

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



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.



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).

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:

$$L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 = L \text{ (długość otworu w planie)}$$

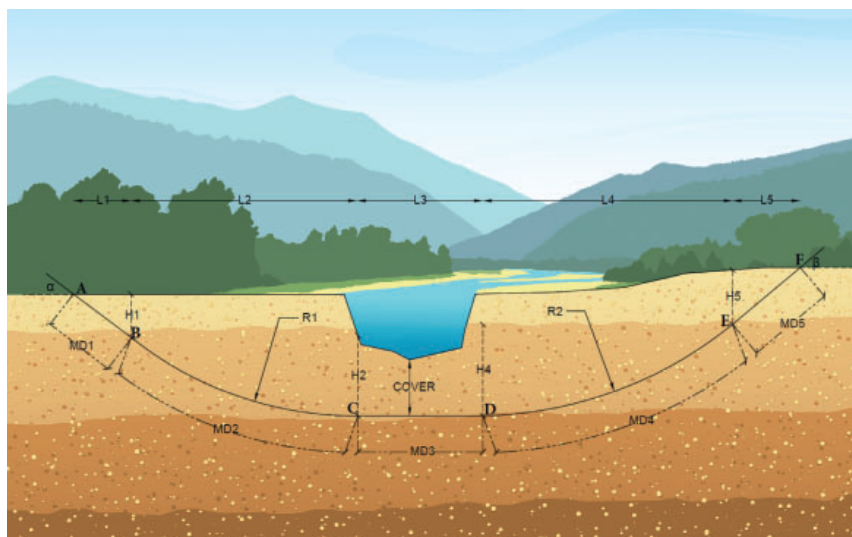
$$MD_1 + MD_2 + MD_3 + MD_4 + MD_5 = MD \text{ (długość rzeczywista otworu)}$$

$$MD > L$$

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	**	**	**	**
Ciążar 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, pojemność 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, przepływomierz, 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 pozioma 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 mieści 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;
- miar 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		szirimetr	*	*		
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. | 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 in ²	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. | 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:

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

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: $\tau_y = LSYP = 2R_3 - R_6;$

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:

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

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 powierzchniową pętlę 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 przewodów wiertniczych jest obracany i wpychany. Aby uzyskać zmianę inklinacji lub/i kierunku wiercenia, przewód jest orientowany, a następnie wpychany. 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 zwierciny 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 płuczki 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 cyrku-

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
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 załączanej płuczki do zwiercin						
			m	l/m	l/min	4:1	6:1	8:1	10:1	15:1	20:1	30:1
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)						
					m	l/m	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 wpychany) 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 sytemu 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 zatłoczyć 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 urzędnictwa wiertniczego. W trakcie instalacji używamy narzędzia o nieznacznie mniejszej średnicy niż w trakcie ostatniego poszerzenia. 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 zatłoczonej 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 wariacie 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