lepkość plastyczna PV granica płynięcia YP granica płynięcia LSYP wskaźnik LSYP/YP</p> <p><b>Zużycie materiałów:</b> konsumpcja wody (dzienna/całkowita) konsumpcja materiałów płuczkowych (dzienna/całkowita) zapasy materiałów płuczkowych</p> <p>opis operacji wiertniczych dystrybucja czasu operacji wiertniczych geologia analiza kosztowa procesu</p>

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 biurów, 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 zakończono 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 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-

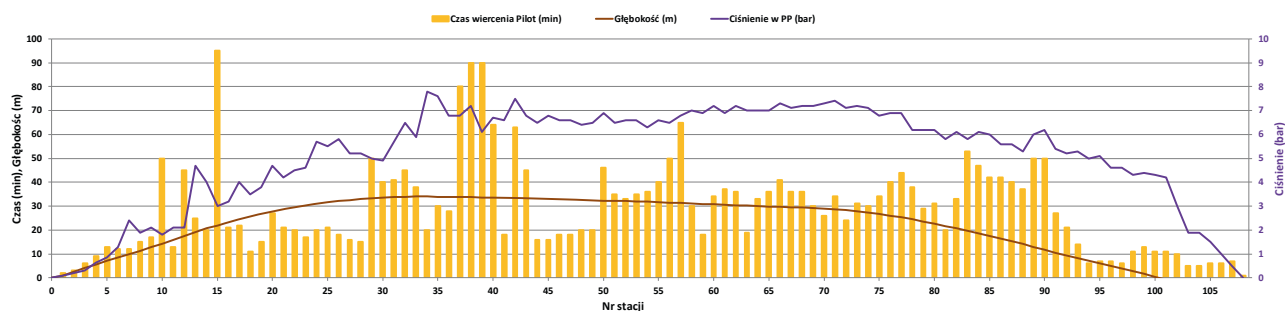
wanego procesu. Unikamy wtedy podejścia, w którym wykonujemy czynności schematycznie, gdyż jesteśmy do nich przyzwyczajeni i sądzimy, że to zawsze działa. Kierujemy się raczej w stronę procesu, w którym dąży się do ciągłej poprawy wydajności i redukcji kosztów. Tak rozumiana innowacja to ciągłe

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.

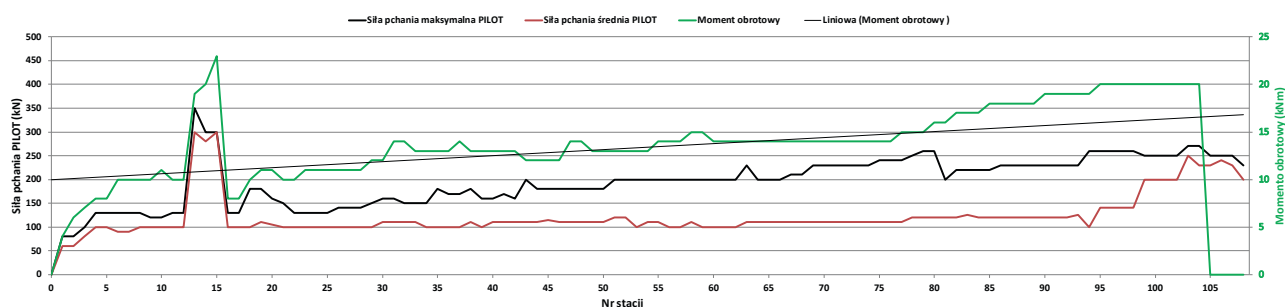
Dane podstawowe							
Rurociąg	Długość otworu MD	HDI	Głębokość otworu TVD	MD : TVD	Średnica otworu	Pojemność otworu	Geologia
Gazociąg 40" (1016 mm)	1030 m	41 200	34 m	30,3	52" (1320 mm)	1410 m <sup>3</sup>	glina, ił
Zastosowane rozwiązania techniczne							
Wiertnica	Pompa płucz-kowa	Przewód	BHA w fazie 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 <sup>3</sup>	podwójnie inhibitowana
Etapy prac/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 <sup>3</sup>	290 m <sup>3</sup>	265 m <sup>3</sup>	425 m <sup>3</sup>	310 m <sup>3</sup>	-	-	1410 m <sup>3</sup>
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 <sup>3</sup>	7185 m <sup>3</sup>	11 100 m <sup>3</sup>	10 625 m <sup>3</sup>	7410 m <sup>3</sup>	1320 m <sup>3</sup>	335 m <sup>3</sup>	42 640 m <sup>3</sup>
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 <sup>3</sup> / godz.	708 godz.	1,45 m	60,2 m <sup>3</sup>
Σ	100%			1,99 m <sup>3</sup> / godz.	59 zmian	17,46 m	723 m <sup>3</sup>

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 węglanego wyposażonego w świder trójgryzowy o średnicy 14<sup>3</sup>/<sub>4</sub>" (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 mierzonego 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 pchania 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 m<sup>3</sup>/zmianę roboczą przy wydatku pompy płuczkowej 2700 l/min. Średnia koncentracja fazy stałej wynosiła 2,5% objętościowo. Średni moment obrotowy w sekcji łożowej 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 m<sup>3</sup>/zmianę roboczą przy wydatku pompy płuczkowej 3300 l/min. Do otworu załączono 11 tys. m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>/zmianę roboczą przy wydatku pompy płuczkowej 3300 l/min. Dzienna cyrkulacja dla trzech zmian przekroczyła 1600 m<sup>3</sup>/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% naddatku 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*

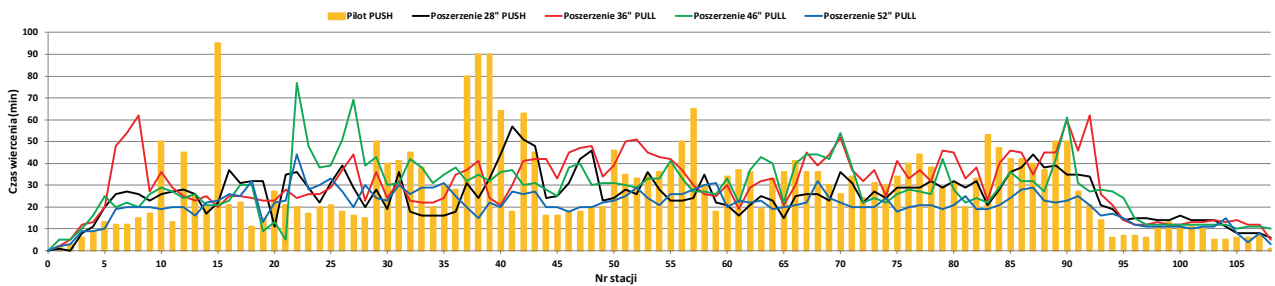
otwór okazał się w pełni szczelny.

### KALIBRACJA OTWORU I PRZYGOTOWANIA DO INSTALACJI – 5 ZMIAN ROBOCZYCH

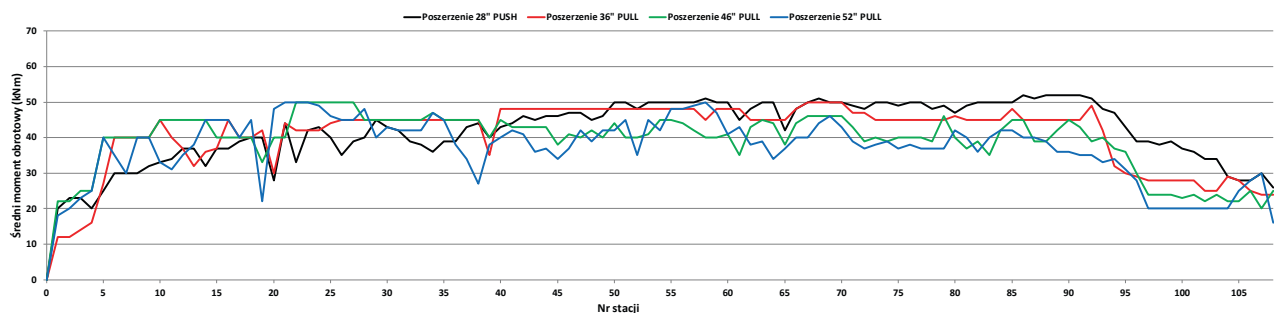
Po zrealizowaniu czterech kolejnych poszerzeń zaplanowano trwającą dwie zmiany robocze kalibrację otworu za pomocą zestawu narzędzi nominalnych w stosunku do średnicy otworu. Do otworu załoczono objętość płuczki równą jego pojemności. Po zakończeniu marszu zaraportowano 97% stopień oczyszczenia otworu 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

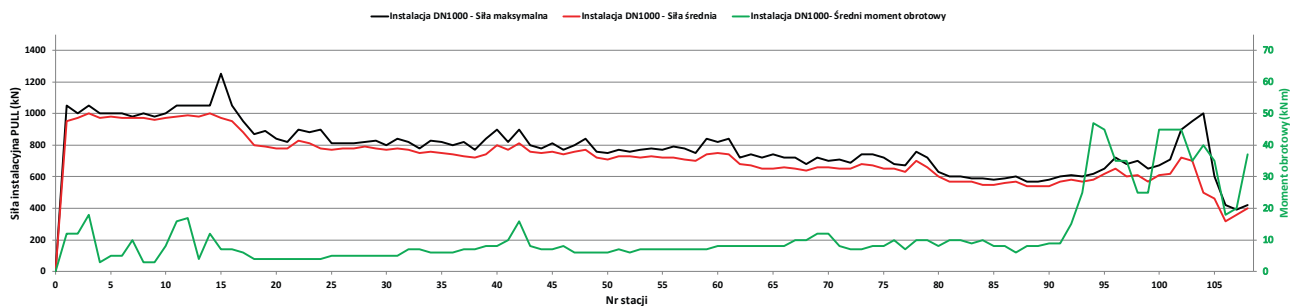
Ostatnia faza projektu przewidywała zainstalowanie w przygotowanym otworze rurociągu stalowego o średnicy 1016 mm i grubości ścianki 22,5 mm. Etap ten został zakończony pomyślnie po 10 godz. Średni postęp instalacji wyniósł 4,9 m/min. Rozkład średnich i maksymalnych sił osiowych zaprezentowano na rys.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



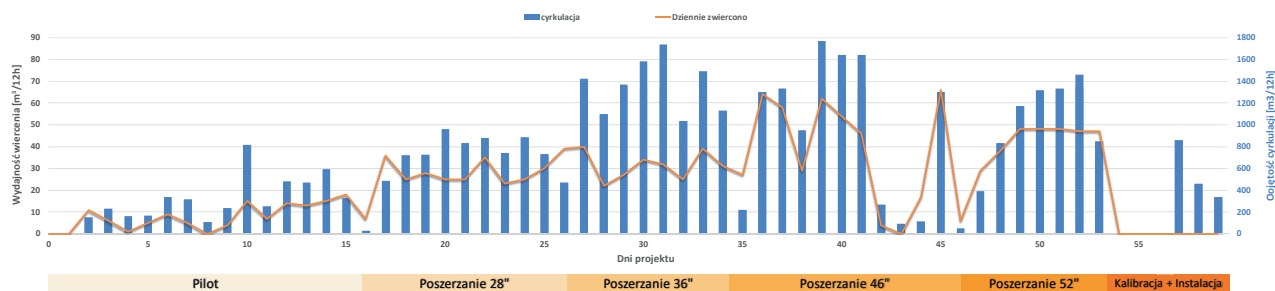
**RYŚ. 3.** | Zestawienie czasów wiercenia poszczególnych stacji dla czterech marszy poszerzających w korelacji do wiercenia pilotowego



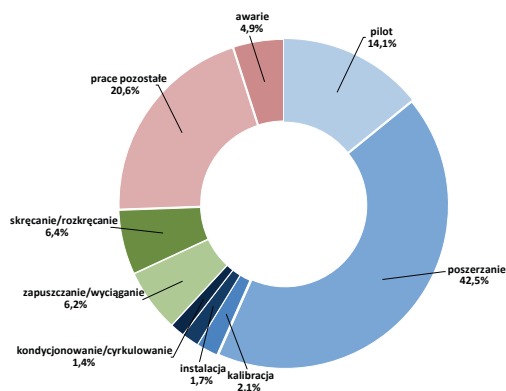
**RYŚ. 4.** | Zestawienie średnich momentów obrotowych rejestrowanych w trakcie czterech marszy poszerzających



**RYŚ. 5.** | Zestawienie obciążeń instalacyjnych dla poszczególnych stacji pomiarowych



**RYŚ. 6.** | Produktowność procesu wiertniczego i dziennie objętości cyrkulacyjne dla poszczególnych faz robót



**RYŚ. 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/m<sup>2</sup>. 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 m<sup>3</sup>/godz. Wydajność wiercenia netto odnosząca się do realnego czasu spędzonego na spodzie otworu wynosi 5,5 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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, osiągnięcie 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