

# Zamknięty **obieg płuczkowy** CZĘŚĆ I: IDEA



**Robert Osikowicz**

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

W artykule przedstawione zostały zasady prowadzenia prac HDD w aspekcie gospodarki płynem wiertniczym. Omówiono też skutki zastosowania otwartego lub zamkniętego układu cyrkulacji



Fot. Robert Osikowicz Engineering

## Wprowadzenie

Technika HDD jest uznawana za najbardziej uniwersalną z metod bezwykopowych. Podlega ona naturalnej ewolucji i ciągłemu rozwojowi. Możliwe aplikacje oraz zasady działania, jakie znaleźliśmy jeszcze 20 lat temu, zostały znacząco poszerzone i zmodyfikowane, tak aby cały proces odbywał się w sposób bezpieczny i zgodnie ze standardami przemysłu wiertniczego. Przewaga HDD nad rozwiązaniami konwencjonalnymi, ale też nad innymi metodami bezwykopowymi, uwiadcza się zwłaszcza przy projektach o wysokim stopniu złożoności, wynikającym z zastanych warunków geologicznych, geometrii otworu, obecności gęstej infrastruktury podziemnej i powierzchniowej. Proces drążenia otworu metodą HDD zakłada wykorzystanie płynu wiertniczego jako niezbędnego jego składnika. Płuczka od momentu jej produkcji aż do chwili jej utylizacji podlega ciągłemu monitorowaniu i ocenie. Sposób, w jaki jest stosowana, jak krąży przez zmienne geometrie, decyduje bezpośrednio lub pośrednio o jakości otworu, kosztach jego wytworzenia i poziomie ryzyka.

## Definicja zamkniętego obiegu płuczki

Pojęcie zamkniętego obiegu płuczki pochodzi z wiertnictwa naftowego i oznacza układ, w którym płuczka permanentnie cyrkuluje pomiędzy powierzchnią i dnem wierconego otworu. Elementami umożliwiającymi trwałe podtrzymanie tego procesu są m.in.: zbiorniki płuczkowe z armaturą, pompy, rurociągi, przewód wiertniczy, narzędzia wgłębne, system kontroli fazy stałej (separacji faz). Elementy są niezbędne dla skutecznego zamknięcia obiegu. W przypadku, gdyby płuczka nie podlegała ponownemu wykorzystaniu w procesie, mielibyśmy do czynienia z obiegiem otwartym, w którym płyn wiertniczy po opuszczeniu otworu poddawany jest utylizacji. Jak z tego wynika, sednem obiegu zamkniętego jest uzdatnienie płuczki w procesie mechanicznej i/lub chemicznej separacji faz [1, 4, 8].

## Specyfika wiercenia HDD

Biorąc pod uwagę tylko definicję stosowaną w przemyśle naftowym, można by przeoczyć wyraźną odrębność i autonomiczność techniki wiercenia kierunkowego

oraz poszerzania otworów poprowadzonych na znacznie mniejszych głębokościach. Pomimo istnienia długiej listy cech wspólnych, istnieje też nie mniej rozbudowana lista różnic wynikających z odmiennej specyfiki wiertnictwa HDD i jego przeznaczenia. W związku z tym należy zaproponować szerszą definicję zamkniętego obiegu płuczkowego dla branży bezwykopowej. Będzie ona obejmowała zespół czynników techniczno-technologicznych, które wpływają bezpośrednio na skuteczność procesu wiercenia otworu HDD. Po stronie techniki będziemy mieli wszelkie niezbędne urządzenia służące produkcji, kondycjonowaniu, pompowaniu, ujmowaniu, transportowaniu, oczyszczaniu i ponownemu wykorzystaniu płynu wiertniczego w procesie. Po stronie technologii skupimy się na: kompozycji płynu, programie płuczkowym, programie hydraulicznym, monitoringu i opomiarowaniu procesu. Dopiero złożenie tych dwóch obszarów pozwoli nam skutecznie planować prace. Zarządzanie zamkniętym obiegiem pozostaje w ścisłej zależności od innych strategicznych decyzji technicznych, takich jak: wybór urządzenia wiertniczego, geometrii przewodu, konfiguracji narzędzi wiertniczych i modelowania parametrów wiercenia (obroty przewodu wiertniczego, nacisk, strumień przepływu płuczki) [1, 4, 7, 11, 12].

---

Pojęcie zamkniętego obiegu płuczki pochodzi z wiertnictwa naftowego i oznacza układ, w którym płuczka permanentnie cyrkuluje pomiędzy powierzchnią i dnem wierconego otworu

---

czego w procesie. Po stronie technologii skupimy się na: kompozycji płynu, programie płuczkowym, programie hydraulicznym, monitoringu i opomiarowaniu procesu. Dopiero złożenie tych dwóch obszarów pozwoli nam skutecznie planować prace. Zarządzanie zamkniętym obiegiem pozostaje w ścisłej zależności od innych strategicznych decyzji technicznych, takich jak: wybór urządzenia wiertniczego, geometrii przewodu, konfiguracji narzędzi wiertniczych i modelowania parametrów wiercenia (obroty przewodu wiertniczego, nacisk, strumień przepływu płuczki) [1, 4, 7, 11, 12].

## Cel działania

Wykonawca robót wiertniczych powinien określić najważniejsze cele i sposoby ich osiągnięcia. Doświadczona firma działa w oparciu o instrukcję wiercenia, w której zapisano

szczegółowo sposób postępowania i wyodrębniono etapy prowadzenia prac. Z tym dokumentem powiązany jest zatwierdzony harmonogram robót, na podstawie którego dokonuje się wyceny projektu. W przypadku bardziej skomplikowanych prac tworzone są dokumenty dotyczące oceny jakości otworu, analizy ryzyka oraz obszerne raporty techniczne. Wszystkie te zabiegi są ważne, ale celem nadrzędnym jest zakończenie prac konstrukcyjnych zgodnie z podpisanym kontraktem i w ramach założonego budżetu. Dla osiągnięcia wymaganej rentowności należy uzyskać zakładaną na etapie wyceny wydajność pracy nad otworem. Wydajność wiercenia wyrażona w metrach sześciennych otworu na godzinę lub w metrach zainstalowanego rurociągu na 12 godz. (standardową zmianę roboczą) jest jednym z najistotniejszych wskaźników techniczno-ekonomicznych, dzięki któremu porównujemy skuteczność działania w ramach różnych projektów. Jak wynika z wielu raportów spółek wiertniczych i wspierających je firm konsultingowych, wydajność (skuteczność) wiercenia jest wprost proporcjonalna do wydajności (przepustowości) zastosowanego zamkniętego obiegu płuczkowego. Co więcej, można też stwierdzić, że niedopasowanie komponentów obiegu do wymagań projektu rodzi największe opóźnienia w stosunku do założonego harmonogramu i znacząco podnosi koszty. Warto więc spojrzeć na problem dopasowania poszczególnych elementów systemu płuczkowego pod kątem optymalizacji działań i osiągnięcia wymaganej wydajności wiercenia [1, 7, 8, 9, 11, 12].

## Kompozycja płynu wiertniczego

Opracowanie uniwersalnego składu płynu z możliwością modyfikacji parametrów technicznych jest zagadnieniem kluczowym i wymagającym sporego doświadczenia. We współczesnej technologii płuczkowej duże znaczenie przywiązuje się do aplikacji produktów wielofunkcyjnych, o wysokiej chemicznej stabilności i odporności wobec długotrwałego ścinania. Wśród cech szczególnie pożądanych znajduje się korzystna charakterystyka lepkościowa wykorzystywanych komponentów płuczkowych i ich synergiczne działanie. Głównym składnikiem systemu wodnodispersyjnego, w którym woda

## SŁOWNICZEK

### PROGRAM PŁUCZKOWY

– zespół parametrów płuczkowych i technologicznych, rekomendowanych dla danego projektu

### HYDRAULIKA WIERTNICZA

– dziedzina techniki zajmująca się określeniem typu przepływu, relacją prędkości przepływu przez zmienne geometrie w obiegu płuczkowym, spadkami ciśnień w poszczególnych elementach układu, wpływem niecentrycznego położenia przewodu wiertniczego w kierunkowym otworze, a także modelowaniem reologicznym

### OTWIERANIE (INICJOWANIE) OBIEGU

– zatłaczanie płuczki do przewodu wiertniczego po stronie punktu wejścia lub wyjścia

### KRĄŻENIE W OTWORZE

– cyrkulowanie płuczki przez przewód i przestrzeń pierścieniową

### ZAMYKANIE OBIEGU

– odbieranie płuczki wypyływającej z otworu i jej odpowiednie skierowanie do punktów, w których zlokalizowano systemy separacji faz, a następnie do zbiorników aktywnych

### ZARZĄDZANIE OBIEGIEM ZAMKNIĘTYM

– analiza danych pozyskiwanych z procesu krążenia płuczki

stanowi fazę rozpraszającą, jest materiałem strukturotwórczym. Rekomendowane jest, aby produkty odpowiadające za wytworzenie stabilnej struktury płuczki (suspensji) pozwalały na uzyskanie wysokich lepkości przy niskich i ultraniskich prędkościach ścinania. Selekcja tego typu materiałów pozwoli na spełnienie większości kluczowych funkcji, jakie stawiamy przed cyrkulującym w otworze płynem. Składnikami odpowiedzialnymi za tworzenie trwałej suspensji są na ogół bentonity, uzupełniane w razie potrzeby biopolimerami. Komponentami wspierającymi mogą zostać inhibitory, dodatki funkcyjne odpowiedzialne za podwyższenie tolerancji systemu na fazę aktywną pozyskiwaną z otworu. Wybrany system płuczkowy powinien uwzględniać wzajemne relacje i interakcje komponentów oraz przewiercanej formacji. Powinien też być dostosowany do potencjału sprzętowego oraz przyjętej technologii wiercenia. Wybór materiałów płuczkowych, sposób produkcji i kondycjonowania płuczki leży w kompetencjach spółki wiertniczej lub też wynajętej przez nią specjalistycznej firmy serwisowej. Rekomendowany system płuczkowy powinien spełniać wszystkie (lub znaczącą większość) funkcje oraz minimalizować ryzyko problemów technicznych. Dostawcy materiałów płuczkowych muszą wykazać się certyfikatami higienicznymi dopuszczającymi je do prac wiertniczych w technologii HDD. Płyn wiertniczy, składający się wyłącznie z wody, certyfikowanego materiału oraz gruntu, nie powinien budzić wątpliwości co do swojej neutralności wobec środowiska [1, 3, 7].

## Funkcje płynu wiertniczego

Płyn wiertniczy ma zapewniać skuteczność działania, która jest identyfikowana jako konieczność spełnienia wielu funkcji krytycznych. Prawidłowe wykorzystanie płuczki opiera się na wdrożonym i potwierdzonym praktyką bilansie i analizie postępu wiercenia, strumienia przepływu i straty ciśnienia w kluczowych punktach układu. Główne funkcje, których spełnienie jest przedmiotem zainteresowania prawidłowo zaaplikowanej inżynierii płuczkowej, to:

– dostarczanie mocy hydraulicznej na dno otworu, dzięki czemu odbywa się urabianie formacji miękkich i czyszczone jest czoło narzędzia;

- transport zwiercin przestrzenią pierścieniową na powierzchnię, co w praktyce oznacza zapewnienie drożności otworu;
- utrzymywanie fazy stałej w suspensji w trakcie cyrkulowania i w stanach stacyjnych;
- utrzymywanie w stanie zintegrowanym ściany otworu poprzez kompensowanie ciśnienia porowego formacji;
- inhibitowanie warstw i zwiercin aktywnych (ilastycznych);
- utrzymywanie na akceptowalnym poziomie gradientów ciśnień cyrkulacyjnych dla różnych geometrii występujących w obiegu płuczkowym;
- chłodzenie zestawu wierzącego i kontrola (redukowanie) tarcia w otworze;
- prawidłowa współpraca z mechanicznymi urządzeniami służącymi do rozdzielania faz (oczyszczania płynu wiertniczego);
- stabilność chemiczna i stabilność wobec zmiennego ścinania;
- niewywoływanie zjawisk korozyjnych;
- akceptowalny poziom skutków oddziaływania na środowisko [7, 9].

## Program płuczkowy

Program płuczkowy to zespół parametrów płuczkowych i technologicznych, rekomendowanych dla danego projektu. Każdy parametr powinien być podawany w możliwie najwęższym zakresie. Dla poszczególnych cech należy podać dolną i górną granicę (minimum konieczne, maksimum dozwolone). Program powinien być efektem analizy dostępnych danych geologicznych i wynikać z doświadczeń spółki, płynących z realizacji zadań o podobnym stopniu trudności. Rekomenduje się, aby w przypadku niestandardowych zadań program był przygotowywany w porozumieniu ze specjalistyczną firmą zajmującą się doradztwem w obszarze technologii płynów wiertniczych. Dobry program uwzględnia oznaczone parametry geotechniczne podłoża, zaplanowany profil wiercenia, docelową średnicę poszerzenia otworu oraz możliwości urządzenia wiertniczego. Jakość płynu można zobiektywizować i potwierdzić, podając jego parametry mierzone standardowymi przyrządami według przyjętych przez przemysł procedur. Do najistotniejszych mierzonych parametrów należą:

- ciężar właściwy;
- zawartość fazy stałej, w tym frakcji piasz-

- czyste;
- profil lepkościowy (wartość naprężenia dla różnych prędkości ścinania) mierzony lepkościerzem obrotowym w jak najszerszym zakresie prędkości ścinania;
- lepkość LSRV mierzona przy ultraniskich prędkościach ścinania;
- tendencja do tworzenia struktur żelowych;
- filtracja płynu do ośrodka porowatego pod wpływem ciśnienia różnicowego;
- pH i konduktywność płuczki oraz filtratu;
- zawartość jonów charakterystycznych dla prowadzonego typu inhibicji.

zone w podstawowe sprzęty do pomiaru parametrów fizycznych i chemicznych płuczki wiertniczej. Częstotliwość wykonywania pomiarów polowych jest uzależniona od specyfiki projektu, ale można przyjąć, że podstawowe parametry związane z kontrolą fazy stałej, lepkością i pH suspensji powinny być sprawdzane co 3–4 godz. Dzięki zastosowaniu prawidłowego programu płuczkowego udaje się wyeliminować problemy związane z niewłaściwym oczyszczaniem otworu, z wysokim tarciem w otworze, szczelinowaniem hydraulicznym, nadmierną filtracją, niestabilną ścianą, słabą kontrolą nad wier-

centrycznego położenia przewodu wiertniczego w kierunkowym otworze, a także modelowaniem reologicznym. W obiegu płuczkowym interesują nas opory przepływu, jakie ma do pokonania każda wykorzystana pompa. Dzięki przeprowadzonym symulacjom wiemy, jakie parametry pracy (wydatek tłoczenia w funkcji wysokości podnoszenia) powinny cechować wykorzystywane przez nas maszyny robocze. W wiertnictwie stosuje się zarówno pompy wysokiego, średniego, jak i niskiego ciśnienia. Kluczowe są zwłaszcza te jednostki, które używane są w samym procesie drążenia otworu (tłokowe pompy wysokiego ciśnienia) oraz pompy typu wirowego, przetłaczające szlam przez rurociągi.

Sercem układu wiertniczego jest wysokociśnieniowy agregat pompowy (lub grupa takich agregatów), który jest w stanie pokonać opory wynikające z cyrkulowania płynu wiertniczego w otworze. Ciśnienie rejestrowane na pompie wysokociśnieniowej jest sumą strat ciśnienia w układzie zawierającym: przewód wiertniczy, obudowy sond pomiarowych, silnik wgłębny (jeśli jest wykorzystywany), dysze narzędzia (grupy narzędzi) i przestrzeń pierścieniową otworu. Dla ustalenia wielkości spadków ciśnień, wynikających z przepływu cieczy lepkiej, potrzebna jest znajomość parametrów płynu (profil lepkościowy, ciężar właściwy), parametrów instalacji (średnica hydrauliczna, długość), parametrów technologicznych (strumień przepływu), a nawet tak trudnych do określenia cech jakościowych, jak zmiana zawartość fazy stałej.

Firmy wiertnicze powinny przygotowywać programy techno-

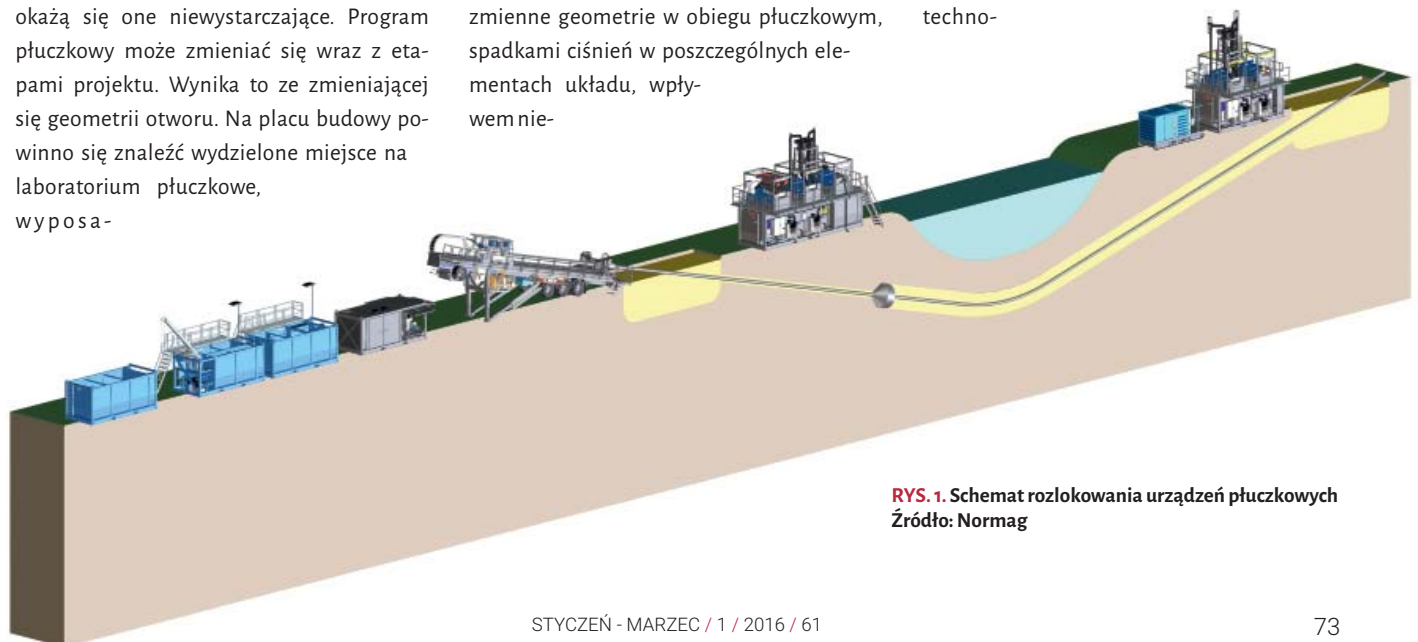
Zarządzanie zamkniętym obiegiem pozostaje w ścisłej zależności od innych strategicznych decyzji technicznych, takich jak: wybór urządzenia wiertniczego, geometrii przewodu, konfiguracji narzędzi wiertniczych i modelowania parametrów wiercenia

Dzięki znajomości modeli reologicznych szacuje się kluczowe parametry technologiczne: typ przepływu, lepkość efektywną, spadek ciśnienia w poszczególnych elementach obiegu płuczkowego, zdolność do transportu zwiercin o danej masie i granulacji. Program jest weryfikowany na wierni przez wykwalifikowany i przygotowany do tego zadania personel. Procedury kontrolne i zakres monitorowanych cech mogą zostać zmodyfikowane w trakcie realizacji zadania, jeśli okażą się one niewystarczające. Program płuczkowy może zmieniać się wraz z etapami projektu. Wynika to ze zmieniającej się geometrii otworu. Na placu budowy powinno się znaleźć wydzielone miejsce na laboratorium płuczkowe, wyposażone

niem kierunkowym. Inżynieria płuczkowa koreluje parametry fizyczne i chemiczne płynu z prędkością przepływu w przestrzeni pierścieniowej dla uzyskania optymalnego postępu wiercenia przy wymaganym stopniu oczyszczenia otworu [1, 3, 7, 9, 13].

## Hydraulika wiertnicza

Hydraulika wiertnicza to dziedzina techniki zajmująca się określeniem typu przepływu, relacją prędkości przepływu przez zmienne geometrie w obiegu płuczkowym, spadkami ciśnień w poszczególnych elementach układu, wpływem nie-



**RYS. 1.** Schemat rozlokowania urządzeń płuczkowych  
Źródło: Normag





Strona maszynowa		Wyposażenie wgłębne w otworze		Strona rurociągową	
Wariant optymalny	Wariant minimalny	Wariant maksymalny	Wariant minimalny	Wariant optymalny	Wariant minimalny
Zbiornik płuczkowy z lejem strumieniowym		Przewód wiertniczy		Zbiornik płuczkowy z lejem strumieniowym	
Dodatkowa pompa cyrkulacyjna wewnątrz zbiornika płuczkowego		Obciążnik niemagnetyczny	Obudowa sondy pomiarowej		
Pompa podłączająca pompę wysokociśnieniową		Silnik wgłębny		Pompa podłączająca pompę wysokociśnieniową	
Rurociąg z filtrem płuczkowym wyłapującym grubszą frakcję		Świder (poszerzacz) z dyszami		Rurociąg z filtrem	
Pompa wysokociśnieniowa		Przeźreń pierścieniowa otworu		Pompa wysokociśnieniowa	
Rurociąg (wąz) wysokociśnieniowy		<b>Rurociąg transferowy dla szlamu wiertniczego ułożony pod ziemią lub na powierzchni, łączący stronę maszynową ze stroną rurociągową</b>		Rurociąg (wąz) wysokociśnieniowy	
Zbiornik ziemny operacyjny				Zbiornik ziemny operacyjny	
Zbiornik ziemny zapasowy				Zbiornik ziemny zapasowy	
Pompa szlamowa w zbiorniku ziemnym				Pompa szlamowa w zbiorniku ziemnym	
System separacji faz (system oczyszczenia płuczki)				System separacji faz (system oczyszczenia płuczki)	Sito wstępnego oczyszczania
Zbiorniki ziemne lub kontenery na odseparowany urobek				Zbiorniki ziemne lub kontenery na odseparowany urobek	
Zbiornik buforowy dla płuczki oczyszczonej					
Zbiornik buforowy na wodę zarobową					
Rurociągi i pompy przetwarzające pomiędzy zbiornikami				Rurociągi i pompy przetwarzające pomiędzy zbiornikami	
Pompa wodna				Pompa wodna	
Rurociąg do tłoczenia wody do systemu płuczkowego				Rurociąg do tłoczenia wody do systemu płuczkowego	
Pompa do transferu szlamu na stronę rurociągową				Pompa do transferu szlamu na stronę maszynową	

**TAB. 1. Elementy zamkniętego obiegu płuczkowego z podziałem na strony projektu**

wadzenie prac, a także przygotowanie ziemnych zbiorników na płuczkę o odpowiedniej pojemności. Zbiorniki te powinny spełniać trzy funkcje technologiczne, tj. umożliwić: cyrkulowanie płuczki w obiegu zamkniętym; obróbkę chemiczną i rozcieńczenie płuczki w trakcie wiercenia przez sekcje ilaste; przyjęcie całej objętości płuczki wypartej z otworu w trakcie instalacji. Zbiorniki powinny być połączone ze sobą infrastrukturą pompowo-rurociągową. Należy unikać pracy z pojedynczymi zbiornikami o bardzo dużej pojemności [5, 8, 10, 14].

## Zasada działania zamkniętego obiegu

Na etapie planowania projektu należy

wskazać miejsca rozlokowania zaangażowanego sprzętu płuczkowego (rys. 1). Będzie to ściśle związane z przyjętą strategią postępowania na etapie wiercenia pilotowego i poszerzania otworu. Specyfika wierzeń HDD zakłada wykonanie otworu otwartego z dwóch stron (punkty wejścia i wyjścia). Zdarzają się także otwory ślepe, bez przebiecia na powierzchnię terenu, ale mają one marginalne znaczenie. Na skutek takiego założenia na wszystkich etapach prac, za wyjątkiem wiercenia pilotowego, płuczka cyrkulować może do punktu wejścia lub punktu wyjścia, albo nawet do obydwu punktów jednocześnie. W związku z tym infrastruktura płuczkowa zlokalizowana po obydwu stronach przewiertu musi być ze

sobą skomunikowana. Podstawowym sposobem komunikacji jest ułożenie rurociągu o wymaganej geometrii pod powierzchnią terenu (instalacja trwała) lub na powierzchni terenu (instalacja tymczasowa). Alternatywną metodą jest wykorzystanie samochodów cystern (możliwe do zastosowania w małych i średnich projektach) lub barki (statku) do transportu płuczki pomiędzy brzegami przekraczanej przeszkody wodnej. Zatlaczanie płuczki do przewodu wiertniczego po stronie punktu wejścia lub wyjścia nazywamy otwieraniem (inicjowaniem) obiegu. Cyркуlowanie płuczki przez przewód i przestrzeń pierścieniową zwane jest krążeniem w otworze. Odbieranie płuczki wypływającej z otworu i jej odpowiednie

skierowanie do punktów, w których zlokalizowano systemy separacji faz, a następnie do zbiorników aktywnych, to zamykanie obiegu.

Można wskazać na kilka typowych przypadków działania obiegów płuczkowych.

### Opcja nr 1. Prace wiertnicze prowadzone są z wykorzystaniem rurociągu transferowego

#### Opcja nr 1a: wiercenie pilotowe odbywa się tylko od strony maszynowej:

- w trakcie wiercenia pilotowego obieg płuczkowy zamykany jest po stronie wiertnicy;
- w trakcie poszerzania metodą push (pchając) obieg płuczkowy zamykany jest po stronie wiertnicy za wyjątkiem końcowej fazy robót, kiedy płuczka przedostaje się na stronę rurociągową i jest przesyłana rurociągiem do punktu wejścia;
- w trakcie poszerzania metodą pull (ciągnąc) płuczka odbierana jest po stronie punktu wyjścia, a następnie przesyłana rurociągiem transferowym do systemu separacji, zlokalizowanego po stronie wiertnicy;
- w trakcie instalacji płuczka wyphywająca po stronie rurociągowej może być magazynowana w zbiornikach ziemnych lub przesyłana rurociągiem transferowym do punktu wejścia, gdzie również podlega magazynowaniu w zbiornikach kontenerowych, jak i w zbiornikach ziemnych.

#### Opcja nr 1b: wiercenie pilotowe odbywa się z wykorzystaniem dwóch wiertnic (metoda Intersect):

- w trakcie jednoczesnego wiercenia pilotowego obieg płuczkowy zamykany jest po obydwu stronach przekroczenia (wymagane są dwa systemy separacji i kondycjonowania płuczki, a także dwie pompy wysokociśnieniowe);
- w trakcie poszerzania w tandemie (dwa urządzenia) płuczka na ogół jest zatłaczana od strony urządzenia podstawowego (strona maszynowa). W przypadku cyrkulowania na stronę rurociągową, płuczka jest przesyłana do punktu wejścia do systemu separacji zlokalizowanego po stronie wiertnicy;
- w trakcie instalacji płuczka wyphywająca

po stronie rurociągowej może być magazynowana w zbiornikach ziemnych lub przesyłana rurociągiem transferowym do punktu wejścia, gdzie podlega magazynowaniu w zbiornikach kontenerowych lub ziemnych.

---

Perturbacje wynikające z niewłaściwego obiegu płuczki skutkują zwykle niestabilnością otworu, wydłużonym czasem jego tworzenia oraz szybko rosnącymi kosztami, będącymi konsekwencją obiegu otwartego

---

### Opcja nr 2. Prace wiertnicze prowadzone są bez rurociągu transferowego

#### Opcja nr 2a: wiercenie pilotowe odbywa się tylko od strony maszynowej:

- w trakcie wiercenia pilotowego obieg płuczkowy zamykany jest po stronie wiertnicy;
- w trakcie poszerzania metodą push (pchając) obieg płuczkowy zamykany jest po stronie wiertnicy, za wyjątkiem końcowej fazy robót, kiedy płuczka przedostaje się na stronę rurociągową, jest oczyszczana i zatłaczana do przewodu od strony wyjścia (wymagane są dwa systemy separacji i kondycjonowania płuczki oraz dwie pompy wysokociśnieniowe);
- w trakcie poszerzania metodą pull (ciągnąc) płuczka jest odbierana po stronie punktu wyjścia i zatłaczana od strony punktu wyjścia (wymagane są dwa systemy separacji, kondycjonowania płuczki, dwie pompy wysokociśnieniowe, dwa zawory zwrotne wewnątrz przewodu);
- w trakcie instalacji nie ma możliwości przesyłania płuczki na stronę maszynową i zachodzi konieczność jej magazynowania w zbiornikach ziemnych.

#### Opcja nr 2b: wiercenie pilotowe odbywa się z wykorzystaniem dwóch wiertnic (metoda Intersect):

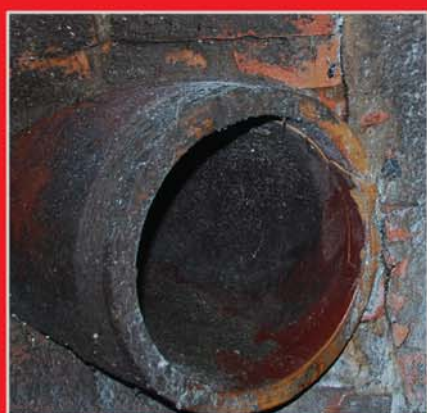
- w trakcie jednoczesnego wiercenia pilotowego obieg płuczkowy zamykany jest po obydwu stronach (wymagane dwa systemy separacji, kondycjonowania płuczki i dwie pompy wysokociśnieniowe);
- w trakcie poszerzania w tandemie (dwa urządzenia) płuczka będzie tłoczona z tej strony, która pełni rolę aktywnej (kierunek cyrkulacji). Wymagane jest zastosowanie wgłębnych zaworów zwrotnych i zdublowanego systemu separacji, kondycjonowania i pompowania do otworu;
- w trakcie instalacji nie ma możliwości przesyłania płuczki na stronę maszynową i zachodzi konieczność jej magazynowania w zbiornikach ziemnych.

Płuczka powinna cyrkulować tylko pomiędzy wyznaczonymi dla niej punktami. Każdy przypadek niekontrolowanej migracji poza otwór, system zbiorników lub system rurociągów należy traktować jako anomalię i wdrożyć czynności naprawcze. Polegają one na uszczelnianiu stref chłonnych w otworze lub na likwidacji szczelin łączących otwór z powierzchnią terenu. Ponowne skierowanie strumienia płuczki do właściwego układu jest obowiązkiem spółki wiertniczej. Długotrwałe cyrkulowanie przez szczeliny w ścianie otworu, których powstanie zostało wywołane nadmiernym ciśnieniem dennym lub też stanem naturalnym formacji, skutkuje wzrostem tzw. kosztów płuczkowych, obniżeniem jakości otworu i wzrostem ryzyka technicznego. Stan braku zamkniętego obiegu należy traktować jako komplikację wiertniczą [2, 5, 9, 14].

### Zarządzanie obiegiem zamkniętym

Pod tym pojęciem rozumiemy analizę danych pozyskiwanych z procesu krążenia płuczki. Część danych podlega automatycznej rejestracji, inna jest dostępna tylko w trybie do odczytu i ręcznej archiwizacji. Niektóre wymagają wykonania pomiaru pobranej próbki płuczki. Istnieją też parametry takie, jak: całkowity czas obiegu, czas wyphywu z dna otworu, objętości aktywne otworu (biorące udział w cyrkulacji), które wymagają przeprowadzenia kalkulacji. Dys-





- + diagnostyka sieci
- + czyszczenie kanalizacji
- + inspekcja TV przyłączy od strony kolektora
- + renowacja rękawem z żywicami epoksydowymi
- + renowacja rękawem utwardzanym promieniami UV
- + skanowanie studni i rurociągów 3D
- + renowacja kształtką kapeluszową
- + renowacja studni

Cons Control System

ul. Klonowa 3, 66-016 Czerwieńsk

[www.cons-group.eu](http://www.cons-group.eu) | [biuro@cons-group.eu](mailto:biuro@cons-group.eu)

GSM 0048 691 51 50 49 | CENTRALA 0048 68 32 78 679





Element obiegu płuczkowego	Mierzony parametr	Komentarz
Pompa wodna/linia wodna	1. Objętość wody dostarczona do obiegu 2. Strumień tłoczzonej wody	Bilans objętości
System przygotowania/kondycjonowania płuczki	3. Parametry płynu wiertniczego zgodnie z programem płuczkowym 4. Koncentracja materiałów płuczkowych	Weryfikacja jakości cyrkulującego płynu
Linia zasilająca pompę wysokociśnieniową	5. Strumień zatłaczanej do otworu płuczki 6. Całkowita objętość zatłoczzonej płuczki dziennie (lub w marszu)	Bilans objętości
Pompa wysokociśnieniowa	7. Strumień zatłaczanej do otworu płuczki 8. Ciśnienie tłoczenia	Bilans objętości, monitoring całkowitych spadków ciśnienia w układzie wiertniczym
Moduł APWD	9. Pomiar spadku ciśnienia w dyszach 10. Pomiar ciśnienia dennego	Skuteczność transportu zwiercin, weryfikacja programu płuczkowego, skuteczność zastosowanego systemu inhibicji
Zbiornik ziemny	11. Pomiar zawartości fazy stałej (ciężar właściwy i frakcja piaskowa)	Skuteczność transportu zwiercin
Pompa transferowa	12. Ciśnienie tłoczenia (dławienie w rurociągu transferowym)	Drożność rurociągu transferowego (monitorowanie efektu sedimentacji grubej frakcji)
Rurociąg zasilający system separacji	13. Strumień zatłaczanej do recyklingu płuczki 14. Całkowita objętość oczyszczonej płuczki dziennie (lub w marszu)	Parametry niezbędne do wykonania bilansu masy i bilansu objętości
System separacji faz	15. Ciśnienie w manifoldach zasilających baterie hydrocyklonów 16. Ciężar właściwy fazy stałej opuszczającej dolnym wylotem hydrocyklony 17. Ciężar właściwy fazy stałej opuszczającej sita wibracyjne	Bilans masy i ocena poprawności działania systemu rozdziału faz
Wirówka dekantacyjna ze stacją flokulacyjną	18. Ciężar właściwy płuczki wchodzącej i wychodzącej 19. Ciężar właściwy urobku opuszczającego wirówkę	Urządzenie pracujące równoległe do układu płuczkowego, pobierające płuczkę ze zbiornika buforowego i zrzucające do systemu aktywnego
Zbiornik ziemny lub kontenery przeznaczone do zrzutu fazy stałej z systemu separacji	20. Objętość odseparowanego urobku 21. Ciężar właściwy odseparowanego urobku	Bilans masy
Zbiornik buforowy na oczyszczonej płuczce	22. Pomiar zawartości fazy stałej (ciężar właściwy i frakcja piaskowa)	Ocena skuteczności działania systemu separacji
System przygotowania/kondycjonowania płuczki (zbiornik aktywny)	23. Ponowny pomiar parametrów płynu wiertniczego zgodnie z programem płuczkowym	Ocena jakości płuczki w kontekście programu płuczkowego Dozowanie wody i komponentów płuczkowych według programu
Zbiornik wodny	24. Pomiar objętości skonsumowanej wody i objętości wody zapasowej	Zbiornik opcjonalny dla projektów, w ramach których niezbędne jest magazynowanie wody czystej
Zbiornik rezerwowo	25. Pomiar parametrów płynu wiertniczego zgodnie z programem płuczkowym	Zbiornik na płuczkę zapasową lub bazę dla płuczki inhibitowanej

TAB. 2. Przykładowe dane rejestrowane i analizowane w zamkniętym układzie płuczkowym

ponowanie zestawem dostępnych danych technologicznych umożliwia podejmowanie decyzji dotyczących optymalizacji programu wiercenia czy modyfikacji parametrów pracy urządzeń wchodzących w skład obiegu płuczkowego. W tab. 2 zestawiono możliwe do pozyskania parametry techniczne.

Jak wspomniano w poprzednim rozdziale, spółka wiertnicza jest odpowiedzialna za bieżącą analizę objętości płynów zatłaczanych do otworu i z niego odbieranych. Należy ponadto na bieżąco monitorować konsumpcję wody w obiegu płuczkowym. Rekomenduje się wykorzystanie przepływo-

mierzy montowanych na rurociągu zasilającym pompę płuczkową (płyn czysty) i na rurociągu zasilającym system oczyszczania płuczki (szlam). W przypadku braku przepływomierzy należy bazować na szacunkach wynikających z wydatku pompy i czasu pompowania. Na podstawie bilansu przepływów

Podaruj



## Lilianka

urodziła się 11.08.2014 r. z prawostronnym rozszczepem wargi oraz wyrostka zębodołowego.

Rozszczep jest wadą skomplikowaną i wymagającą długoletniego i kosztownego leczenia. Niestety jest on wadą korygowaną wyłącznie operacyjnie i kilkietapowo. Pierwsza operacja jest już za nami i polegała na zszyciu rozszczepu wargi oraz korekcie części miękkiej nosa. Lilkę czekają jeszcze dwie operacje: pierwsza - wyrostka zębodołowego z ewentualnym przeszczepem kości z biodra do zębodołu, druga - korekta części twardej nosa. Operacje to tylko część leczenia rozszczepu. Leczenie musi być kompleksowe i wymaga zaangażowania wielu specjalistów: laryngologa, chirurga dziecięcego od wad twarzoczaszki, chirurga plastyka, ortodonta, pediatry, logopedy, a nawet psychologa.

1%  
dla Lilianki

Wystarczy w PIT wpisać:

KRS 0000037904

Cel szczegółowy 1%: 28408 Bzimek-Polańska Liliana

[jedenprocentlilianki@gmail.com](mailto:jedenprocentlilianki@gmail.com)

Szanowni Darczyńcy, prosimy o wyrażenie zgody w formularzu PIT na przekazanie swoich danych organizacji pożytku publicznego - dzięki temu będziemy wiedzieli, kto udzielił wsparcia naszym podopiecznym.



Fundacja Dzieciom „Zdążyć z Pomocą”

01-685 Warszawa, ul. Lomiańska 5

Bank BPH S.A. Oddział w Warszawie

rachunek nr: 15 1060 0076 0000 3310 0018 2615

tytuł przelewu: 28408 Bzimek-Polańska Liliana

- darowizna na pomoc i ochronę zdrowia.



i konsumpcji wody można oszacować technologiczne straty płuczki. Objętości te odnoszą się zarówno do strat ponoszonych w systemie separacji (zwilżalność zwiercin), jak i do strat węglbnych. Rekomenduje się też, aby ciśnienie robocze każdej pompy w obiegu było opomiarowane.

Firma wiertnicza jest odpowiedzialna także za prowadzenie ewidencji zwierconej fazy stałej i jej aktualnego stanu w systemie płuczkowym. Faza stała może podlegać separacji w mechanicznych urządzeniach do oczyszczania, może też ulegać rozproszeniu i dyspersji w płuczce jako faza koloidalna bądź drobny pył. Urobek, który się nie bilansuje, należy traktować jako pozostawiony (zalegający) w otworze [2, 5, 10, 14].

---

Każdy przypadek niekontrolowanej migracji płuczki poza otwór, system zbiorników lub system rurociągów należy traktować jako anomalię i wdrożyć czynności naprawcze

---

## Produkty uboczne procesu

W trakcie wiercenia powstają znaczące ilości odseparowanego suchego lub półsuchego urobku i pewne ilości szlamu, które zostały uznane za niezdatne do dalszego wykorzystania. Po zakończeniu realizacji projektu pozostaje też znacząca ilość płynnego szlamu wypchniętego przez instalowany rurociąg. Ilość urobku i szlamu podlegającego utylizacji jest funkcją długości i średnicy otworu, a także w pewnym stopniu pochodną po typie przewiercanej formacji. Urobek powinien zostać zdeponowany w miejscu do tego celu przeznaczonym. Szlam wiertniczy po oczyszczeniu może być przewieziony i z powodzeniem wykorzystany w innej lokalizacji. Jeśli nie ma takiej lokalizacji, szlam wiertniczy należy poddać utylizacji zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa [4, 5, 14].

## Podsumowanie

Instalacje HDD należą do zadań wymagających wcześniejszego planowania i zastosowania sprawdzonych procedur. Płyn wiertniczy jest jednym z głównych komponentów systemu i często ma decydujący wpływ na efektywność i opłacalność realizowanego zadania. W przypadku projektów o planowanej pojemności otworu powyżej 50 m<sup>3</sup> rekomendowane jest zastosowanie sprzętu wiertniczego wyposażonego w system płuczkowy umożliwiający krążenie płynu w obiegu zamkniętym. Analizując wykonalność projektu, należy brać pod uwagę techniczne, ekonomiczne i środowiskowe aspekty inżynierii płuczkowej. Na etapie tworzenia budżetu trzeba przeanalizować zarówno koszty produkcji płuczki, koszty podtrzymania obiegu, monitoringu, kondycjonowania i utrzymania jakości, jak i koszty utylizacji odpadów wiertniczych. Koszty utrzymania płuczki w należyłym stanie są w znacznym stopniu uzależnione od zastosowania właściwej konfiguracji systemu separacji faz, zwanego też często systemem kontroli fazy stałej.

W kolejnych artykułach poświęconych zamkniętemu obiegowi płuczki omówione zostaną istniejące rozwiązania techniczne w tym właśnie zakresie (część II) oraz przeprowadzona zostanie analiza kosztów zakupu, najmu i eksploatacji układów płuczki odpowiednich dla różnych klas maszyn wiertniczych (część III). <

---

Płyn wiertniczy jest jednym z głównych komponentów systemu i często ma decydujący wpływ na efektywność i opłacalność realizowanego zadania

---

## Literatura

- [1] Baumert M., Allouche E, Moore I.: Drilling Fluid Considerations in Design of Engineered Horizontal Directional Drilling Installations. International Journal of Geomechanics. ASCE December, 2005.
- [2] Catalin I., Bruton J.: How Can We Best Manage Lost Circulation? Artykuł AADE-03-NTCE-38 zaprezentowany na konferencji AADE w Houston, USA, 1–3 kwietnia 2003.
- [3] Baker Hughes Drilling Fluids: Drilling Fluids Reference Manual – revised edition 2006.
- [4] Drilling Contractors Association (DCA): Wytyczne techniczne. Edycja 4, Aachen (wersja angielska), 2015.
- [5] Drilling Fluids Processing Handbook: Elsevier Inc. London, 2005.
- [6] Murray C., Bayat. A, Osbak M.: Elevated Annular Pressure Risk in Horizontal Directional Drilling. Artykuł zaprezentowany na konferencji NASTT w Orlando, Floryda, USA, 13–17 kwietnia 2014.
- [7] Osikowicz R.: Krytyczne funkcje płynów wiertniczych. Inżynieria Bezwykopowa, 1/2005.
- [8] Osikowicz R.: Tendencje obserwowane w rozwoju HDD w Polsce i na świecie. Artykuł wygłoszony w trakcie XII konferencji „Inżynieria Bezwykopowa” w Krakowie, 11 czerwca 2014.
- [9] Osikowicz R.: Rola płynu w procesie wiercenia długiego otworu kierunkowego. Artykuł zaprezentowany w trakcie konferencji „Inżynieria Bezwykopowa” w Tomaszowicach, czerwiec 2005.
- [10] Osikowicz R.: Zarządzanie jakością otworu wiertniczego. Inżynieria Bezwykopowa 1/2015.
- [11] Osikowicz R.: Największe projekty HDD w Polsce. Listy rankingowe. Inżynieria Bezwykopowa 2/2015.
- [12] Osikowicz R.: Ocena aktualnego stanu techniki HDD w Polsce. Referat wygłoszony w trakcie XIII konferencji „Inżynieria Bezwykopowa” w Krakowie, 10 czerwca 2015.
- [13] Osikowicz R.: Programy technologiczne dla HDD. Referat wygłoszony w trakcie II Seminarium Technicznego ROE w Krakowie, grudzień 2015.
- [14] Petiet R.: Closed-loop Mud Systems in HDD Technology. Referat wygłoszony w trakcie II Seminarium Technicznego ROE w Krakowie, grudzień 2015.



Fot. Robert Osikowicz Engineering

Kontrola fazy stałej w płynie wiertniczym to jedno z głównych zagadnień, jakimi zajmuje się inżynieria wiertnicza

# Zamknięty **obieg płuczkowy** CZĘŚĆ II: SELEKCJA PARAMETRÓW



**Robert Osikowicz**

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

Artykuł jest kontynuacją rozpoczętych w poprzednim numerze „Inżynierii Bezwykopowej” rozważań dotyczących organizowania i użytkowania zamkniętego obiegu płuczkowego w procesie HDD. W tej części pod rozważenie zostaną poddane wymagania, jakim powinien sprostać taki system w kontekście grup stowarzyszonych z nim urządzeń wiertniczych. Jak wspomniano uprzednio, w skład obiegu wchodzi wszystkie grupy urządzeń, dzięki którym możliwe jest cyrkulowanie płuczki wiertniczej zarówno wewnątrz otworu wiertniczego, jak też na powierzchni terenu. Wśród elementów bezwzględnie wymaganych znajdują się: układy przygotowania, magazynowania i kondycjonowania płuczki, pompy wysokociśnieniowe, szlamowe pompy cyrkulacyjne oraz systemy separacji faz

## Parametry zamkniętego systemu płuczkowego

Spółki wiertnicze i specjalistyczne serwisy płuczkowe stosują w procesie drążenia otworu odpowiednio skonfigurowane elementy obiegu płuczkowego, które powinny być kompatybilne i charakteryzować się podobnymi parametrami funkcjonalnymi. Wśród najpowszechniej wykorzystanych parametrów elementów układu płuczkowego znajdują się: *wydajność, skuteczność* lub *przepustowość*. Parametry te są trudno definiowalne i dla każdego urządzenia będą miały inne uzasadnienie. Spółki wiertnicze mają do dyspozycji bardzo szeroką paletę rozwiązań technologicznych. Większość z nich może okazać się skuteczna i przyczynić się do prawidłowej realizacji projektu. Które więc z tych dostępnych rozwiązań wybrać? Głównymi kryteriami wyboru będą te związane z techniką oraz z ekonomiką. W tej części artykułu poruszane będą głównie uwarunkowania techniczne.

Urządzenia wiertnicze HDD są zwykle klasyfikowane według parametrów stowarzyszonych z ich realnym działaniem (siła pchania/ciągnięcia oraz moment obrotowy). Parametry mechaniczne wiertnic powiązane są z parametrami (geometrią) elementów przewodu wiertniczego i narzędzi wiertniczych, a także z parametrami nieodzownego w pracach wiertniczych systemu urządzeń płuczkowych. Rozważając poszczególne części składowe obiegu płuczkowego, można wyodrębnić poszczególne cechy urządzeń, które decydują o ich skuteczności działania i dopasowaniu do pozostałych elementów systemu

wiertniczego. W tab. 1 zaprezentowano parametry poszczególnych składników układu z podziałem na te o znaczeniu krytycznym, podstawowym i pomocniczym. Do każdego z urządzeń można też dodać wartość wymaganej do dostarczenia mocy, aby pracowało ono w swoim optymalnym zakresie.

Można też dokonać zestawienia poszczególnych klas urządzeń wiertniczych z wymaganymi parametrami pracy poszczególnych elementów zamkniętego obiegu płuczkowego, przy czym dolny zakres przedziału oznacza wartość minimalną, a górny zakres wartość pożądaną (optymalną).

Urządzenie	Parametr krytyczny	Parametr główny	Parametr pomocniczy
Zbiornik przygotowania i kondycjonowania płuczki	Pojemność zbiornika strumień przepływu przez zwężkę Venturi (l/min)	strumień przepływu przez armaturę (l/min)	
Linia wodna	strumień przepływu (l/min)	średnica wewnętrzna (mm) i długość instalacji (m)	ciśnienie robocze (bar)
Zbiornik na wodę technologiczną	pojemność (m <sup>3</sup> )	zdolność do odbioru wody (l/min)	
Zbiornik na płuczkę zapasową	pojemność (m <sup>3</sup> )	zdolność do przyjmowania i wytlaczania płuczki (l/min)	zdolność do podtrzymania parametrów suspensji
Pompa wysokociśnieniowa (tłokowa) z pompą podłączającą (wirowa)	strumień przepływu (l/min) maksymalne ciśnienie tłoczenia (bar)	parametry w trybie pracy ciągłej (24/24) parametry w trybie pracy okresowej (8/24)	tolerancja wobec fazy stałej (zawartość procentowa dla poszczególnych frakcji)
Pompa szlamowa transferowa	strumień przepływu w funkcji wysokości podnoszenia (l/min @ bar)	dopuszczalna zawartość i rozmiar fazy stałej	dopuszczalny poziom lepkości
Pompy szlamowe cyrkulacyjne	strumień przepływu w funkcji wysokości podnoszenia (l/min @ bar)	dopuszczalna zawartość i rozmiar fazy stałej	dopuszczalny poziom lepkości
System separacji faz	przepustowość systemu (l/min) w funkcji zawartości fazy stałej, lepkości płynu i wymaganej dokładności separacji	pojemność systemu (m <sup>3</sup> ) powierzchnia przesiewania na sitach wibracyjnych (m <sup>2</sup> ) ilość i rozmiar hydrocyklonów	ilość sekcji (modułów)

**TAB. 1.** Parametry poszczególnych składników układu z podziałem na te o znaczeniu krytycznym, podstawowym i pomocniczym

Klasa urządzenia (siła ciągnięcia)	do 200 kN	200–500 kN	500–1000 kN	1000–2500 kN	ponad 2500 kN
Moment obrotowy	do 10 kNm	10–30 kNm	30–60 kNm	60–120 kNm	ponad 120 kNm
Średnica przewodu wiertniczego	2 7/8–3 1/2"	3 1/2–5"	5–5 1/2"	5 1/2–6 5/8"	6 5/8–7 5/8"
Pompa płuczkowa	250–500 l/min	500–1000 l/min	1000–2000 l/min	2000–3000 l/min	ponad 3000 l/min
Pompa transferowa (szlamowa)	1000 l/min @ 6 bar	1500 l/min @ 8 bar	2500 l/min @ 10 bar	3500 l/min @ 12 bar	ponad 4000 l/min 12 bar
Rurociąg transferowy	5"	6"	6"	6–8"	8"
Zbiornik przygotowania i kondycjonowania płuczki	10–15 m <sup>3</sup>	15–20 m <sup>3</sup>	20–30 m <sup>3</sup>	30–40 m <sup>3</sup>	min. 40 m <sup>3</sup>
Zbiorniki zapasowe (buforowe)	-	15–20 m <sup>3</sup>	20–40 m <sup>3</sup>	40–80 m <sup>3</sup>	min. 80 m <sup>3</sup>
Ilość sit wibracyjnych	1	1–2	2–3	3–4	4–6
Ilość baterii hydrocyklonów	1	1–2	2	2–3	3–4
Wirówka dekantacyjna	-	-	opcjonalnie	opcjonalnie	opcjonalnie

TAB. 2. Konfiguracja systemów płuczkowych z podziałem na klasy urządzeń wiertniczych

Projektowanie i selekcja komponentów obiegu płuczkowego musi uwzględniać wiele czynników związanych zarówno z hydrauliką otworową, jak i z hydrauliką wynikającą z przepływu przez geometrię urządzeń zamontowanych na powierzchni terenu. Wszystkie komponenty systemu powinny dać się zintegrować w jeden, dobrze „zbalansowany” układ płuczkowy. Kwestie parametrów i wymagań technicznych pełnią funkcje nadrzędne, tym niemniej takie cechy funkcjonalne, jak trwałość, łatwość obsługi, niezawodność działania, koszt i szybkość zwrotu inwestycji, nie powinny być w takiej analizie pominięte.

## Cechy charakterystyczne zamkniętego obiegu

Życie płuczki rozpoczyna się w momencie przygotowania jej w zbiornikach wyposażonych w lej strumieniowy ze zwężką. Dzięki ścinaniu (przyspieszaniu) płuczki w systemie zwężek, dysz, mieszadeł i kolektorów następuje uwodnienie bentonitu, a także rozproszenie innych komponentów płuczkowych. Wymagany czas na przygotowanie w pełni zdyspergowanej suspensji zależy od stosunku wydajności pomp cyrkulujących do pojemności wewnętrznej zbiornika. Pojemność zbiorników płuczkowych powinna być skorelowana ze strumieniem płuczki tłoczony do otworu i nie powinna być mniejsza niż piętnastokrotność maksymalnego spodziewanego wydatku pompy płuczkowej. Aktywny zbiornik płuczkowy może być wyposażony w jedną lub kilka pomp wirowych napędzanych na ogół silnikami elektrycznymi. Charakterystyka pomp powinna być dostosowana do spodziewanej wydajności systemu mieszania.

Jedną z pomp wirowych zasilają wysokociśnieniową pompę płuczkową (agregat pompowy), zatłaczającą płyn do przewodu wiertniczego. Wydatek pompy zasilającej (podtłaczającej) powinien przewyższać maksymalny spodziewany strumień płuczki wykorzystywany do wiercenia. Wysokociśnieniowe agregaty pompowe wyposażone są na ogół w napęd spalinowo-hydrauliczny. Alternatywą są układy hybrydowe spalinowo-elektryczne. Strumień zatłaczanej płuczki jest związany z klasą urządzenia wiertniczego i geometrią wierconego otworu. Stałą obserwowaną na rynku HDD tendencją jest aplikowanie coraz to większych systemów pompowych, składających się z jednej lub kilku pomp tłokowych.

W skład obiegu płuczkowego wchodzi wszystkie grupy urządzeń, dzięki którym możliwe jest cyrkulowanie płuczki wiertniczej zarówno wewnątrz otworu wiertniczego, jak też na powierzchni terenu

Istnieje kilka elementów, które odróżniają zamknięte układy cyrkulacji od nieskomplikowanych układów otwartych. Wśród nich szczególną rolę pełnią układy pompowe do tłoczenia szlamu przez rurociągi transferowe oraz mechaniczne urządzenia do oczyszczania i kondycjonowania

płuczki, dzięki którym możliwe jest ponowne wykorzystanie płynu wiertniczego, wypływającego z otworu, w procesie wiercenia. Urządzenia mechanicznej separacji faz połączone są ze sobą rurociągami, manifoldami, a przepływ pomiędzy poszczególnymi składnikami systemu zapewniają pompy tolerujące wysoką zawartość abrazyjnej fazy stałej. Systemy separacji faz to dobrze zestrojone układy urządzeń służących do oddzielenia zawieszony lub zdyspergowanej fazy stałej od płynnej fazy rozpraszającej. W konwencjonalnych układach separacji wykorzystuje się trzy powszechnie znane mechanizmy. Po pierwsze jest to przepływ przez ośrodek separujący, jaki stanowią sita wibracyjne. Nie jest przy tym wymagana różnica ciężaru właściwego pomiędzy fazą ciekłą a fazą stałą. Po drugie jest to zjawisko sedymentacji, w którym dla zajścia prawidłowego procesu separacji konieczna jest różnica ciężarów właściwych pomiędzy rozdzielanymi fazami. W grę wchodzi tutaj zarówno wszelkiego typu proste zbiorniki osadnikowe (siła grawitacji), jak również bardziej złożone układy hydrocyklonów czy też wirówki dekantacyjne (siła odśrodkowa). Po trzecie – wykorzystuje się także strącanie fazy stałej z zawiesin za pomocą metod chemicznych. Do głosu dochodzą wtedy takie zjawiska, jak koagulacja czy flokulacja. Istotą procesu koagulacji jest zmniejszenie stopnia dyspersji układu zawierającego frakcję koloidalną poprzez łączenie się pojedynczych rozproszonych cząstek w większe aglomeraty, które łatwiej mogą zostać usunięte z suspensji w procesie sedymentacji (odwirowania mechanicznego).

Układy służące separacji faz wykorzystują różne kombinacje sit wibracyjnych i hydrocy-



klonów zamontowanych na wielokomorowych zbiornikach stalowych. Sita stanowią przy tym pierwszą linię obrony przez wzrostem koncentracji fazy stałej w płuczce obiegu, a ich działanie w najmniejszym stopniu sprzyja rozdrabnianiu zwiercin. Wibrujące sita to urządzenia oddzielające fazę stałą o granulacji wynikającej z wielkości i kształtu oczek, założonej na sicie siatki lub panelu. Wartość przyspieszenia, jakiemu poddawana jest faza stała, zależy od konstrukcji urządzenia i na ogół osiąga wartości od 5 do 8 razy większe niż to wynika z przyspieszenia grawitacyjnego. Jedno z sit pełni funkcję wstępnego separatora, oddzielającego grubszą frakcję, większe kawałki iltu lub okruchy skalne. Jest to element, którego przepustowość nie może być mniejsza od stosowanego strumienia cyrkulującej płuczki. Kolejne sita służą do oddzielania coraz drobniejszych frakcji (piasku i pyłu). Zintegrowane są przy tym z bateriami hydrocyklonów, które zrzucają na nie zwilżone płuczką zwierciny. Hydrocyklony to cylindryczno-stożkowe urządzenia zasilane zewnętrzną pompą określoną objętością płuczki w jednostce czasu. Ciśnienie robocze notowane w rurociągu zasilającym jest funkcją strumienia przepływu, geometrii hydrocyklonu oraz zawartości fazy stałej. Rozdział faz zachodzący we wnętrzu hydrocyklonu poddaje się opisowi za pomocą prawa Stokes'a: im niższa lepkość płynu i im większe separowane ziarno, tym łatwiej zachodzi sam proces. Dopasowanie

parametrów pracy pompy do parametrów pracy baterii hydrocyklonów ma decydujące znaczenie dla jakości separacji. Ilość baterii oraz hydrocyklonów w ramach baterii jest zależna od wielkości i złożoności systemu oczyszczania. Każda z baterii hydrocyklonów powinna przyjmować podobne objętości płynu w jednostce czasu. Wielkość powierzchni przesiewania dostępnej na sitach wibracyjnych powinna być dopasowana do spodziewanej masy zrzucanej z hydrocyklonów. Najczęściej spotyka się rozwiązania z jedną, dwoma lub trzema bateriami o różnych średnicach, przy czym system klasyfikuje coraz drobniejszą frakcję. Zaleca się konserwatywne podejście do rozmiaru cząstek możliwych do odseparowania w hydrocyklonach.

Wszystkie elementy systemu oczyszczania powinny mieć przepustowość przekraczającą potencjalną wydajność pompy płuczkowej, a w niektórych miejscach ponad dwukrotnie. Wydajność systemu oczyszczania zależy od zastosowanych komponentów, konstrukcji urządzenia, lepkości płuczki oraz zawartości fazy stałej. Istnieje pewna rozbieżność interesów pomiędzy wymaganiami technologicznymi procesu wiercenia (lepkość) a sprawnością systemu oczyszczania, która spada wraz z jej wzrostem. Zawartość fazy stałej o rozmiarze powyżej 74 µm (graniczna dolna granulacja piasku według normy API) w oczyszczonym płynie nie powinna przekraczać 1% objętościowo. Systemy bazują-

ce na sitach wibracyjnych i hydrocyklonach są w stanie odseparować fazę stałą o ziarnie sięgającym 25 µm. W przypadku konieczności oddzielenia drobniejszych frakcji nieodzowne jest zastosowanie szybkoobrotowych wirówek lub pras filtracyjnych.

Wszystkie elementy systemu oczyszczania powinny mieć przepustowość przekraczającą potencjalną wydajność pompy płuczkowej, a w niektórych miejscach ponad dwukrotnie

Wirówki, podobnie zresztą jak hydrocyklony, są zaprojektowane do przyspieszania sedymentacji cząstek stałych. Prędkość obrotowa jest przekształcana na siłę odśrodkową, działającą wewnątrz wirującego bębna. Działanie urządzenia pozwala na skuteczną separację drobnych i bardzo drobnych cząstek (na pograniczu frakcji koloidalnej) w warunkach w pełni kontrolowanych. Wirówki dekantacyjne są w stanie rozdzielić od fazy rozpraszającej cząstki nawet sześciokrotnie mniejsze niż w przypadku konwencjonalnych hydrocyklonów. Dzięki tym urządzeniom można

Urządzenie (element systemu)	Założenia projektowe (opcja minimalna)	Założenia projektowe (opcja optymalna)	Kontrola fazy stałej Inne wymagania
Sita wibracyjne wstępne	przepustowość 125% maksymalnego wydatku	przepustowość 150% maksymalnego wydatku	skuteczność oczyszczania powyżej 500 µm
Sita wibracyjne (mud cleaner)	przepustowość 125% maksymalnego wydatku pompy płuczkowej	przepustowość 150% maksymalnego wydatku pompy płuczkowej	skuteczność oczyszczania powyżej 70 µm
Hydrocyklony usuwające frakcję piaskową	przepustowość 150% maksymalnego wydatku pompy płuczkowej	przepustowość 200% maksymalnego wydatku pompy płuczkowej	skuteczność oczyszczania powyżej 60 µm
Hydrocyklony usuwające frakcję pyłową	przepustowość 150% maksymalnego wydatku pompy płuczkowej	przepustowość 200% maksymalnego wydatku pompy płuczkowej	skuteczność oczyszczania powyżej 25 µm
Wirówka dekantacyjna	przepustowość 20% aktualnego wydatku pompy płuczkowej	przepustowość 30% aktualnego wydatku pompy płuczkowej	skuteczność oczyszczania powyżej 2 µm
Zbiornik przygotowania i kondycjonowania płuczki	pojemność 10x większa od aktualnego strumienia przepływu w l/min	pojemność 15x większa od aktualnego strumienia przepływu w l/min	rekomendowana pompa typu shear zasilająca lej płuczkowy ze zwężką Venturi
Zbiornik buforowy	pojemność zbiornika do przygotowania płuczki	dwukrotna pojemność zbiornika do przygotowania płuczki	rekomendowane pompy cyrkulacyjne o przepustowości większej niż maksymalny wydatek pompy płuczkowej
Pompa wysokociśnieniowa	wymagany przepływ na poziomie 2 m/min w przestrzeni pierścieniowej poszerzanego otworu	wymagany przepływ na poziomie 3 m/min w przestrzeni pierścieniowej poszerzanego otworu	wymagane ciśnienie robocze 50 bar dla wiercenia z zestawem typu jet oraz 70 bar do wiercenia z silnikiem płuczkowym
Szlamowe pompy cyrkulacyjne (transferowe)	wymagana przepustowość na poziomie 150% aktualnego wydatku pompy płuczkowej	wymagana przepustowość na poziomie 200% aktualnego wydatku pompy płuczkowej	wysokość podnoszenia pompy dostosowana do geometrii i długości instalacji rurowej

TAB. 3. Wymagania dotyczące systemu produkcji, pompowania, kondycjonowania płynu i kontroli fazy stałej

znacząco wydłużyć czas życia płuczki lub, inaczej mówiąc, lepiej skontrolować jej parametry w dłuższym okresie. Czas użytecznego wykorzystania płuczki jest bowiem często powiązany z rozkładem uziarnienia fazy rozproszonej.

Oczyszczona płuczka przetwarzana jest do zbiornika aktywnego lub do systemu buforowego, gdzie może zostać poddana procesowi kondycjonowania i regulacji parametrów przed ponownym wykorzystaniem w procesie drążenia otworu. Zasilanie układów separacji odbywa się za pomocą pomp szlamowych (zatapialnych lub samozasysających). Prawidłowe zamknięcie obiegu wymagać może użycia wielu pomp szlamowych i ułożenia rurociągów przesyłowych, których średnica powinna być skorelowana z planowanym dystansem, na którym odbywa się transport, oraz z możliwościami pomp cyrkulacyjnych.

- techniki płuczkowej fazy stałej,
- zmniejszenie ciśnienia dennego poprzez utrzymywanie racjonalnego poziomu rozproszonej fazy stałej,
- lepsza stateczność ściany otworu uzyskana dzięki długotrwałej cyrkulacji płynu o ustabilizowanych parametrach fizycznych i chemicznych,
- zmniejszenie ryzyka operacyjnego na skutek lepszej kontroli nad zachowaniem się przewodu wiertniczego i instalowanego rurociągu,
- stabilne i przewidywalne parametry płynu wiertniczego,
- niższe zapotrzebowanie na wodę technologiczną,
- niższa konsumpcja materiałów płuczkowych w porównaniu z projektami realizowanymi bez zamkniętego obiegu płuczkowego,
- niższe koszty utylizacji odpadów wiertniczych.

koszty związane z dostawą wody i materiałów płuczkowych, a także (co jest współcześnie uznane za problem o krytycznym znaczeniu) zredukować koszty utylizacji odpadów wiertniczych. W najbliższym czasie ograniczenie ilości odpadów będzie przedmiotem wielu badań zmierzających do opracowania technologii niskoemisyjnych i proekologicznych. Należy oczekiwać prac w zakresie stosowania cichych napędów elektrycznych, poszerzenia zakresu aplikacji wirówek dekantacyjnych i innych rozwiązań, zmierzających do bardziej efektywnego osuszania i zestawiania odpadów. Pieniądze zainwestowane w tych obszarach pozwolą spółkom wiertniczym osiągnąć przewagę technologiczną nad konkurencją.

W następnej części cyklu artykułów o zamkniętym obiegu płuczkowym opisana zostanie zasada działania i konfiguracji poszczególnych elementów systemu kontroli zawartości fazy stałej w płuczce wiertniczej. ◀

---

Dobrze skonfigurowane zamknięte układy cyrkulowania płynu wiertniczego wykorzystywane są w: wiertnictwie naftowym, w wierceniach geotermalnych, poszukiwawczych i eksploatacyjnych złóż węgla czy rud metali, technice tunelowania oraz wiertnictwie kierunkowym HDD

---

## Zalety wynikające z wykorzystania zamkniętego obiegu płuczkowego

Dobrze skonfigurowane zamknięte układy cyrkulowania płynu wiertniczego wykorzystywane są w: wiertnictwie naftowym, wierceniach geotermalnych, poszukiwawczych i eksploatacyjnych złóż węgla czy rud metali, technice tunelowania oraz wiertnictwie kierunkowym HDD. Celem ich stosowania jest osiągnięcie zysku zarówno w sferze technicznej, jak i ekonomicznej. W literaturze podawanych jest wiele bezpośrednich i pośrednich korzyści wynikających z ich praktycznego użycia. Są to m.in.:

- optymalizacja procesu wiercenia dzięki utrzymywaniu bezpiecznej zawartości fazy stałej w płuczce obiegowej,
- zwiększenie mechanicznej prędkości wiercenia dzięki stosowaniu znacznie większych strumieni tłoczonych do otworu płuczki,
- poprawa jakości otworu wynikająca z wyższego stopnia oczyszczenia ze zwiercin,
- usuwanie nieużytecznej z punktu widzenia

Dla uzyskania skutecznej kontroli nad zachowaniem się fazy stałej niezbędne jest wdrożenie wielu powiązanych ze sobą działań. Po pierwsze należy pozyskać efektywnie działający system separacji faz, który skutecznie poradzi sobie zarówno z frakcją grubą, jak i ultra drobną. Przepustowość systemu powinna być zgodna z zakładanym strumieniem przepływu i koncentracją fazy stałej. Warte podkreślenia jest zalecenie o wymaganych kompetencjach personelu odpowiedzialnego za obsługę urządzeń, a także wymóg posiadania części zapasowych wynikających z normalnej ich eksploatacji.

## Podsumowanie

Kontrola fazy stałej w płynie wiertniczym to jedno z głównych zagadnień, jakimi zajmuje się inżynieria wiertnicza. Systemy separacji faz pozwalają na pracę w zamkniętych układach, w których cyrkulująca płuczka jest wielokrotnie wykorzystywana w procesie wiercenia. Tego typu rozwiązania techniczne pozwalają znacząco poprawić jakość tworzonego otworu, obniżyć

## Literatura

- [1] Baker Hughes Drilling Fluids: Drilling Fluids Reference Manual – revised edition, 2006.
- [2] Drilling Fluids Processing Handbook: Elsevier Inc. London, 2005.
- [3] M-I Drilling Fluids: Solids Control, Cuttings Management and Fluids Processings.
- [4] Osikowicz R.: Krytyczne funkcje płynów wiertniczych w: Inżynieria Bezwykopowa, 1/2005.
- [5] Osikowicz R.: Rynek płynów wiertniczych w: Inżynieria Bezwykopowa 4/2013.
- [6] Osikowicz R.: Tendencje obserwowane w rozwoju HDD w Polsce i na świecie. Referat wygłoszony w trakcie XII Międzynarodowej Konferencji, Wystawy i Pokazów Technologii „INŻYNIERIA Bezwykopowa” w Krakowie, 11 czerwca 2014.
- [7] Osikowicz R.: Zarządzanie jakością otworu wiertniczego w: Inżynieria Bezwykopowa 1/2015.
- [8] Osikowicz R.: Ocena aktualnego stanu techniki HDD w Polsce. Referat wygłoszony w trakcie XIII Międzynarodowej Konferencji, Wystawy i Pokazów Technologii „INŻYNIERIA Bezwykopowa” w Krakowie, 10 czerwca 2015.
- [9] Petiet R.: Closed-loop Mud Systems in HDD Technology. Referat wygłoszony w trakcie II Seminarium Technicznego ROE w Krakowie. Grudzień, 2015.
- [10] Shale Shakers and Drilling Fluids Systems. American Association of Drilling Engineers, Texas, 2014.





Fot. Robert Osikowicz Engineering

# Zamknięty **obieg płuczkowy**

## CZĘŚĆ III: SELEKCJA KOMPONENTÓW I ICH EKSPLOATACJA



**Robert Osikowicz**

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



Systemy oczyszczania płuczki wiertniczej, zwane też systemami separacji faz, pozwalają wykonawcom prac wiertniczych na realizację projektów zgodnie z założeniami technicznymi i w ramach założonego budżetu. Zamknięcie obiegu płuczki dzięki zastosowaniu specjalistycznych urządzeń pozwala na znaczącą redukcję konsumpcji wody i materiałów płuczki, obniżenie kosztów logistycznych, drastyczne obniżenie kosztów utylizacji szlamu oraz lepszą kontrolę nad samym procesem wiercenia

## Dlaczego stosujemy systemy separacji faz?

Pytanie jest zasadne i wymaga odpowiedzi. Aby zamknąć obieg płuczki i wykorzystać wielokrotnie ten sam płyn wiertniczy, musimy pozbawić go fazy stałej pozyskanej w procesie wiercenia. Faza stała, zarówno ta gruba, jak i drobna, jest szkodliwa dla wysokociśnieniowej armatury i pomp płuczki. Powoduje ona degradację tulei, tłoków, zaworów, wycieranie wewnętrznych części przewodu wiertniczego, silników wgłębnych, narzędzi, wypłukiwanie dysz i inne niekorzystne zdarzenia w układzie płuczki. W najprostszym sposobie fazę stałą można usunąć, stosując efekt naturalnej sedimentacji w osadnikach na skutek istnienia powszechnej siły grawitacji i łatwego do zaobserwowania efektu opadania ciał. Można jednak w ten sposób pozbyć się jedynie cząstek o stosunkowo dużych rozmiarach i istotnej masie. W wiertnictwie HDD wykorzystujemy wszak płyny o określonej charakterystyce reologicznej, których struktura ma zapobiegać zbyt łatwemu wypadaniu transportowanej fazy stałej z cyrkulującej płuczki. Mniejsze zwierciny będą zatem utrzymywane w suspensji, a dla ich usunięcia niezbędne będzie zastosowanie mechanicznych lub mechaniczno-chemicznych metod rozdziału faz. Szkodliwość fazy stałej, zarówno tej grubszej, liczonej w milimetrach, jak i tej drobniejszej, wyrażonej w mikronach, jest podobna. Faza drobna może w pewnych sytuacjach być bardziej uciążliwa i kosztowna dla procesu wiercenia.

Do głównych powodów technologicznych, z uwagi na które fazę stałą uznajemy za niepożądaną, należą: obniżenie postępu wiercenia, podwyższenie ciśnienia hydrostatycznego w otworze, podwyższenie oporów przepływu cieczy obciążonej. Faza stała zaburza przy tym parametry płynu wiertniczego. Stopień in-

rencji fazy stałej w profil lepkościowy zależy od stopnia jej aktywności i stopnia rozdrobnienia. Faza piaskowa może być uznana za względnie neutralną, z kolei faza drobna i ultradrobną za aktywną lub bardzo aktywną. Systemy separacji stosujemy także z przyczyn ekonomicznych. Koszty produkcji i koszty utylizacji płuczki są znaczące, a więc należy zadbać o to, aby życie płuczki było stosunkowo długie. Koszty płuczki to nie tylko koszt pozyskania komponentów takich jak bentonit, ale także koszty pozyskania znaczących ilości wody. W przypadku wielu projektów może to być trudniejszy do rozwiązania problem niż zakup komercyjnych materiałów płuczki.

Sprzęt służący do mechanicznej separacji faz był traktowany jeszcze kilkanaście lat temu jako opcjonalne wyposażenie urządzenia wiertniczego HDD. Znane są przypadki całkiem sporych projektów, które zostały zrealizowane bez użycia zamkniętego obiegu płuczki, a więc tym samym bez systemów oczyszczania płuczki. Jednak coraz większa świadomość techniczna, regulacje dotyczące ochrony środowiska i zasobów wód, wzrastające koszty utylizacji odpadów wiertniczych spowodowały zainteresowanie tym sektorem rynku, nie tylko ze strony dużych spółek wiertniczych, wykorzystujących pełnowymiarowe wiertnice, ale także ze strony kontraktorów specjalizujących się w projektach o mniejszej skali.

Jak już wspomniano, stosowanie systemów separacji w układach płuczki to nie tylko oszczędność czasu i pieniędzy, ale także możliwość uzyskania lepszej jakości otworu wiertniczego dzięki optymalizacji procesu i dążeniu do bezpiecznej koncentracji fazy stałej w przestrzeni pierścieniowej otworu. Wyższa jakość otworu to z kolei niższe ryzyko operacyjne projektu i mniejsza ilość przypadków z zarejestrowanymi komplikacjami i stanami awaryjnymi.

TEMATYKA ARTYKUŁU:

**Optymalizacja**  
postępu wiercenia

**Maksymalizacja**  
zdolności do separacji  
fazy stałej

**Redukcja**  
objętości utylizowanej  
płuczki

**Obniżenie**  
czasu operacyjnego  
i kosztów procesu

## Fundamentalne zasady działania systemu separacji

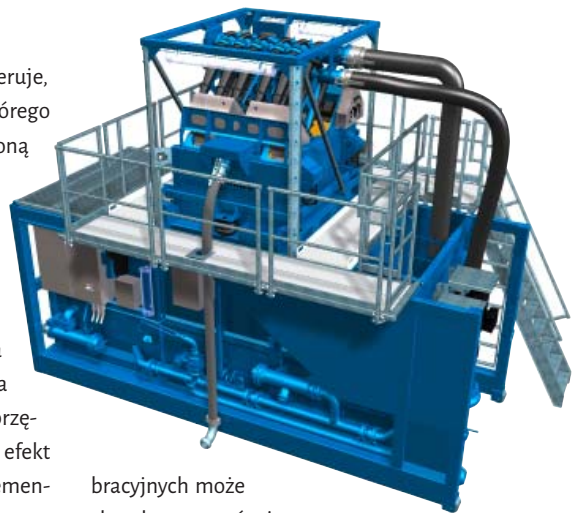
Kontrola fazy stałej jest jednym podstawowych obszarów działania inżynierii płuczkowej. Pojęcie to jest ściśle związane z monitoringiem, zarządzaniem ilościami zwiercin i ich zachowaniem w płuczce. Rozmiar cząstek stałych i ich natura wpływają w mniejszym lub większym stopniu na właściwości płuczki, przy czym ten wpływ jest tym bardziej wyraźny, im rozmiar fazy stałej jest mniejszy. Znanych jest kilka metod kontroli zachowania fazy stałej. Pierwsza z nich może być uznana za metodę prewencyjną, gdyż jej celem jest zapobieganie rozdrabnianiu się i rozpraszaniu zwiercin w cyrkulującym płynie. Efekt ten uzyskuje się m.in. dzięki inhibicji jonowej lub działaniu kapsułującego polimeru. Dwie kolejne metody odnoszą się już do trwałego oddzielenia fazy stałej od cyrkulującego płynu. Podstawowa metoda polega na mechanicznym rozdzieleniu faz za pomocą jednego z dostępnych mechanizmów: sedymentacja (osiadanie), przesiewanie, działanie sił odśrodkowych. Metodą uzupełniającą jest działanie chemiczne w kierunku strącania zwiercin z zawiesin, wykorzystujące zjawisko flokulacji. Metody mechaniczne i chemiczne często stosowane są jednocześnie.

Płyn wiertniczy wypływający z otworu jest traktowany jako szlam, czyli mieszanina kondycjonowanego płynu wiertniczego, fazy stałej przenikającej do płuczki w wyniku drążenia otworu oraz ewentualnie wody wypełniającej pory formacji czy też infiltrującej do otworu. Szlam wiertniczy, zanim zostanie dostarczony do urządzeń separujących, przepływa zwykle przez układ zbiorników ziemnych (pełniących przy okazji funkcję osadników) i rurociągów. Maszynami roboczymi wymuszającymi obieg są pompy. Pierwszą linią obrony stosowaną w systemie separacji jest wstępne sito wibracyjne (lub kilka sit), mające za zadanie usunięcie z płuczki zwiercin o dużych rozmiarach (gruba frakcja), które mogłyby osiąść na dnie zbiornika lub też zablokować występujące w obiegu hydrocyklony.



Sito wibracyjne, jak sama nazwa sugeruje, jest urządzeniem przesiewającym, którego jeden z elementów wibruje z określoną częstotliwością i amplitudą. Separacja nie jest warunkowana różnicą gęstości pomiędzy ośrodkiem rozpraszającym (płynem) a ośrodkiem rozproszonym (fazą stałą). Odrzucona przez sito będzie faza stała o granulacji większej niż oczka w siatce (panelu) zamontowanym na drgającym sicie. Drgające sito jest odsprężone od swojej podstawy, dzięki czemu efekt wibracji nie jest przenoszony na inne elementy układu.

Płuczka częściowo oczyszczona na sicie wstępnym przenika do komory zbiornika, skąd pompa wirowa zatłacza ją do pierwszej baterii hydrocyklonów. Hydrocyklony te zwane są zazwyczaj odpiaszczaczami, gdyż ich zakres separacji obejmuje piasek różnoziarnisty oraz drobny żwir. Hydrocyklony wykorzystują siłę odśrodkową do wywołania efektu rozdzielenia fazy stałej od płynnej. Przez dolny wypływ hydrocyklonu usuwana jest zwilżona faza stała. Kierowana jest na kolejne sito wibracyjne w celu usunięcia nadmiaru płynu. Przez górny odpływ wydostaje się płyn pozbawiony tej części fazy stałej, którą był w stanie oddzielić hydrocyklon. Płuczka przedostaje się do dolnego zbiornika, skąd następną w układzie pompa wirowa zatłacza ją do drugiej baterii hydrocyklonów (odmulaczy). Są to znacznie mniejsze lejki obsługujące drobny piasek i fazę pylistą. Zasada działania jest podobna do hydrocyklonów o większych średnicach. I w tym przypadku dolny wypływ z hydrocyklonu kierowany jest na sito wibracyjne, z tą jednak różnicą, że siatki (panele) zamontowane na sicie charakteryzują się mniejszymi oczkami. Ilość zastosowanych baterii hydrocyklonów waha się od 1 do 3 i jest uzależniona od stopnia złożoności i wydajności systemu. Generalną zasadą przyjętą przy konstruowaniu urządzeń jest ich sekwencyjność. Oznacza to, że z płynu wiertniczego usuwana jest coraz drobniejsza frakcja. W zbiornikach ziemnych i odstojniskach jest to frakcja kamienista, żwirowa, na sitach wstępnych odsiewamy drobniejszy żwir, zwierciny skalne, agregaty ilowe. Zestawy hydrocyklon-sito wibracyjne (mud cleaner) są odpowiedzialne za klasyfikację coraz drobniejszej fazy stałej piaskowej i pyłowej. Urobek spadający z kolejnych sit wi-



bracyjnych może charakteryzować się coraz to większą wilgotnością. Jako zasadę można przyjąć, że im drobniejsza frakcja, tym więcej energii i czasu należy użyć do jej trwałego usunięcia (oddzielenia od płynu). Przepustowości poszczególnych baterii hydrocyklonów powinny być znacząco większe niż zadeklarowana wydajność całego systemu konwencjonalnej separacji. Rozmiar stosowanych oczek w siatkach (panelach) powinien być dostosowany do spodziewanej frakcji pochodzącej z wierconego otworu i skorelowany z rozmiarem fazy stałej separowanej w hydrocyklonach. Należy dążyć do równomiernego obciążenia urobkiem wszystkich sit wibracyjnych, uzyskując przy tym należytą przepustowość sita wstępnego.

W przypadku, kiedy zachodzi konieczność usunięcia z obiegu płuczkowego drobnego pyłu i frakcji koloidalnej, można posłużyć się szybkoobrotowymi wirówkami dekantacyjnymi lub prasami filtracyjnymi. Ich skuteczność działania może zostać wzmocniona przez chemiczny proces strącania fazy stałej (koagulacja, flokulacja).

Podstawowym celem działania systemu separacji jest usunięcie w pierwszym obiegu jak największej ilości fazy stałej. Ma ona silną tendencję do rozdrabniania w trakcie cyrkulowania przez zmienne geometrie. Do rozdrabniania dochodzi głównie na skutek działania wirników pomp. W stosunkowo krótkim czasie zwierciny rozpadają się na cząstki o rozmiarze od kilku do kilkudziesięciu mikronów i mogą pozostawać trwale rozproszone w płuczce, o ile nie zastosujemy specjalnych metod separacji.

Zwierciny o rozmiarze powyżej 74 mikronów (piasek) można oznaczyć za pomocą prostej metody przesiewania przez sitko o gęstości oczek 200 mesh (jednostka ta oznacza ilość kwadratowych oczek na cal bieżący). Jednak

dla ustalenia zawartości frakcji drobniejszej (pyłowej i ilowej) potrzebne są metody kalkulacyjne, bazujące na pomiarze ciężaru właściwego płynu, pozbawionego całkowicie cząstek większych niż 74 mikrony. Dla każdego typu płuczki wiertniczej można ustalić graniczną koncentrację fazy stałej, po osiągnięciu której płuczka powinna zostać częściowo odświeżona poprzez rozcieńczenie płynem o niskiej zawartości fazy stałej.

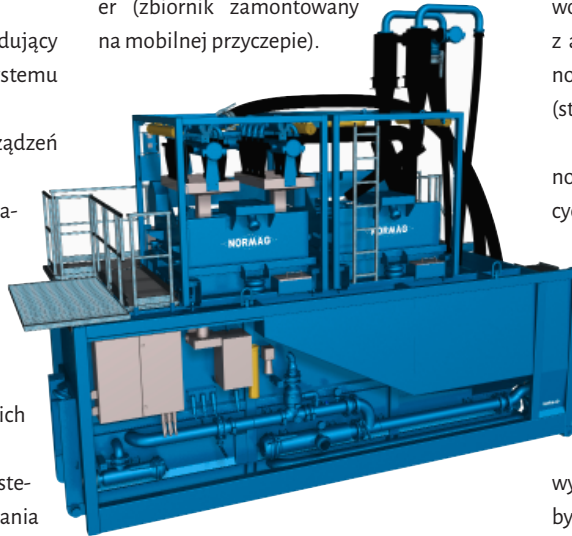
## Kryteria techniczne wyboru systemu

Wśród czynników, które mają decydujący wpływ na wybór rodzaju i wielkości systemu separacji, znajdują się:

- ilość i wielkość posiadanych urządzeń wiertniczych;
- parametry techniczne wykorzystywanych pomp płuczkowych;
- przeciętna długość wierzonego otworu;
- przeciętna pojemność wierzonego otworu;
- typowe warunki geologiczne, w jakich prowadzone są prace wiertnicze;
- dotychczasowe doświadczenie z systemami oczyszczania i kondycjonowania płuczki.

Zgromadzenie odpowiedzi na tak postawione pytania pozwoli na wybór rozmiaru systemu i jego podstawowych składników. Ważna jest przy tym zarówno ich ilość, jak i jakość. Łącznie składa się to na tzw. potencjalną przepustowość (wydajność) układu separacji. Jest ona definiowana jako złożenie dwóch parametrów: przepływu określonego strumienia płynu i potencjalnej zdolności separacji fazy stałej wyrażonej w tonach lub metrach sześciennych na godzinę. Systemy separacji można więc łatwo podzielić na: małe, średnie, duże i bardzo duże, nadając im określone limity przepustowości. Można wyróżnić systemy kompaktowe i pełnowymiarowe. Czynnikiem wyróżniającym jest jakość komponentów. Będziemy więc mogli mówić o konstrukcjach kompromisowych (bazujących na ekonomicznych składnikach) i bezkompromisowych układach typu state-of-the-art, w których ich konstruktorzy zastosowali jednocześnie sprawdzone komponenty, ale też dostępne nowinki techniczne. Każdy z producentów stara się przedstawić swoją kon-

strukcję referencyjną bazującą na starannie wyselekcjonowanych elementach. Niezależnie o tego, czy będziemy mieli do czynienia z systemem skromnym czy też bardzo rozbudowanym, układy separacji będą składały się z co najmniej dwóch składników: zbiornika z zamontowanymi w nim przegrodami, pompami i armaturą oraz elementów separujących, w których zachodzi proces rozdziału faz. Rozróżniamy też dwa typy zabudowy: skid (zbiornik montowany na ramie – wymagany załadunek dźwigiem na samochód) oraz trailer (zbiornik zamontowany na mobilnej przyczepie).



## Wybór rozmiaru systemu

Jak wynika z doświadczeń firm wiertniczych i serwisowych firm płuczkowych, projektowana wydajność systemu separacji powinna przekraczać spodziewany stosowany strumień przepływu. Nie ma jednak w tym zakresie ścisłych rekomendacji. Ocenia się, że wydajność systemu separacji przekraczająca o 50% wydatek pompy płuczkowej pozwala na utrzymanie fazy stałej w cyrkulującym płynie na bezpiecznym poziomie. Przekłada się to na trwałość armatury wysokociśnieniowej oraz eliminowanie czasu straconego na oczekiwanie na zakończenie procesu separacji i kondycjonowania płynu. System separacji powinien działać w sposób ciągły, także w czasie, kiedy nie pracuje pompa wysokociśnieniowa i płuczka nie jest pobierana z układu. Połączone ze sobą kaskadowo komory robocze umożliwiają wielokrotne cyrkulowanie płuczki przez kolejne sekcje układu oczyszczania, aż do uzyskania wymaganego stopnia oczyszczenia.

Dobór urządzenia separującego do danej klasy wiertnicy wymaga zrozumienia zasady działania systemu. Nie jest rzeczą niewłaści-

wą połączyć rozbudowany system separacji z kompaktowym urządzeniem wiertniczym, choć niektórzy mogą dopatrzeć się w tej konfiguracji „mezaliansu”. System separacji nie ogranicza w tym wypadku wiertnicy, ale pomaga osiągnąć optymalną wydajność. Zupełnym jednak nieporozumieniem byłoby połączenie kompaktowego systemu oczyszczania o ograniczonej wydajności z pełnowymiarową wiertnicą klasy maxi. Obieg płuczki byłby w takim wypadku wąskim gardłem procesu wiercenia. W większości praktycznie obserwowanych przypadków mamy do czynienia z aplikowaniem urządzeń separacji o wydajnościach zbliżonych do zaprojektowanych (stosowanych w praktyce) przepływów.

Generalną rekomendacją jest, aby pojemność zbiorników aktywnych, uwzględniających zarówno zbiorniki robocze (kondycjonowanie), buforowe, rezerwowe (zbiorniki ziemne), jak i zbiorniki związane z układami separacji była tym większa, im większy jest strumień zatłaczanej do otworu płuczki i tym większa, im większa jest planowana docelowa pojemność otworu. Od tej zasady nie ma właściwie wyjątków. Dodatkową rekomendacją może być zwrócenie szczególnej uwagi na projekty polegające na drążeniu otworów w aktywnych formacjach ilastych. Ten typ urobku jest trudny do rozdzielania i stawia znacznie wyższe wymagania wobec zastosowanej konfiguracji sprzętu.

Technologia stosowana w wierceniach HDD zakłada, że lepkość płuczki musi być wystarczająca dla transportu w długim otworze kierunkowym, w którym odległość pomiędzy stropem otworu i jego dnem jest nieznaczna. Ponadto prace prowadzone są często w niestabilnych, przepuszczalnych i słabo skonsolidowanych formacjach. Implikuje to specyficzne zachowanie się takich płuczek w układach separujących. Niezależnie od typu zastosowanego urządzenia płuczki tego typu stanowią większe wyzwanie dla sit wibracyjnych (małe przyspieszenia), hydrocyklonów (średnie przyspieszenia), jak i wirówek dekantacyjnych (wysokie przyspieszenia) niż płuczki stosowane w wiertnictwie pionowym.

Słuszna zatem wydaje się idea przewymiarowania systemu separacji w stosunku do stosowanych wydatków pomp płuczkowych. Daje to szansę na wydłużenie czasu separacji, a tym samym zwiększenie jej dokładności. Przykła-



dowo: dla projektowanego wydatku przepływu 1000 l/min wydajność systemu separacji określona przez producenta nie powinna być mniejsza niż 1500 l/min. Mniejsze (kompaktowe) systemy separacji posiadają zwykle dwie komory w zbiorniku: „z brudną płuczką” zlokalizowaną pod sitem wstępnego oczyszczania i „z czystą płuczką”, zlokalizowaną pod mud cleanerem wyposażonym w jedną uniwersalną baterię hydrocyklonów. Jest to kompromisowe rozwiązanie, gdyż lejki pracują najpierw w trybie odpiaszczania, a dopiero po usunięciu frakcji grubszej zaczynają oddzielać pył. Wiąże się to ze stosunkowo szybkim zużyciem hydrocyklonów o małej średnicy. Większe, a zarazem bardziej rozbudowane układy, stosują co najmniej trzy stopnie separacji, rozdzielając funkcje separacji wstępnej, odpiaszczania i odmulania.

Jeśli firma nie korzystała dotąd z systemów separacji (lub ma w tym zakresie ograniczone doświadczenie), rekomendowane jest wypróbowanie systemu przed jego zakupem. Należy go wynająć, aby przekonać się, czy ma właściwy rozmiar oraz czy oferuje wszystkie wymagane funkcjonalności. Niezbędne jest też sprawdzenie, jakie warunki dostawy i gwarancji proponuje producent. Dla właściwego rozpoznania rynku pomocne mogą się też okazać kontakty z innymi użytkownikami podobnych systemów.

## Komponenty

### Pompa zasilająca

Elementem systemu separacji jest niewątpliwie szlamowa pompa zasilająca. Jest to kluczowy element wpływający na przepustowość całego układu. Stosuje się do tego celu pompy zanurzalne, półzanurzalne oraz samozasysające pompy umieszczone powyżej lustra płynu. Nominalna wydajność zasilającej pompy szlamowej powinna być wyższa niż nominalna przepustowość systemu separacji. Należy bowiem pamiętać, że do zbiornika, z którym współpracuje pompa szlamowa, trafia płuczka o zmiennej zawartości i o różnym charakterze fazy stałej. Różna też jest granulacja zwierzcin. Aby zapobiec przedostawaniu się do wirnika pompy zbyt dużych zwierzcin, należy wyposażyć ją w kosz odsiewający nie tylko kamienie, ale też duże agregaty ilaste czy torfowe.

### Sita wibracyjne

Sita to urządzenia przesiewające, które dzięki ruchom wibracyjnym siatek oddzielają

zwierzcin o zadanych rozmiarach. Ze względu na przekrój płaszczyzny, w jakiej odbywa się ruch drgającej ramy sita, możemy wydzielić urządzenia o ruchu: kołowym, eliptycznym, liniowym (linearnym). Większość współczesnych systemów separacji wykorzystuje obecnie sita wibracyjne pracujące w trybie linearnym lub eliptycznym. Tryb linearny jest szczególnie użyteczny, kiedy chcemy szybko usunąć z sit ciężki urobek, stosując wysokie przyspieszenia. Dla uzyskania urobku o małej wilgotności wymagana jest przy tym znacząca długość sita. Tryb eliptyczny jest bardziej użyteczny przy separacji

aktywnego chemicznie urobku ilastego. Istnieje grupa sit, które mogą pracować zarówno w jednym, jak i drugim trybie, a jego wyboru należy dokonać przed uruchomieniem sita.

Dobór wielkości oczek w siatkach lub panelach zakładanych na sito powinien być skorelowany ze spodziewaną frakcją fazy stałej dostarczanej do systemu separacji. Ważną zasadą jest stosowanie siatek (paneli) o coraz mniejszych oczkach na kolejnych sitach wibracyjnych wchodzących w skład układu separacji. Wielkość i kształt oczek (prostokątny lub kwadratowy), grubość drutu, przepuszczalność i skorelowana z nimi minimalna średnica separowanego ziarna, są skatalogowane w normie API RP 13C. Panel (siatka) opisany jest numerem API, definiującym zakres średnic ziarna, które przenika przez siatkę. Powiązany z tym jest parametr  $d_{100}$  określający największą średnicę ziarna (w mikronach), które w teście przesiewu na sucho przechodzi przez siatkę (lub najdrobniejsze ziarno jest odsiewane w 100% przez siatkę). Laboratoryjne metody zapisane w normie API RP 13C są dokładne i powtarzalne. Zaleca się stosowanie nowej nomenklatury API przy składaniu zamówień. Produkty różnych firm oznaczone tym samym numerem API powinny mieścić się w podanym przez normę zakresie separowanych zwierzcin.

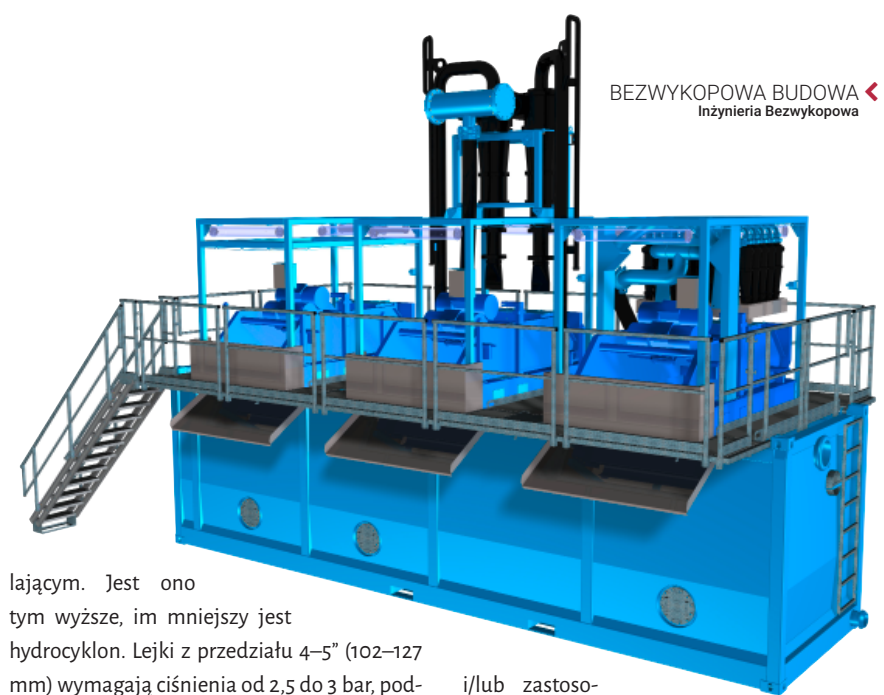
Cechą konstrukcyjną sita jest jego powierzchnia przesiewania. Im większa, tym teoretycznie większą objętość możemy oczyścić i tym więcej fazy stałej odseparować. Nomenklatura API ( $d_{100}$ ) pozwala ocenić, jaki rozmiar zwierzcin skutecznie odseparujemy lub, mówiąc inaczej, jakiego nie usuniemy z układu. W przypadku łączenia i sklejania się ze sobą zwierzcin można odseparować także mniejszy rozmiar niż wynika z opisu siatki. Zwierzcin na sicie wibracyjnym przemieszczają się w warstwie o pewnej grubości. Również z tego faktu wynika możliwość separacji drobniejszych cząstek, jeśli skojarzone są one z górą warstwy. Ze względu na profil powierzchni przesiewania wyróżniamy płaskie konstrukcje panelowe oraz trójwymiarowe konstrukcje piramidalne. Zarówno w jednym, jak i drugim przypadku mamy do czynienia z dwoma lub trzema warstwami drucianych siatek, przy czym wierzchnia warstwa ma najdrobniejsze oczka i to ona determinuje specyfikację siatki (panelu). Stosowany w praktyce przemysłowej współczynnik sprawności sita oznacza przepustowość i jest efektem przewodności czynnej powierzchni sita.

Numer ekwiwalentny API	Zakres średnic dla parametru $d_{100}$ wyrażony w $\mu\text{m}$
API 6	3075–3675
API 7	2580–3075
API 8	2180–2580
API 10	1850–2180
API 12	1550–1850
API 14	1290–1550
API 16	1090–1290
API 18	925–1290
API 20	780–925
API 25	655–780
API 30	550–655
API 35	462–550
API 40	390–462
API 45	327–390
API 50	275–327
API 60	231–275
API 70	196–231
API 80	165–196
API 100	137–165
API 120	116–137
API 140	98–116
API 170	82–98
API 200	69–82
API 230	58–69
API 270	49–58
API 325	41–49
API 400	35–41
API 450	28–35
API 500	22–28
API 635	18–22

**TAB. 1. Gwarantowana zdolność do całkowitej separacji cząstek o określonym rozmiarze ( $d_{100}$ ) skorelowana z ekwiwalentnym numerem API (wg spec. API RP 13C). Specyfikacja ważna dla siatek i paneli do sit wibracyjnych atestowanych wg procedur podanych w normie**

## Hydrocyklony

Hydrocyklony są urządzeniami służącymi do klasyfikacji (rozdzielania) fazy stałej z zawieszin, szlamów pod wpływem działania siły odśrodkowej. Działanie separujące urządzenia zachodzi przy tym w stosunkowo szerokim zakresie średnic cząstek stałych. Płyn wiertniczy z fazą stałą nadawany jest pod ciśnieniem do hydrocyklonu w sposób styczny do jego części cylindrycznej. Na skutek konstrukcji urządzenia i sposobu jego zasilania płyn nabiera ruchu wirowego i porusza się po tym torze wewnątrz urządzenia. Na zawieszono w płynie cząstki stałe (ziarna) oddziałuje siła odśrodkowa. Jest ona tym większa, im wyższe jest ciśnienie w układzie i im mniejsza jest średnica samego hydrocyklonu. Ziarna o rozmiarze skorelowanym z wielkością hydrocyklonu wynoszone są na zewnątrz spiralnej strugi i przesuwane w dół części stożkowej urządzenia. Zostają wraz z niewielką ilością płynu usunięte z hydrocyklonu przez jego dolną dyszę. Faza stała o mniejszym rozmiarze niż zdolność klasyfikacyjna hydrocyklonu odprowadzona jest ze zdecydowaną większością płynu górnym otworem wylotowym. Zastosowane w mud cleanerach hydrocyklony charakteryzowane są rozmiarem wyrażonym w calach: 4, 5, 6, 8, 10, 12 lub 15. Każdy rozmiar lejka (hydrocyklonu) skorelowany jest z potencjalnie najdrobniejszym ziarnem, jakie można w hydrocyklonie odseparować przy zadanym strumieniu przepływu. Średnica krytyczna ziarna (cut point) wyrażona w mikronach określana jest do warunków separacji fazy stałej z wody (lub cieczy o bardzo niskiej lepkości). Praktyka połowa wskazuje na pogorszenie się warunków dla separacji drobnej frakcji wraz ze wzrostem lepkości odwirowywanego szlamu. Cut point (graniczna średnica ziarna odseparowanego) dla lejków dużych (odpuszczacze) oscyluje pomiędzy 60 a 100 mikronami. Cut point dla lejków o mniejszych średnicach (odmulacze) pozostaje w zakresie 15–40 mikronów. Każdy z zastosowanych hydrocyklonów ma ściśle określone parametry pracy, które należy respektować. I tak, najmniejszy hydrocyklon 4" (102 mm) wymaga permanentnego przepływu na poziomie 200–280 l/min, hydrocyklon 10" (254 mm) powiązany jest z przepływem 1700–1900 l/min, a hydrocyklon 15" (381 mm) wymaga zasilania przekraczającego 2500 l/min. Poza przepływem należy zapewnić odpowiednie ciśnienie w rurociągu (manifoldzie) zasilającym. Jest ono tym wyższe, im mniejszy jest hydrocyklon. Lejki z przedziału 4–5" (102–127 mm) wymagają ciśnienia od 2,5 do 3 bar, podczas gdy lejki odpuszczające zadowolają się ciśnieniem od 1,5 do 2,5 bar. Przepływ i ciśnienie zapewniane są przez odpowiednio dobraną pompę zasilającą. Każda bateria powinna mieć swoją oddzielną pompę. Zarówno zbyt wysokie, jak i zbyt niskie ciśnienie pracy jest niekorzystne. Prowadzi bowiem albo do nadmiernego zużycia elementów wewnętrznych urządzeń separujących, albo do spadku ich wydajności (sprawności) działania.



lającym. Jest ono tym wyższe, im mniejszy jest hydrocyklon. Lejki z przedziału 4–5" (102–127 mm) wymagają ciśnienia od 2,5 do 3 bar, podczas gdy lejki odpuszczające zadowolają się ciśnieniem od 1,5 do 2,5 bar. Przepływ i ciśnienie zapewniane są przez odpowiednio dobraną pompę zasilającą. Każda bateria powinna mieć swoją oddzielną pompę. Zarówno zbyt wysokie, jak i zbyt niskie ciśnienie pracy jest niekorzystne. Prowadzi bowiem albo do nadmiernego zużycia elementów wewnętrznych urządzeń separujących, albo do spadku ich wydajności (sprawności) działania.

## Wirówki dekantacyjne

W przypadku projektów realizowanych w aktywnych formacjach ilastych coraz powszechniejsze zastosowanie znajdują szybkoobrotowe wirówki dekantacyjne, wykorzystujące wspomaganie chemiczne. Ten typ separacji pozwala efektywnie zrzucić cząstki o rozmiarze koloidalnym i skontrolować fazę stałą na optymalnym poziomie. Zastosowanie wirówki dekantacyjnej jest aktualnie najbardziej skuteczną metodą walki z drobną fazą pylastą i w pełni zdyspergowanym item otworowym. Po wpięciu do układu wirówki o przepustowości sięgającej 30–40% spodziewanego wydatku pompy płuczkowej jesteśmy w stanie utrzymać w ryzach zarówno parametry płynu wiertniczego, jak i uzyskać niższe ciśnienie denne, poprawić postęp wiercenia oraz wpłynąć na większą żywotność pomp wysokociśnieniowych, armatury na wierni i wyposażenia wgłębnego. Zdarzają się sekcje otworu wiercone w warunkach, gdzie nie znajdujemy frakcji piaszczystej, a znacząca część pyłu ma rozmiar poniżej 20 mikronów. Standardowe metody separacji zawodzą, a spółce wiertniczej pozostają intensywne zabiegi zmierzające w kierunku inhibicacji płuczki, rozcieńczania i zrzucanie nadmiaru płynu wiertniczego

i/lub zastosowanie bardziej wyrafinowanych metod mechaniczno-chemicznego strącania fazy drobnej i koloidalnej.

Wirówka dekantacyjna jest szybkoobrotowym urządzeniem generującym bardzo wysokie przyspieszenie wobec separowanej fazy stałej. Zakres praktycznych prędkości obrotów bębna wynosi 1400–3600 obr./min. Przy tak wysokich prędkościach obrotowych wartość przyspieszenia wobec fazy stałej przekracza 3000 G, co daje możliwość odseparowania cząstek o rozmiarach około 5 µm bez stosowania stacji flokulacyjnej. Po zintegrowaniu ze stacją można osiągnąć wskaźnik całkowitego odseparowania frakcji koloidalnej poniżej 2 µm. Szybkoobrotowa wirówka dekantacyjna jest ostatnim elementem systemu separacji. Urządzenie powinno być poprzedzone kombinacją sit wibracyjnych i hydrocyklonów. Szlam wiertniczy jest włączany do obracającego się wnętrza bębna, w którym na skutek ekstremalnie wysokich przyspieszeń dochodzi do rozdziału drobnej frakcji pylastej i ilowej od strugi płynu. Wewnątrz ślimak, poruszający się w tym samym kierunku co bęben, ale z nieznacznie mniejszą prędkością obrotową, wypiera oddzielną od płynu fazę stałą w kierunku otworów zrzutowych. Po przeciwnej stronie bębna znajdują się regulowane porty, przez które wypływa płyn pozbawiony drobnej fazy stałej. Efektywność działania centryfugi może być kontrolowana przez kilka możliwych czynności korygująco-regulujących: zmiana przepływu przez wirówkę (regulacja pompy zasilającej), zmiana prędkości obrotowej bębna, zmiana prędkości różnicowej pomiędzy bębniem a ślimakiem oraz obróbka chemiczna płynu na wejściu do wirówki (flokulacja lub rozcieńczanie). Prędkość obrotowa bębna

Element systemu separacji	Przepustowość elementu (100% oznacza przepustowość systemu)	Podstawowy parametr techniczny	Uzupełniający parametr techniczny	Uwagi konstrukcyjne	Wymagany poziom kompetencji obsługi
Szlamowa pompa zasilająca system (pit slurry pump)	100–200%	przepływ, l/min; tolerancja na fazę stałą (mm); moc (kW)	wysokość podnoszenia (m); tolerancja na lepkość (mPas)	wymagana niezawodna konstrukcja heavy duty	umiarkowany
Zbiornik wielokomorowy	-	pojemność całkowita (m <sup>3</sup> ); pojemność poszczególnych komór (m <sup>3</sup> )	geometrie rurociągów i armatury; komunikacja pomiędzy komorami	1. zapewniona właściwa kolejność (sekwencja) działania i możliwość komunikacji pomiędzy poszczególnymi segmentami 2. zdolność do sprostania założonym parametrom płuczki 3. jakość i ilość komponentów dostosowana do wymagań klienta; każda bateria hydrocyklonów zasilana oddzielną pompą 4. rekomendowane rozwiązanie Dual Motion na sitach wibracyjnych 5. zapewniona przepustowość wszystkich komponentów na założonym poziomie; wyznaczenie rezerwy na wypadek negatywnych scenariuszy 6. zapewniona skuteczność (dokładność) separacji na wymaganym poziomie 7. dostęp do wody na każdym z modułów systemu separacji 8. intuicyjna i ergonomiczna obsługa 9. możliwość regulacji i dostosowania parametrów pracy do zmiennych wymagań (elastyczność działania) 10. możliwość wykonania czynności obsługowych i serwisowych 11. wysoki poziom bezpieczeństwa dla obsługującego personelu; zamontowane podesty robocze, poręcze i oświetlenie 12. łatwe opróżnianie i czyszczenie układu 13. szybki i bezpieczny montaż i demontaż 14. ekonomiczny transport	umiarkowany
Sito wstępne (scalping shaker)	100–150%	powierzchnia przesiewania, [m <sup>2</sup> ]; przyspieszenie urobku (x G); tryb pracy (linearny lub eliptyczny)	wymiary liniowe (m); masa sita (kg); moc wibratorów (kW); ilość poziomów separacji (1 lub 2); możliwość zmiany kąta pochylenia (stopnie); sposób mocowania paneli (siatek)		wysoki
Pompa wirowa zasilająca hydrocyklony odpiaszczające (centrifugal pump)	150–200%	wydajność (l/min); moc silnika (kW)	tolerancja na fazę stałą (mm); wysokość podnoszenia (m); średnica wejście/wyjście (cale)		
Bateria hydrocyklonów odpiaszczających (desander)	150–200%	średnica (cale); przepustowość (l/min); ciśnienie robocze (bar); zdolność separacji (µm); wydajność zrzucanej masy (t/godz.)	typ hydrocyklonu: konwencjonalny (otwarty) lub VAC (zamknięty)		
Sito wibracyjne osuszające wypływ z odpiaszczacza (odwadniającego) (desander dewatering shaker)	Tylko tryb odwadniania (nie przepływu)	powierzchnia przesiewania (m <sup>2</sup> ); przyspieszenie urobku (x G); tryb pracy (linearny lub eliptyczny);	wymiary liniowe (m); masa sita (kg); moc wibratorów (kW); możliwość zmiany kąta pochylenia (stopnie); sposób mocowania paneli (siatek)		
Pompa wirowa zasilająca hydrocyklony odmulające (centrifugal pump)	150–200%	wydajność (l/min); moc silnika (kW)	tolerancja na fazę stałą (mm); wysokość podnoszenia (m); średnica wejście/wyjście (cale)		
Bateria hydrocyklonów odmulających (desilter)	150–200%	średnica (cale); przepustowość (l/min); ciśnienie robocze (bar); zdolność separacji (µm)	typ konstrukcji (otwarta, zamknięta)		
Sito wibracyjne osuszające wypływ z odpiaszczacza (odwadniającego) (desiler dewatering shaker)	tylko tryb odwadniania (nie przepływu)	powierzchnia przesiewania (m <sup>2</sup> ); przyspieszenie urobku (x G); tryb pracy (linearny lub eliptyczny)	wymiary liniowe (m); masa sita (kg); moc wibratorów (kW); możliwość zmiany kąta pochylenia (stopnie); sposób mocowania paneli (siatek)		
Pompa transferowa wytłaczająca	100–120%	wydajność (l/min); moc silnika (kW)	wysokość podnoszenia (m); średnica wejście/wyjście (cale)		
Wirówka dekantacyjna	25–50%	przepustowość nominalna (l/min); zakres obrotów bębna (obr./min); zdolność separacji (t/godz.)	tolerancja na fazę stałą (mm); moment obrotowy (Nm); moc silnika (kW); możliwość regulacji obrotów bębna		
Stacja flokulacyjna	-	pojemność zbiorników (m <sup>3</sup> )	tempo dozowania roztworu flokulantu (l/min); tempo przygotowania roztworu flokulantu (l/min)	1. możliwość regulacji płuczki zataczanej w szerokim zakresie 2. możliwość regulacji prędkości obrotowej bębna i prędkości różnicowej 3. możliwość pracy stacji z sypkimi flokulantami	bardzo wysoki

TAB. 2. Cechy charakterystyczne poszczególnych komponentów systemu separacji faz



przekłada się na poziom przyspieszenia fazy stałej wewnątrz urządzenia oraz czas separacji (strącania fazy stałej). Zawartość wody w fazie stałej odrzuconej przez wirówkę może być regulowana m.in. przez prędkość różnicową. Wydajność pracy urządzenia limitowana jest przez dostępny moment obrotowy układu bęben–ślimak. Wirówka dekantacyjna wykorzystywana bez stacji flokulacyjnej nie będzie odrzucała cząstek zdyspergowanego bentonitu, gdyż ich rozmiary są wyraźnie mniejsze niż graniczne 5  $\mu\text{m}$ .

### Stacje flokulacyjne

Wirówki mogą, a nawet powinny współpracować ze stacjami flokulacyjnymi. Są to automatyczne lub półautomatyczne urządzenia służące do przygotowania roztworu flokulantu o określonym stężeniu i dozowaniu go do płuczki wiertniczej nadawanej do wirówki. Typ flokulantu, jego stężenie i proporcja, w jakiej miesza się go z płuczką obiegową, jest uzależniony zarówno od składu chemicznego samej płuczki, jak i typu fazy stałej pojawiającej się w wyniku procesu wiercenia. Dobór flokulantu i technologia jego wykorzystania powinny być powierzone specjalistycznemu serwisowi płuczki. Flokulacja jest procesem, w wyniku którego możemy uzyskać po odwirowaniu fazy stałej stosunkowo przejrzysty płyn o niskiej zawartości fazy stałej (lub bez fazy stałej), który może być użyty w dalszym procesie wiercenia lub zostać tanio zutylicowany. Spełnia bowiem kryteria związane z możliwością jego odprowadzania, np. do kanalizacji sanitarnej lub kanalizacji deszczowej. Flokulacja jest procesem, w którym dochodzi do agregacji cząstek koloidalnych (poniżej 5  $\mu\text{m}$ ) w większe struktury o rozmiarach rzędu 20  $\mu\text{m}$  i więcej, które są na tyle duże, że

są podatne na odwirowanie w szybkoobrotowej wirówce. Impulsem destabilizującym zawieszoną koloidalną są na ogół polimery rozpuszczalne w wodzie. Pomimo że proces flokulacji jest dziś dobrze znany, wciąż prowadzone są badania mające na celu jego intensyfikację i optymalizację. Dla danych warunków procesu istnieje optymalna dawka flokulantu, dla której tworzenie się agregatów jest najbardziej efektywne. W dawce optymalnej do głosu dochodzi efekt mostkowania pomiędzy cząsteczkami zawiesziny. Cząstki koloidalne łączą się w większe zbiory cząstek, które podlegać mogą zjawisku sedymentacji i łatwemu odwirowaniu. Dodatkowym zyskiem płynącym z zastosowania flokulantów jest uzyskanie bardziej suchego urobku, który nie naraża na kłopoty z utylizacją. Tego typu urobek jest z łatwością ładowany na ciężarówkę. To z kolei przekłada się na koszty transportu, gdyż ciężarówka z racji małej wilgotności odpadu może być wykorzystana w całej swojej pojemności. W zależności od specyfiki projektu proces flokulacji może mieć charakter ciągły lub okresowy. Jest to uzależnione od tempa przyrostu drobnej fazy stałej w płuczce obiegowej.

### Kompozycja płuczki a proces separacji

Istnieje rozbudowana literatura przedmiotu, która odnosi się do wpływu parametrów płuczki i jej składu na skuteczność i wydajność układów oczyszczania. Wraz ze wzrostem lepkości i zawartości fazy stałej efektywność separacji pogarsza się. Podobny efekt obserwujemy, kiedy w składzie płuczki pojawiają się długołańcuchowe (o dużym ciężarze cząsteczkowym) syntetyczne polimery, wykorzystywane jako inhibitory ilastej fazy stałej.

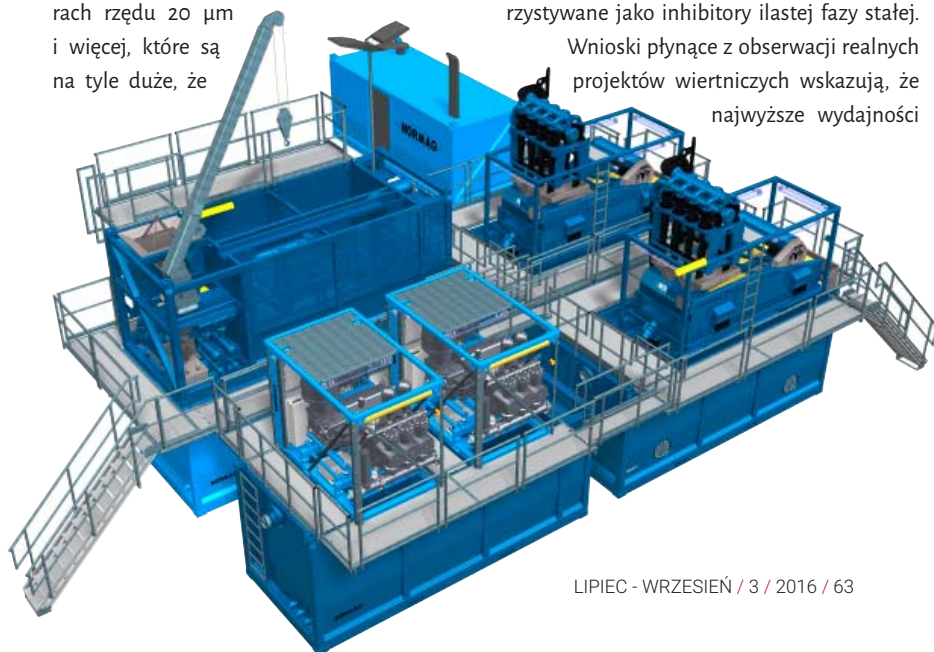
Wnioski płynące z obserwacji realnych projektów wiertniczych wskazują, że najwyższe wydajności

systemu separacji obserwujemy w przypadku stosowania płuczek o umiarkowanej lepkości i niskiej zawartości komponentów polimerowych (zarówno ekstenderów, inhibitorów, jak i koloidów ochronnych). Stoi to czasami w sprzeczności z koncepcją płuczki i wymaganiami, jakie stawiamy przed nią w procesie wiercenia. Istnieje przy tym wiele metod manipulacji, które pozwalają poprawić skuteczność rozdziału faz w urządzeniach mechanicznych. Należą do nich rozcieńczanie wodą przed i w trakcie procesu oczyszczania, obróbka chemiczna (inhibicja jonowa) czy stosowanie środków powierzchniowo czynnych. Z drugiej jednak strony nadmierna koncentracja detergentów w płuczce może wywołać efekt jej pienienia i napowietrzania, negatywnie wpływając na działanie pomp wirowych, powszechnie stosowanych w układach płuczki. Polimery wpływające na wzrost lepkości i obniżenie filtracji mogą spowalniać proces przesiewania oraz blokować oczka siatek.

### Obsługa i eksploatacja systemu separacji

System należy zmontować w miejscu realizacji projektu zgodnie z wytycznymi producenta, fabryczną instrukcją obsługi oraz według zaaprobowanych przez przemysł wiertniczy metod postępowania. Montażu powinien dokonać przeszkolony operator sprzętu. Należy połączyć wszystkie niezbędne kolektory i rurociągi zasilające, sprawdzić drożność hydrocyklonów i zamontować na sitach panele (siatki) o odpowiednich do przewidywanych warunków geologicznych parametrach. Przewidziane przez konstruktora sprzętu podesty i barierki powinny znaleźć się na swoich miejscach i zostać unieruchomione. Należy sprawdzić sprawność instalacji elektrycznej systemu i zapewnić jej zasilanie zgodnie z wytycznymi producenta.

Na początku operacji system powinien zostać wypełniony czystym płynem dla sprawdzenia poprawności działania wszystkich jego elementów oraz szczelności układu. Przed wprowadzeniem do systemu płuczki zanieczyszczonej (obciążonej fazą stałą) należy włączyć wszystkie sita wibracyjne zamontowane w systemie i zwilżyć powierzchnie ich siatek (paneli) wodą. W następnym kroku uruchomić kolejno pompy wirowe zasilające baterie hydrocyklonów i sprawdzić poprawność ich działania (przepływ/cięśnienie). Następnie uru-



chomić należy pompę ziemną, która podaje płuczkę z fazą stałą na wibrujące sito wstępne. Konieczne jest też wyregulowanie wydajności pompy szlamowej dla uzyskania oczekiwanej wydajności systemu (nie mniejszej niż zakładany wydatek wysokociśnieniowej pompy płuczkowej). Szlam wiertniczy przechodzi przez kolejne sekcje systemu oddzielającego od niego coraz drobniejsze ziarno. Napływający szlam powoduje usuwanie ze zbiornika płuczki oczyszczonej. Służy do tego celu pompa transferowa zintegrowana z komorą czystej płuczki. Należy zapewnić odpowiednią równowagę pomiędzy strumieniem płuczki napływającej do recydingu a strumieniem płuczki z niej wytlaczanej. Ze względu na separowaną fazę stałą ilość płuczki na wejściu będzie większa od tej na wyjściu z układu. Uzupelnienie do wymaganej objętości odbywa się poprzez dodanie wody. Zaleca się, o ile to możliwe, pracę z zastosowaniem czujników zabezpieczających zbiornik przed nadmiernym opróżnieniem oraz przed przepełnieniem. Czujniki te sterują pracą pompy ziemnej i pompy transferowej. Tryb automatyczny może być stosowany w standardowych warunkach pracy. Z trybu manualnego korzystamy w przypadku anomalii związanych ze zmienną zawartością fazy stałej i/lub zmienną lepkością cyrkulującej płuczki.

Po pierwszych kilku obiegach należy sprawdzić metodami laboratoryjnymi skuteczność procesu oczyszczania, w tym ustalić zawartość fazy stałej rezydualnej (w tym frakcji piaskowej) w płuczce oczyszczonej oraz jakość uzyskiwanego urobku (jego dystrybucja i wilgotność). Instrukcja wiercenia powinna określać częstotliwość wykonywania testów laboratoryjnych na szlamie, płuczce oczyszczonej, a także na fazie stałej odseparowanej.

Pochodną po analizach ilościowych i jakościowych powinien być możliwie najdokładniejszy bilans masy oraz bilans objętości. Nie należy ufać jedynie własnym oczom. Nawet najbardziej doświadczony inżynier czy technik płuczkowy powinien wspierać się standardowymi testami i pomiarami dla uniknięcia efektu niedoszacowania bądź przeszacowania aktualnej sytuacji otworowej. Analiza fazy stałej jest jednym z filarów oceny jakości wierczonego otworu. Stanowi ponadto użyteczne narzędzie do wykrywania potencjalnych zagrożeń wynikających z dynamicznie zmieniających się warunków wiercenia.

System separacji jest najkorzystniejszym miejscem dla dozowania wody do systemu płuczkowego. Wodę stosujemy do przemywania sit wibracyjnych oraz do rozcieńczania płuczki dla uzyskania lepszego efektu separacji. Odbudowanie lepkości płuczki, a także innych parametrów, powinno się odbywać w zbiorniku aktywnym (poza układem separacji), w którym mamy możliwość kondycjonowania płuczki przez dodatek materiałów strukturotwórczych (w tym bentonitu) i/lub inhibitorów.

Należy zadbać o to, aby urobek był zrzucony albo do szczelnych kontenerów, albo do specjalnie przygotowanego zbiornika ziemnego. Tempo usuwania urobku z cyrkulującej płuczki będzie wymuszało sukcesywną jego utylizację. Sposób utylizacji odseparowanej fazy stałej (a także pozostałego po procesie wiercenia szlamu) powinien zostać precyzyjnie wskazany w projekcie wykonawczym i uwzględnić przepisy oraz regulacje prawne odnoszące się do tego zagadnienia. Za właściwe udokumentowanie bezpiecznego zdeponowania urobku odpowiedzialny jest wykonawca robót wiertniczych.

W przypadku stwierdzenia podwyższonej koncentracji fazy stałej w płuczce opuszczającej system separacji, należy przerwać proces i przeprowadzić inspekcję stanu technicznego urządzenia. Dotyczy to zarówno stopnia zużycia siatek na sitach, jak też drożności hydrocyklonów i jakości ich pracy. Siatki uszkodzone należy wymienić lub poddać naprawie, o ile to możliwe. Siatki niedopasowane do warunków geologicznych trzeba zastąpić właściwymi. Kilka razy na zmianę roboczą konieczne jest też intensywne przemycie powierzchni siatek (paneli). W przypadku występowania niskich temperatur należy zabezpieczyć system przed ich wpływem. Przed dłuższymi przerwami w robotach wiertniczych urządzenie musi zostać opróżnione i umyte.

Ważne jest także zwracanie uwagi na efekt blokowania się oczek w siatkach sit i obniżanie tym samym sprawności systemu. Blokowanie to może wiązać się z mechanicznym zamknięciem oczka przez ziarno fazy stałej o tym samym rozmiarze lub też z pojawieniem się polimerowej warstwy wynikającej z obecności w płuczce pewnego typu polimerów. Zalecany jest aktywny monitoring systemu i właściwa selekcja stosowanych paneli (siatek).

Systemy płuczkowe zawierają wiele części

ruchomych i nieruchomych, które wymagają stałej kontroli, dozoru i wykonywania czynności obsługowych, aby utrzymać je w należytym stanie technicznym i sprawności. Uwagi te dotyczą także elementów składowych systemów separacji: sit wibracyjnych, pomp wirowych, hydrocyklonów. Brak odpowiedniej dbałości o powierzony nam system może skutkować nie tylko spadkiem efektywności działania, ale także doprowadzić do awarii maszynowej samego systemu, jak i sprzętów z nim stowarzyszonych. Co ciekawe, niektóre elementy mogą pracować w trybie niemalże bezobsługowym (np. wibratory zamontowane na sitach wibracyjnych), inne wręcz przeciwnie – wymagają ciągłej inspekcji i prac konserwacyjnych: smarowanie łożysk, regulacja uszczelnień, czyszczenie, naprawa i wymiana paneli na sitach, utrzymywanie drożności hydrocyklonów. Konieczne jest zatem zgromadzenie odpowiedniego zapasu części wymiennych i materiałów eksploatacyjnych, które umożliwią nam ciągłą pracę systemu bez kosztownych przestoju technologicznych. Jeśli wymogiem kontraktu jest konieczność pracy w warunkach niebezpiecznych (środowisko zagrożone eksplozją), należy zadbać o odpowiednią specyfikację komponentów systemu płuczkowego oraz certyfikację techniczną. To samo dotyczy wymagań wobec zasilania.

## Testy sprawności działania systemu

Wydajność systemu separacji mierzona jest strumieniem oczyszczonej płuczki (objętością w jednostce czasu) przy zadanych parametrach technologicznych, takich jak lepkość, zawartość fazy stałej na wejściu, zawartość fazy stałej na wyjściu, zawartość rezydualnie określonej frakcji. Poszczególne podstawowe elementy systemu (sita, pompy cyrkulacyjne, hydrocyklony) powinny charakteryzować się wyższą wydajnością niż deklarowana wydajność całego układu. Powinny być przy tym prawidłowo skorelowane. W trakcie pracy z systemem operator wykonuje szereg czynności sprawdzających, mających określić sprawność działania układu. Do wymaganych parametrów mierzonych należą: ciężar właściwy płuczki wejściowej i wyjściowej, zawartość piasku na wejściu i wyjściu, profil lepkościowy płuczki wyjściowej, zawartość wody w urobku zrzuconym poza układ separacji. Do wymaganych parametrów kontrolowanych (monitorowanych) należą: strumień płuczki na

wejściu do układu, ilość wody wprowadzanej do układu płuczkowego w obrębie systemu separacji, objętość fazy stałej odseparowanej przeliczona na suchą masę, ciśnienie w rurociągach zasilających hydrocyklony, zachowanie się fazy stałej na sitach wibracyjnych i kontrola stanu technicznego siatek (paneli) zamontowanych na sitach.

## Literatura

- [1] API Recommended Practice 13C. Fifth Edition 2014.
- [2] Baker Hughes Drilling Fluids: Drilling Fluids Reference Manual – revised edition 2006.
- [3] Drilling Fluids Processing Handbook: Elsevier Inc. London, 2005.
- [4] M-I Drilling Fluids: Solids Control, Cuttings Management and Fluids Processings.
- [5] Osikowicz R.: Krytyczne funkcje płynów wiertniczych. Inżynieria Bezwypokopowa, 1/2005.
- [6] Osikowicz R.: Rynek płynów wiertniczych. Inżynieria Bezwypokopowa, 4/2013.
- [7] Osikowicz R.: Tendencje obserwowane w rozwoju HDD w Polsce i na świecie. Referat wygłoszony w trakcie XII Konferencji Inżynierii Bezwypokopowej w Krakowie, 11 czerwca 2014 r.
- [8] Osikowicz R.: Zarządzanie jakością otworu wiertniczego. Inżynieria Bezwypokopowa, 1/2015.
- [9] Osikowicz R.: Ocena aktualnego stanu techniki HDD w Polsce. Referat wygłoszony w trakcie XIII Konferencji Inżynierii Bezwypokopowej w Krakowie, 10 czerwca 2015.
- [10] Osikowicz R. Zamknięty obieg płuczkowy cz. I i II. Inżynieria Bezwypokopowa, 1/2016 oraz 2/2016.
- [11] Petiet R.: Closed-loop Mud Systems in HDD Technology. Referat wygłoszony w trakcie II Seminarium Technicznego ROE w Krakowie, grudzień 2015.
- [12] Shale Shakers and Drilling Fluids Systems. American Association of Drilling Engineers, Texas 2014.

## Personel

Systemy oczyszczania płuczki są efektywne i działają sprawnie, jeśli są obsługiwane przez doświadczony i wykwalifikowany personel. Zrozumienie zasady działania całego systemu, a także poszczególnych jego elementów, zrozumienie relacji zachodzącej pomiędzy parametrami płynu wiertniczego

a wydajnością procesu, doskonalenie metod obróbki i manipulacji, to cel, do którego powinna dążyć zarówno spółka wiertnicza, jak i wspierające ją firmy serwisowe. Nawet najlepsze komponenty nie będą skutecznie (optymalnie) działać, jeśli osoby je obsługujące nie są odpowiednio wyszkolone i wtajemniczone w tajniki procesu.

## Podsumowanie i wnioski praktyczne

Na podstawie wieloletniego doświadczenia w zakresie techniki HDD z różnymi typami systemów (układów urządzeń) separujących, można sformułować szereg uniwersalnych tez. Ich udowodnienie pozostawiamy zainteresowanym czytelnikom.

- ✓ Systemy rozdziału faz należy traktować jako obowiązkowe do zastosowania w projektach wiertniczych o dużej i średniej skali (HDI powyżej 5000 pkt). W projektach małych decyzja o ich zastosowaniu powinna być podjęta po przeprowadzeniu analizy technicznej i ekonomicznej. Czynniki związane z oddziaływaniem procesu wiertniczego na środowisko powinny mieć istotny udział w procesie decyzyjnym.
- ✓ Budowę złożonego systemu separacji należy powierzyć wyspecjalizowanemu producentowi o ugruntowanej pozycji.
- ✓ Im wyższa jakość zastosowanych komponentów, tym potencjalnie wyższa jest przepustowość i skuteczność działania systemu separacji.
- ✓ Jakość komponentów nie wyczerpuje jednak procesu projektowania układu. Ich dopasowanie wzajemne oraz komunikacja pomiędzy innymi, a także wewnątrz logika systemu, są równie istotne.
- ✓ Sedymentacja grawitacyjna może być uznana jedynie za wstępną i pomocniczą metodę rozdziału faz.
- ✓ Pełnowymiarowe systemy separacji muszą składać się przynajmniej z trzech lub czterech stopni, w tym separacji wstępnej i dwóch stopni bazujących na mud cleanerach.
- ✓ Konwencjonalne systemy separacji, bazujące na sitach wibracyjnych i hydrocyklonach, są w stanie oddzielić cząstki

nie mniejsze niż 25–40 mikronów. Jest to przy tym silnie uzależnione od lepkości płuczki.

- ✓ Dla usunięcia z systemu drobniejszej niż 25 mikronów fazy stałej potrzebne jest użycie wirówek dekantacyjnych lub pras filtracyjnych.
- ✓ Dla usunięcia z systemu fazy koloidalnej niezbędne są chemiczne metody strącania (koagulacja, flokulacja i inne pokrewne).
- ✓ Fachowe zarządzanie drobną fazą stałą daje spółce wiertniczej bardzo wymierne (policzalne) korzyści.
- ✓ Wydajność (przepustowość) systemu separacji powinna być bezwzględnie wyższa od zaprojektowanego wydatku wysokociśnieniowej pompy płuczkowej.
- ✓ Nawet najlepiej zaprojektowany układ separacji faz wymaga fachowej obsługi i przeglądów technicznych zgodnie ze wskazówkami producenta.
- ✓ Personel techniczny, nadzorujący pracę układu płuczkowego, powinien mieć wymagane doświadczenie i kwalifikacje.
- ✓ Ze względu na lawinowo wzrastające koszty utylizacji odpadów wiertniczych pojawia się zapotrzebowanie na systemy separacji o dużych przepustowościach.

Skuteczność działania systemu separacji jest kluczowa z punktu widzenia ekonomiki wiercenia. Jego selekcja w kontekście danego projektu jest nie mniej ważna niż wybór urządzenia wiertniczego. W następnej, ostatniej części artykułu, poddamy analizie czynniki ekonomiczne mające wpływ na decyzję: wynająć czy kupić? Albo mówiąc inaczej: co warto kupić, a który sprzęt od czasu do czasu wynajmować? Jak zadbać przy tym o odpowiednie warunki gwarancji i dostępność serwisu? <





Fot. Robert Osikowicz Engineering

# Zamknięty **obieg płuczkowy**

## CZĘŚĆ IV: PODSTAWY EKONOMIKI PROCESU. DYLEMATY SPÓŁKI WIERTNICZEJ



**Robert Osikowicz**

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

Jak wygląda ekonomiczna strona procesu wiercenia otworów kierunkowych HDD związana z kosztami ponoszonymi pośrednio lub bezpośrednio przez wykonawcę robót w obszarze płynów wiertniczych? Część czwarta cyklu artykułów omawiających zamknięty obieg płuczkowy została poświęcona symulacji ponoszonych wydatków inwestycyjnych i realnych kosztów płuczkowych dla trzech grup potencjalnych projektów. W celu przeprowadzenia takiej symulacji wykorzystany został specjalny model, umożliwiający taką analizę

## Koszty – za co płacimy?

Istnieje błędne wyobrażenie nt. kosztów ponoszonych w zakresie materiałów płuczkowych. Wyobrażenie to jest dosyć skutecznie zakorzenione w umysłach ludzi zajmujących się tym rodzajem biznesu. Zawiera się ono w domniemaniu, że ponoszone obciążenia finansowe mają głównie źródło w wartości konsumowanych materiałów płuczkowych (woda, bentonit, materiały specjalnego przeznaczenia), w kosztach obsługi urządzeń płuczkowych (koszty pracy), w kosztach paliwa niezbędnego do napędzenia elementów układu oraz, co przynajmniej z dużą dozą niechęci, w kosztach utylizacji wyprodukowanego szlamu wiertniczego. Tak wyceniony „problem płuczkowy” nie zawiera wielu innych istotnych elementów. Wśród tych najważniejszych znajdują się koszty: pozyskania sprzętu (zakup, najem); obsługi finansowej inwestycji (kredyt, leasing, ubezpieczenie); rozłożenia na kilka lat amortyzacji „kosztownego” urządzenia; obsługi serwisowej; doradztwa w obszarze technologii płynów wiertniczych; wynikające ze szkoleń w zakresie fachowej obsługi sprzętu; typowych części eksploatacyjnych (wymennych) itd. Już sama pobieżna analiza wskazuje, że problem jest bardziej złożony niż nam się wydaje.

## Zamknięty obieg w kontekście skali realizowanego projektu

Zacznijmy od rozróżnienia, które grupy kosztów są nie do uniknięcia w procesie wiercenia, a które można uznać za opcjonalne. Niezbędna wydaje się infrastruktura do przygotowania płynu wiertniczego (zbiornik płuczkowy z pompami cyrkulacyjnymi i lejem płuczkowym wyposażonym w zwężkę Venturi); pompa wysokiego ciśnienia, tłocząca płuczkę do

otworu oraz urządzenia do utylizacji szlamu wypływającego z otworu. Ten sprzęt spółka wiertnicza może posiadać na własność lub wynajmować. Jak wynika z dalszej części artykułu, od pewnej klasy projektu, powiązanej ściśle z geometrią otworu (długość, głębokość, średnica), a także ze zwiercalnością formacji geologicznej, koszty poniesione na produkcję i utylizację płuczki stają się nadmierne, a nawet nieakceptowalne. Przekroczenie poziomu 30% ponoszonych całkowitych kosztów powinno być sygnałem dla spółki wiertniczej, że płuczką (fazą stałą, szlammem) należy zarządzać w odmienny sposób. Ten sposób polega na takiej konfiguracji układu płuczkowego, która umożliwi cyrkulowanie w układzie zamkniętym. Do układu podstawowego dochodzą więc pompy szlamowe, rurociągi transferowe, urządzenia do mechanicznej separacji faz, opcjonalne zbiorniki do buforowania i kondycjonowania płuczki. Bazując na wprowadzonym przez ROE podziale projektów wg wskaźnika HDI (*Hole Difficulty Index*), będącego iloczynem długości otworu wyrażonej w metrach i średnicy rurociągu wyrażonej w calach, można wyodrębnić projekty małe (HDI < 5000), średnie (5000–10 000), duże (10 000–20 000) i bardzo duże (HDI > 20 000). Podział ten jest adekwatny do skali polskiego rynku i „korzystny” z dotychczasowych doświadczeń spółek wiertniczych.

W tab. 1 zaprezentowano wartość wskaźnika HDI dla typowych stosowanych w technice HDD średnic rurociągów. Czterema kolorami wyodrębniono zakresy stopnia trudności. W projektach małych (HDI < 5000) dominującą tendencją jest brak stosowania zamkniętego obiegu, chociaż, jak wynika z analiz ekonomicznych, projekty z przedziału 2500–3500 wykazują poprawę efektywności działania przy zastosowaniu mechanicznej kontroli fazy

TEMATYKA ARTYKUŁU:

**Koszty**  
kupna i wynajmu

**Sprzęt**  
nowy a używany

**Opłacalność**  
zamknięcia obiegu  
płuczkowego

**Ryzyko**  
inwestycyjne

	100	150	200	300	400	500	600	800	1000	1200	1500
6"	600	900	1200	1800	2400	3000	3600	4800	6000	7200	9000
8"	800	1200	1600	2400	3200	4000	4800	6400	8000	9600	12 000
10"	1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	8000	10 000	12 000	15 000
12"	1200	1800	2400	3600	4800	6000	7200	9600	12 000	14 400	18 000
14"	1400	2100	2800	4200	5600	7000	8400	11 200	14 000	16 800	21 000
16"	1600	2400	3200	4800	6400	8000	9600	12 800	16 000	19 200	24 000
20"	2000	3000	4000	6000	8000	10 000	12 000	16 000	20 000	24 000	30 000
24"	2400	3600	4800	7200	9600	12 000	14 400	19 200	24 000	28 800	36 000
28"	2800	4200	5600	8400	11 200	14 000	16 800	22 400	28 000	33 600	42 000
32"	3200	4800	6400	9600	12 800	16 000	19 200	25 600	32 000	38 400	48 000
36"	3600	5400	7200	10 800	14 400	18 000	21 600	28 800	36 000	43 200	54 000
40"		6000	8000	12 000	16 000	20 000	24 000	32 000	40 000	48 000	60 000
48"			9600	14 400	19 200	24 000	28 800	38 400	48 000	57 600	72 000
56"				16 800	22 400	28 000	33 600	44 800	56 000	67 200	84 000

TAB. 1. Korelacja współczynników trudności otworu z parametrami geometrycznymi instalacji

HDI < 5000
5000 < HDI < 10 000
10 000 < HDI < 20 000
HDI > 20 000

stałej (rozdział faz). Firmy jednak, w większości przypadków, wolą utylizować jednorazowo wykorzystany płyn. Wykonawcy robót wiertniczych starają się przy tym na poziomie podpisanego kontraktu przenieść na swojego klienta (zamawiającego usługę) koszty i konsekwencje związane z utylizacją płuczki. Dla projektów z przedziału 5000–10 000 punktów wyraźnie widać zarysowującą się przewagę obiegu zamkniętego nad otwartym. Warto przy tym wspomnieć, że w tym przedziale obieg zamknięty jest bezwarunkowo bardziej opłacalny, jeśli weźmie się pod uwagę rzeczywiste (a nie zaniżone) koszty utylizacji. W historii polskiego HDD zdarzało się realizować projekty z trzeciej grupy trudności (10 000–

20 000) bez użycia obiegu zamkniętego. Każdorazowo jednak notowano nadmierne i nieuzasadnione koszty płuczkowe, a jakość otworu była co najwyżej przeciętna. W tym zakresie projektów nie powinny być dopuszczalne do realizacji zadań spółki nie deklarujące mobilizacji zamkniętego, sprawnie działającego obiegu płuczkowego. W segmencie projektów bardzo dużych (HDI >20 000) nie spotyka się obecnie w Polsce przypadków omijania zamkniętych układów płuczkowych. Wydaje się wręcz nieprawdopodobne, aby dla obecnego poziomu cen można było uzyskać korzystny wynik finansowy z realizacji kontraktu w sposób uproszczony, bez prawidłowego zagospodarowania płuczki.

## Ile naprawdę to kosztuje?

Przed wdrożeniem projektu polegającego na inwestowaniu w zamknięty obieg płuczkowy (zakup, rozbudowa, modernizacja), należy ustalić, jakie środki trzeba ponieść i pod jakimi warunkami można liczyć na korzyści. Rozważaną inwestycję trzeba zbadać pod kątem jej efektywności, stosując do tego celu analizę opłacalności. Zgadza się ze stwierdzeniem, że kto się nie rozwija, ten nie stoi w miejscu, ale się cofa. Nie sztuka jednak ponieść koszty związane z nowym projektem, sprzętem, wyposażeniem. Trzeba umieć odpowiedzieć sobie na minimum trzy pytania: czy warto angażować się w projekt, jakie ryzyko wiąże się z jego realizacją oraz czy i kiedy on (ono)

Typ sprzętu	Sprzedaż	Miesięczna amortyzacja (dla cyklu 5 lat)	Dzienna amortyzacja dla projektu (projekty stanowią 50% całkowitego czasu amortyzacji)	Najem (koszt miesięczny)	Najem (koszt dzienny)
System separacji 500 l/min	40 000–65 000 EUR	670–1080 EUR	45–72 EUR	2400–3600 EUR	80–120 EUR
System separacji 1000 l/min	100 000–130 000 EUR	1666–2166 EUR	110–142 EUR	5000–7000 EUR	160–235 EUR
System separacji 1500 l/min	170 000–200 000 EUR	2833–3333 EUR	186–219 EUR	7000–9000 EUR	266–300 EUR
System separacji 2000 l/min	220 000–260 000 EUR	3666–4333 EUR	241–285 EUR	9000–12 000 EUR	300–400 EUR
System separacji 2500 l/min	280 000–350 000 EUR	4666–5833 EUR	307–383 EUR	13 000–16 000 EUR	433–533 EUR
Wirówka dekantacyjna 1000 l/min				10 000–15 000 EUR	350–500 EUR
Zaawansowany system przygotowania płuczki 20 ft	100 000–150 000 EUR	1660–2500 EUR	110–165 EUR	6000–8000 EUR	200–266 EUR
Zbiornik buforowy 20 ft	50 000–80 000 EUR	830–1333 EUR	54–88 EUR	3000–4000 EUR	100–133 EUR
Pompa wysokociśnieniowa 1500 l/min	150 000–190 000 EUR	2500–3166 EUR	165–208 EUR	7500–9000 EUR	250–300 EUR
Pompa wysokociśnieniowa 2500 l/min	220 000–280 000 EUR	3666–4666 EUR	240–307 EUR	12 000–15 000 EUR	400–500 EUR

TAB. 2. Ceny wybranego sprzętu płuczkowego (sprzedaż/wynajem) dla technologii HDD w Europie



się zwróci? Decyzja o rozpoczęciu inwestycji wymaga analizy rynku urządzeń płuczkowych, ze szczególnym uwzględnieniem sprzętu służącego mechanicznej separacji faz, tłokowych pomp wysokociśnieniowych oraz pomp służących do tłoczenia szlamu. Rozpoznanie potencjalnych źródeł dostaw, zarówno dla sprzętu w opcji zakupu, jak i sprzętu w opcji najmu, pozwoli lepiej przygotować się do stworzenia planu inwestycyjnego. W tab. 2 przedstawione zostały uśrednione koszty zakupu i/lub najmu poszczególnych typów urządzeń płuczkowych wchodzących w skład zamkniętego obiegu. Ceny pochodzą z analizy ofert dla rynku europejskiego.

Jak wynika z tab. 2, koszty najmu zawsze są wyraźnie wyższe niż koszty amortyzacji w ujęciu 5-letnim czy rat leasingowych w horyzoncie 3-letnim. Jest to zrozumiałe i wynika ze specyfiki najmu realizowanego tylko w okresach aktywności wiertniczej (praca) i niepotrzebnego w okresie przestoju (standby). Analizując stawki dzienne dla najmu krótkookresowego (miesiąc) i długookresowego (co najmniej sześć miesięcy) można wykazać, że wartości te różnić się będą o około 10–15% na korzyść kontraktów długoterminowych.

## Kiedy opłaca się zamknąć obieg płuczkowy?

Najprościej rzecz ujmując, dzieje się tak wtedy, kiedy całkowite koszty ponoszone na wyprodukowanie, skuteczne wpompowanie do otworu oraz koszty utylizacji zaczynają przewyższać całkowite koszty płuczkowe, ponoszone przy prawidłowo skonfigurowanym obiegu zamkniętym. Opłaca się także wtedy, kiedy dzięki zabiegom technologicznym podwyższamy jakość tworzonego otworu i obniżamy jednocześnie ryzyko niepowodzenia projektu. Posiadając obieg zamknięty, łatwiej przezwyciężyć problemy wiertnicze i nie być przy tym narażonym na permanentną presję kosztów jednorazowo wykorzystanej płuczki. W tab. 2 prezentowane są potencjalne koszty płuczkowe, ponoszone przez wykonawcę instalacji metodą HDD w trzech kategoriach sprzętu wiertniczego: mini, midi oraz maxi. Dla każdej z wymienionych grup sprzętu zastosowano symulację wynikającą z parametrów typowego dla nich projektu. Relacje pomiędzy długością otworu i głębokością posadowienia instalacji zostały przyjęte na podobnym poziomie (MD:TVD około 28). Dzien-

ne koszty prawidłowego zamknięcia obiegu zostały wycenione następująco: od 1000 zł dla maszyn małych, poprzez 3000 zł dla maszyn średnich aż do 6000 zł w przypadku przepustowości systemu sięgającej 2000 l/min. Poprzez koszty zamknięcia obiegu rozumiemy tutaj koszty zastosowanych urządzeń, koszty energii i personelu. Zaprezentowana symulacja powinna być traktowana tylko jako model, do którego można stosować własne wartości, wyceny, wskaźniki.

---

HDI (Hole Difficulty Index)  
wskaźnik wykorzystywany  
w zakresie podziału  
projektów, będący iloczynem  
długości otworu wyrażonej  
w metrach i średnicy  
rurociągu wyrażonej w calach

---

W analizie zastosowano szereg założeń, które każdy musi indywidualnie zweryfikować. Założono m.in., że koszty pozyskania wody sięgają 10 zł za każdy 1 m<sup>3</sup>. Jest to bardzo prawdopodobne w projektach, gdzie woda nie jest dostępna na miejscu i należy ją dowozić. W przypadku maszyn wiertniczych klasy mini dowóz wody wiąże się z przerwaniem cyklu wiertniczego. Ujednolicone koszty bentonitu zostały ustalone na poziomie 60 zł na każdy 1 m<sup>3</sup> sporządzonej płuczki, przy czym założono wykorzystanie bentonitu wysokoaktywowanego w koncentracji 3% dla projektu małego i średniego oraz bentonitu średnioaktywowanego w koncentracji 4,5% dla projektu dużego. Dodatkowe koszty polimerów czy inhibitorów zostały wyodrębnione. Koszt utylizacji szlamu oszacowano na średnim poziomie 80 zł za 1 m<sup>3</sup> szlamu. Objętości utylizowanego szlamu skalkulowano przy założeniu efektu szczelnego otworu (umiarkowany lub niski zanik wgłębny). Wskaźnik technologiczny, ustalający proporcje objętości wykorzystanej płuczki do objętości generowanego urobku, został wskazany na podstawie doświadczeń rynku wiertniczego w zakresie wykonywania

otworów wiertniczych, zarówno w warstwach niespoistych (piasek), jak i kohezyjnych (glin, il). Wskaźnik ten obejmuje także te operacje wiertnicze, w których nie dochodzi do powiększania otworu (kalibracja i instalacja). Zakłada się domyślnie, że koncentracja fazy stałej w trakcie wiercenia otworu pilotowego jest niższa niż w trakcie jego poszerzania. Koszty wykorzystania urządzeń wiertniczych w poszczególnych klasach zostały przyjęte na podstawie doświadczenia autora. Koszty te mogą odbiegać od normy w przypadku napotkania wyjątkowo złożonych warunków geologicznych, do których zaliczamy m.in. lite skały o znacznej wytrzymałości na ściskanie czy aktywne iły mioceńskie. Oszacowany potencjalny zysk jest zależny od sprawności działania spółki wiertniczej (tempa prowadzonych robót). Zakłada się, że zysk brutto spółki wiertniczej wynikający z realizowanego zadania nie powinien być niższy niż 1000 zł za 1 m<sup>3</sup> zainstalowanego rurociągu w przypadku instalacji z tworzywa HDPE i 1500–2000 zł za 1 m<sup>3</sup> zainstalowanego rurociągu w przypadku instalacji rur stalowych. Nie należy zapominać, że budżet projektu został przyjęty na stosunkowo optymistycznym poziomie, powyżej średniej obserwowanej obecnie na polskim rynku wiertniczym.

## Kupić czy wynająć?

Wiele spółek wiertniczych przeżywa dylemat dotyczący zakupu czy wynajmu elementów zamkniętego obiegu płuczkowego. Rozwiązanie tego problemu nie jest proste. Istnieją bowiem racjonalne argumenty za i przeciw, które można rozważyć i poddać chłodnej ocenie. Są też jednak nie dające się wycenić elementy, które należy wziąć pod uwagę.

## Za i przeciw opcji zakupu

Odpowiedzmy sobie na pytanie, dlaczego chcemy kupić sprzęt służący zamknięciu obiegu płuczkowego? Po pierwsze dlatego, że na rynku funkcjonują firmy, które już je posiadają i osiągają dzięki temu zadowalające wyniki finansowo-technologiczne. Po drugie, coraz bardziej rygorystyczne stają się przepisy mówiące o ochronie środowiska. Po trzecie, coraz trudniej jest legalnie zutylizować szlam, nie narażając się na horrendalne koszty. Po czwarte, coraz mniej inwestorów bierze na siebie problem utylizacji odpadów wraz ze wzrostem ich świadomości technologicznej i rozumie-

Kategoria projektu	Projekt mały		Projekt średni		Projekt duży	
Budżet	80 000 zł		450 000 zł		1 800 000 zł	
Rurociąg	HDPE: 315 mm		stal: 508 mm		stal: 711 mm	
Długość MD	300 m		500 m		700 m	
Głębokość TVD	11 m		18 m		25 m	
Wskaźnik MD : TVD	28		28		28	
Geologia	piasek		piasek/glina		glina/łt	
Wskaźnik HDI	3720		10 000		19 600	
Typ obiegu płuczkowego	Obieg otwarty	Obieg zamknięty	Obieg otwarty	Obieg zamknięty	Obieg otwarty	Obieg zamknięty
Zaangażowany sprzęt						
Wiertnica	150 kN		450 kN		1000 kN	
Moment obrotowy	7 kNm		18 kNm		60 kNm	
Pompa płuczkowa – wydatek nominalny	350 l/min		900 l/min		2000 l/min	
Pompa płuczkowa – średni wydatek rzeczywisty	250 l/min		700 l/min		1600 l/min	
System mieszania i kondycjonowania	10 m <sup>3</sup>		20 m <sup>3</sup>		40 m <sup>3</sup>	
Pompa wodna	500 l/min		1000 l/min		2000 l/min	
System separacji	nie	500 l/min	nie	1000 l/min	nie	2000 l/min
Pompa transferowa pomiędzy punktem wyjścia a punktem wejścia	nie	> 700 l/min	nie	> 1500 l/min	nie	> 2500 l/min
Rurociąg transferowy	nie	co najmniej 5"	nie	co najmniej 6"	nie	co najmniej 6"
Pompa szlamowa zasilająca system separacji	nie	> 500 l/min	nie	> 1000 l/min	nie	> 2000 l/min
Beczkowiec do wywozu szlamu	tak	tak	tak	tak	tak	tak
Koparka i samochód do wywozu urobku	nie	tak	nie	tak	nie	tak
Personel						
Ilość osób zaangażowanych na zmianę 12 h	3–4		6–7		8–10	
Geometria otworu / rurociągu						
Średnica otworu	500 mm		700 mm		1000 mm	
Objętość rurociągu	24 m <sup>3</sup>		101 m <sup>3</sup>		278 m <sup>3</sup>	
Pojemność całkowita otworu	60 m <sup>3</sup>		192 m <sup>3</sup>		550 m <sup>3</sup>	
Pojemność zbiorników ziemnych	30 m <sup>3</sup>		130 m <sup>3</sup>		400 m <sup>3</sup>	
Technologia wiercenia						
Wskaźnik technologiczny płuczka : zwierciny	5 : 1	8 : 1	8 : 1	12 : 1	15 : 1	20 : 1
Ilość płuczki przycyrkulowanej przez otwór	300 m <sup>3</sup>	480 m <sup>3</sup>	1540 m <sup>3</sup>	2300 m <sup>3</sup>	8250 m <sup>3</sup>	11 000 m <sup>3</sup>
Czas cyrkulowania netto	1200' (20 godz.) @ 250 l/min	1920' (32 godz.) @ 250 l/min	2200' (37 godz.) @ 700 l/min	3290' (55 godz.) @ 700 l/min	5160' (86 godz.) @ 1600 l/min	6880' (115 godz.) @ 1600 l/min
Średnia zawartość fazy stałej	17 %	11,5 %	11,5 %	8 %	6%	5%
Prognozowany zanik węglębny	20% objętościowo	10% objętościowo	10% objętościowo	5% objętościowo	5% objętościowo	3% objętościowo
Minimalna ilość płuczki wytworzona na etapie wiercenia	320 m <sup>3</sup>	150 m <sup>3</sup>	1560 m <sup>3</sup>	450 m <sup>3</sup>	8300 m <sup>3</sup>	1400 m <sup>3</sup>
Średnia ilość obiegów dla wytworzonej płuczki	1	4	1	5	1	9
Ilość płuczki pozostałej do utylizacji	210 m <sup>3</sup>	60 m <sup>3</sup>	1300 m <sup>3</sup>	200 m <sup>3</sup>	7000 m <sup>3</sup>	600 m <sup>3</sup>

**TAB. 3.** Symulacja kosztów płuczkowych ponoszonych dla trzech wybranych grup projektów HDD w kontekście przyjętej strategii postępowania

Typ obiegu płuczkowego	Obieg otwarty	Obieg zamknięty	Obieg otwarty	Obieg zamknięty	Obieg otwarty	Obieg zamknięty
<b>Ocena techniczna otworu</b>						
Jakość	przeciętna	dobra	przeciętna	dobra	przeciętna	dobra
Poziom ryzyka	powyżej przeciętnej	umiarkowany	powyżej przeciętnej	umiarkowany	powyżej przeciętnej	umiarkowany
Obciążenia przewodu i zużycie narzędzi	powyżej przeciętnej	umiarkowane	powyżej przeciętnej	umiarkowane	średnie	umiarkowane
Obciążenia instalacyjne	wysokie	średnie	średnie	niskie	średnie	niskie
<b>Czas trwania operacji</b>						
Czas wytwarzania płuczki wiertniczej	1600' (26 godz.) @ 200 l/min	600' (10 godz.) @ 200 l/min	3120' (52 godz.) @ 500 l/min	900' (15 godz.) @ 500 l/min	8300' (138 godz.) @ 1000 l/min	1400' (23 godz.) @ 1000 l/min
Czas dostarczania wody	1600' (26 godz.) @ 200 l/min	600' (10 godz.) @ 200 l/min	3120' (52 godz.) @ 500 l/min	900' (15 godz.) @ 500 l/min	8300' (138 godz.) 1000 l/min	1400' (23 godz.) @ 1000 l/min
Czas realizacji zadania wiertniczego	7 dni	6 dni	14 dni	12 dni	35 dni	28 dni
<b>Wskaźniki technologiczne</b>						
Postęp drążenia otworu w m <sup>3</sup> /godz. pracy brutto	0,7	0,8	0,9	1,3	1,3	1,6
Objętość płuczki przecyrkulowanej w m <sup>3</sup> /godz. pracy brutto	3,5	6,6	9,2	15,9	19,6	32,7
Czas cyrkulacji : czas trwania projektu	24%	44%	22%	38%	21%	34%
<b>Koszty płuczkowe</b>						
Woda	320 m <sup>3</sup> x 10 zł/m <sup>3</sup> = 3200 zł	150 m <sup>3</sup> x 10 zł/m <sup>3</sup> = 1500 zł	1560 m <sup>3</sup> x 10 zł/m <sup>3</sup> = 15 600 zł	450 m <sup>3</sup> x 10 zł/m <sup>3</sup> = 4500 zł	8300 m <sup>3</sup> x 10 zł/m <sup>3</sup> = 83 000 zł	1400 m <sup>3</sup> x 10 zł/m <sup>3</sup> = 14 000 zł
Bentonit 30 kg/m <sup>3</sup> (projekt mały i średni) 45 kg/m <sup>3</sup> (projekt duży)	320 m <sup>3</sup> x 60 zł/m <sup>3</sup> = 19 200 zł	150 m <sup>3</sup> x 60 zł/m <sup>3</sup> = 9000 zł	1560 m <sup>3</sup> x 60 zł/m <sup>3</sup> = 93 600 zł	450 m <sup>3</sup> x 60 zł/m <sup>3</sup> = 27 000 zł	8300 m <sup>3</sup> x 60 zł/m <sup>3</sup> = 498 000 zł	1400 m <sup>3</sup> x 60 zł/m <sup>3</sup> = 84 000 zł
Konsumpcja bentonitu	9,6 t (koncentracja 3%)	4,5 t (koncentracja 3%)	46,8 t (koncentracja 3%)	13,5 (koncentracja 3%)	370 t (koncentracja 4,5%)	63 t (koncentracja 4,5%)
Polimery 0,3 kg/m <sup>3</sup>	320 m <sup>3</sup> x 6 zł/m <sup>3</sup> = 1900 zł	150 m <sup>3</sup> x 6 zł/m <sup>3</sup> = 900 zł	1560 m <sup>3</sup> x 6 zł/m <sup>3</sup> = 9360 zł	-	-	-
Inhibitory (szacunkowo)	-	-	-	10 000 zł	100 000 zł	50 000 zł
Utylizacja szlamu	210 m <sup>3</sup> x 80 zł/m <sup>3</sup> = 16 800 zł	60 m <sup>3</sup> x 80 zł/m <sup>3</sup> = 4800 zł	1300 m <sup>3</sup> x 80 zł/m <sup>3</sup> = 104 000 zł	200 m <sup>3</sup> x 80 zł/m <sup>3</sup> = 16 000 zł	7000 m <sup>3</sup> x 80 zł/m <sup>3</sup> = 560 000 zł	600 m <sup>3</sup> x 80 zł/m <sup>3</sup> = 48 000 zł
Utylizacja fazy stałej	-	30 m <sup>3</sup> x 50 zł/m <sup>3</sup> = 1500 zł	-	120 m <sup>3</sup> x 50 zł/m <sup>3</sup> = 6000 zł	-	600 m <sup>3</sup> x 50 zł/m <sup>3</sup> = 30 000 zł
<b>RAZEM</b>	<b>41 100 zł</b>	<b>17 700 zł</b>	<b>222 560 zł</b>	<b>63 500 zł</b>	<b>1 241 000 zł</b>	<b>226 000 zł</b>
<b>Koszty wykorzystanego sprzętu</b>						
Koszty urządzenia wiertniczego, energii i personelu	5000 zł dziennie	5000 zł dziennie	12 000 zł dziennie	12 000 zł dziennie	25 000 zł dziennie	25 000 zł dziennie
Koszty skutecznego zamknięcia obiegu	-	1000 zł dziennie	-	3000 zł dziennie	-	6000 zł dziennie
<b>RAZEM</b>	<b>7 dni x 5000 zł/dzień = 35 000 zł</b>	<b>6 dni x 6000 zł/dzień = 36 000 zł</b>	<b>14 dni x 12 000 zł/dzień = 168 000 zł</b>	<b>11 dni x 15 000 zł/dzień = 165 000 zł</b>	<b>35 dni x 25 000 zł/dzień = 875 000 zł</b>	<b>28 dni x 31 000 zł/dzień = 868 000 zł</b>
<b>Podsumowanie kosztów i wynik finansowy</b>						
<b>Koszty płuczkowe + koszty sprzętowe</b>	<b>41 100 + 35 000 = 76 100 zł</b>	<b>17 700 + 36 000 = 53 700 zł</b>	<b>222 560 + 168 000 = 390 560 zł</b>	<b>63 500 + 165 000 = 228 500 zł</b>	<b>2 116 000 zł</b>	<b>1 094 000 zł</b>
Zysk (przychody z realizacji projektu - koszty)	80 000 - 76 100 = 3900 zł	80 000 - 53 700 = 26 300 zł	450 000 - 390 560 = 59 440 zł	450 000 - 228 500 zł = 221 500 zł	- 316 000 zł	706 000 zł
Zysk na 1 m <sup>3</sup> zainstalowanego rurociągu	160 zł	1095 zł	588 zł	2193 zł	strata	2540 zł

**TAB. 3. cd** Symulacja kosztów płuczkowych ponoszonych dla trzech wybranych grup projektów HDD w kontekście przyjętej strategii postępowania



nia problemu kosztów legalnej utylizacji. Po piąte, powszechnie uważa się, że większe ilości płuczki zastosowane w procesie wiercenia zapracują lepszą jakością otworu, a co za tym idzie, obniży się poziom ryzyka niepowodzenia zadania. Wadą takiego rozwiązania (zakupu sprzętu) jest konieczność poniesienia znacznego wysiłku finansowego i nie ma tu specjalnie znaczenia sposób zapłaty: natychmiastowy czy odroczone w postaci leasingu czy rat kredytu. Wadą jest również fakt, że sprzęt traci na wartości w czasie, nawet jeśli nie jest intensywnie eksploatowany. Jego odsprzedaż bez straty będzie trudna, zwłaszcza w czasie kryzysu i niskiej podaży projektów. Jeśli ktoś jest mało doświadczonym użytkownikiem, może popełnić błąd, nie rozumiejąc specyfikacji sprzętu, którym jest zainteresowany. Musi polegać w tym przypadku na doświadczeniu dostawcy lub konsultanta. Jeśli kupi sprzęt „za duży”, może okazać się on rozwojowy. Jeśli kupisz sprzęt „za mały”, od początku nowy właściciel będzie z niego niezadowolony, gdyż nie spełni jego bieżących potrzeb. Zakup powinien być dobrą inwestycją. Kupować należy rozważnie i tylko sprzęt dobrej jakości, który także za kilka lat spełni oczekiwania rozwijającej się firmy. Mając długoletnią praktykę w kupowaniu, można wynegocjować sprzęt specjalnie dla nas wytworzony w cenie sprzętu standardowego. Dobre rozpoznanie rynku pozwoli uniknąć efektu przepłacenia za sprzęt przeciętnej jakości.

## Za i przeciw opcji najmu

Wiele spółek uważa, że wynajmując, zdają się na aktualną sytuację na rynku i nie zawsze wynajmują sprzęt, który jest dla nich optymalny. Ponadto jeśli się wynajmuje, to pieniądze w pewnym sensie przepadają, a mogłyby one posłużyć do zakupu czegoś własnego, co prędzej czy później będzie się posiadać. Za najmem przemawia argument w postaci: wynajmuję, kiedy naprawdę muszę. Dzięki temu nie ponosi się wysokich kosztów inwestycyjnych i można bardziej elastycznie gospodarować swoimi środkami. Jeśli w budżecie projektu mieści się wynajem brakującego sprzętu, jest to racjonalna decyzja. Zakupu dokona się wtedy, kiedy koniunktura się poprawi lub wtedy, kiedy można skorzystać z jakiejś okazji. Wadą najmu są stosunkowo wysokie koszty dzienne. Najem jest opłacalny, jeśli potrafimy sprawnie działać i ograniczyć czas trwania projektu do rozsądnej ilości dni. Wynajmując na miesiąc

i płacąc za miesiąc, korzystniej jest wykorzystywać sprzęt, pracując w trybie ciągłym 24/24, a nie tylko na jedną zmianę (12/24). W ciągłym trybie pracy wynajmowane na określony czas urządzenie będzie racjonalnie wykorzystane. Wynajmując, płacimy więcej za dzień niż wynoszą dzienne koszty amortyzacji liczone dla cyklu pięcioletniego. Wciąż jednak mamy pieniądze i możemy je wykorzystać do zapewnienia płynności firmy. Należy pamiętać, że realizując projekty o wysokich budżetach, musimy na ogół kredytować swojego klienta. Zapłata wpłynie najpewniej dopiero po kilkudziesięciu dniach od finalizacji zadania. A firma musi działać i przygotowywać się do następnych projektów. Wynajmując, zdobywa się doświadczenie i wiedzę w zakresie tego, jakiego sprzętu tak naprawdę potrzebujemy. Korzystając z usług kilku dostawców, można wybrać dla siebie optymalne rozwiązanie techniczne i po prostu w nie zainwestować. Korzystną cechą najmu jest jego elastyczność. Po jego zakończeniu można go odnowić lub z niego zrezygnować. Można też negocjować lepsze warunki z pozycji stałego najemcy lub też wymienić dotychczas wynajmowany model na nowocześniejszy lub korzystniejszy ze względu na parametry – alternatywnie – zacząć wynajmować tańszy produkt. Kontraktorzy, którzy sprzęt kupili, nie mają takich możliwości.

---

Zarówno dla inwestora,  
jak i dla wykonawcy celem  
nadrzędnym powinno być  
bezpieczeństwo i skuteczność  
działania

---

## Sprzęt nowy czy używany?

Zakup sprzętu używanego może być dobrą opcją na początek. Jednakże pod tym warunkiem, że kupuje się sprzęt używany (re-run) po przeglądzie producenta i na jego gwarancji. Daje to poczucie, że sprzęt jest w pełni sprawny i nie ma ryzyka pojawienia się wad ukrytych. Kupując sprzęt od poprzedniego właściciela, trzeba zaufać albo własnej intuicji lub swoim mechanikom, albo sprzedawcy, który rzetel-

nie poinformuje o jego stanie technicznym. Kupując od pośrednika, nabywca zdaje się na sporą dozę niepewności. Sprzęt używany często kosztuje połowę ceny nowego, a zawiera prawie wszystkie funkcjonalności produktu z fabryki. Oczywiście poza faktem, że ma już kilka (kilkanaście) tysięcy godzin na liczniku i o te tysiące godzin będzie można go krócej użytkować przed remontem kapitalnym lub też jego złomowaniem. Sprzęt używany dużo trudniej jest kupić na kredyt. Także firmy leasingowe niechętnie patrzą na taki produkt.

## Czy sprzęt, który kupiliśmy można wynajmować (innym)?

Oczywiście, jeśli dysponujemy jakimś sprzętem, możemy go wynająć firmie, z którą się współpracuje, a nawet konkurencyjnej. Można czerpać z tego tytułu dochody, podobnie jak się to ma z wynajmem mieszkania. Ta opcja może być wtedy, kiedy źle ocenione zostały możliwości, np. jeśli został kupiony sprzęt, którego po kilku miesiącach prosperity nie można wykorzystać do innej pracy. Przeszacowanie własnych potrzeb jest częstym przypadkiem w naszej branży. Wówczas wynajem partnerom biznesowym pozwoli zarobić na chociażby jego amortyzację. Sprzęt należy wynajmować z własną obsługą. Wtedy bowiem nabywca będzie mieć gwarancję, że jest on należycie eksploatowany. Od warunku tego można odstąpić tylko w przypadku sprawdzonych kontrahentów.

## Ryzyko inwestycyjne

W gospodarce wolnorynkowej żadna firma nie może sobie pozwolić na stagnację. Chwilowy zastój może skutkować powiększającym się dystansem do konkurencji. W przewidywalnym otoczeniu gospodarczym receptą na rozwój firmy jest wdrażanie projektów inwestycyjnych – innowacji (w skali mikro lub makro). Dotyczyć one mogą zarówno produktów, jak i technologii. To, ile i w jaki segment zainwestować, zależy od rozpoznania bieżącej sytuacji, jak i od średnioterminowych perspektyw dla rynku. Zaakceptowanie wyższego ryzyka może pozwolić na osiągnięcie potencjalnie wyższego zysku. Jednak nietrafiona inwestycja może okazać się, w najlepszym wypadku, trwałym zamrożeniem kapitału lub też stratą trudną do szybkiego odrobienia – w scenariuszu pesymistycznym. Istnieje przeświadczenie, że

inwestowanie to dyscyplina dla bogatych, a funkcjonowanie pod presją dużego zadłużenia jest dla osób, które stać na spłacanie kredytów. Paradoxs? Niekoniecznie. Firma musi posiadać zapas, który pozwoli przetrwać gorszy okres i spłacać zobowiązania nawet bez wysokich bieżących przychodów. W przemyśle wiertniczym służącym budowie rurociągów występuje ryzyko związane z przebiegiem prac konstrukcyjnych realizowanych w zmiennym otoczeniu geologicznym. W tych warunkach istnieje dodatkowy element niepewności wynikający z podejmowanych decyzji. Na skutek zmiennej koniunktury w inwestycjach rurociągowych poziom ryzyka inwestycyjnego jest nawet wyższy niż w innych sektorach branży budowlanej. Jeszcze kilka lat temu ryzyko to było kompensowane wyższą rentownością usług wiertniczych. W tej chwili, przy obecnym poziomie cen i narastającej niepewności na rynku, taka sytuacja należy do przeszłości.

### Wnioski płynące z praktycznych aplikacji zamkniętych układów cyrkulowania płuczki

Autorowi nie są znane przypadki projektów, w których zastosowanie prawidłowo skonfigurowanego układu płuczkowego nie przyniosło wykonawcy wymiernych korzyści. Korzyści te są tym większe i łatwiejsze do uzasadnienia, im skala projektu jest większa. Powyżej pewnego poziomu wskaźnika HDI brak zamkniętego obiegu jest nie tylko uciążliwy, kosztowny, ale i niecelowy. Poziom 3000 autor rekomenduje przyjmując jako próg optymalności. Jeśli spółka realizuje wiele projektów o takim lub wyższym wskaźniku trudności oznacza to, że powinna stosować urządzenia do

mechanicznej separacji faz i stowarzyszone z nimi komponenty (pompy szlamowe, rurociągi służące zamknięciu obiegu). W przypadku średnich i dużych maszyn wiertniczych (>450 kN siły ciągnięcia) nie znajdujemy przeciwskazań w powszechnym użyciu układów oczyszczania płuczki z fazy stałej. Urządzenia klasy 200–450 kN również wydają się dobrze przygotowane (trwałość wysokociśnieniowych układów płuczkowych) na zaadaptowanie płuczki o umiarkowanej zawartości drobnej fazy stałej. Pewien problem napotykamy w urządzeniach klasy poniżej 200 kN. Są one wyposażone w wysokociśnieniowe pompy tłokowe lub nurnikowe, które charakteryzują się niską tolerancją na abrazyjną fazę stałą. W takich przypadkach decyzja o zastosowaniu lub niestosowaniu układów separacji fazy stałej powinna być podjęta po szczegółowej analizie ekonomicznej całego procesu, uwzględniającej także zwiększoną konsumpcję części eksploatacyjnych urządzeń będących elementami obiegu płuczkowego.

Jak już zostało wcześniej stwierdzone, decyzja o zamknięciu obiegu płuczkowego niesie za sobą szereg konsekwencji technicznych i finansowych. Należy zainwestować w specjalistyczny sprzęt, trzeba nauczyć się go prawidłowo obsługiwać i eksploatować i konieczne jest wyszkolenie kilku osób w tym celu. Korzyści płynące z podjęcia takich decyzji są łatwe do wymienienia i przewyższają poziom zainwestowanych środków. Korzyści bezpośrednio to: niższa konsumpcja wody i materiałów płuczkowych, niższe koszty utylizacji i rekultywacji terenu, skrócony znacząco czas potrzebny na przygotowanie i kondycjonowanie płuczki. Korzyści pośrednich jest jeszcze więcej – są to np.: skrócenie całkowitego



## Long and Large Diameter HDD Crossings

Project Planning and Management  
Risk and Quality Analysis  
Drilling Equipment  
Downhole Tooling  
Pumps  
Mud Systems  
Paratrack Guidance Service  
Fluid Service  
Lab Equipment

Products and services of the following companies:



Contact:

Tel. +48 601 717 600

E-mail: [roe@robertosikowicz.com](mailto:roe@robertosikowicz.com)

[www.robertosikowicz.com](http://www.robertosikowicz.com)

czasu trwania robót wiertniczych, wyższa osiągnięta jakość wierconego otworu, łatwiejsze wdrożenie procesów optymalizacyjnych, skuteczniejszy monitoring i zarządzanie fazą stałą, niższe tarcie notowane w otworze, a w konsekwencji niższe obciążenia notowane na przewodzie wiertniczym we wszystkich etapach prac. Z osiągnięciem wyższej jakości otworu wiąże się niższe ryzyko projektu. Zarówno dla inwestora, jak i dla wykonawcy celem nadrzędnym powinno być bezpieczeństwo i skuteczność działania. Zamknięcie obiegu płuczkowego jest więc rekomendowanym i uzasadnionym działaniem w większości przypadków.

---

Zamknięcie obiegu  
płuczkowego jest  
rekomendowanym  
i uzasadnionym działaniem  
w większości przypadków

---

## Podsumowanie cyklu artykułów

Na podstawie wieloletniej obserwacji rynku da się wyodrębnić pięć prawidłowości: konkurencja na rynku wykonawczym wzrasta; poziom cen jednostkowych, uzyskiwanych z realizacji standardowych projektów spada; stabilizują się ceny komponentów do produkcji płynu wiertniczego, wzrastają natomiast koszty pozyskania wody do wytwarzania płuczki oraz, co być może w niniejszej analizie jest najistotniejsze, szybko narastają koszty utylizacji szlamu pozostałego po projekcie HDD. Szósta prawidłowość jest pochodną po stopniu zaawansowania technologii: mamy coraz więcej mobilnych instalacji, służących mechanicznej separacji faz (układów oczyszczania płuczki). Tendencja jest wyraźna w segmencie średnich i dużych urządzeń wierzących (od 450 kN siły ciągnięcia wwyż). W segmencie urządzeń małych jest to jednak wciąż bardziej wyjątek niż reguła. W przyszłości można się spodziewać wzrastającego popytu na urządzenia służące do prawidłowego zagospodarowania płuczki, w tym zintegrowane systemy separacji, transferowe pompy szla-

mowe, szybkoobrotowe wirówki dekantacyjne do odwadniania fazy stałej, stacje flokulacyjne wspomagające odwirowanie płuczki. Rozwój i skuteczna promocja techniki zamkniętego obiegu płuczkowego w obszarze HDD będzie możliwa pod pewnymi warunkami, a mianowicie:

- pojawi się świadomość po wszystkich stronach procesu inwestycyjnego, że zamykanie obiegu dzięki urządzeniu do mechanicznej separacji faz jest jedynym skutecznym rozwiązaniem dla ograniczania ilości pozostawionych po procesie odpadów wiertniczych i racjonalizacji ponoszonych kosztów;
- będą funkcjonowały powszechnie respektowane przepisy zakazujące utylizacji szlamu w sposób nieuprawniony;
- w dokumentacji projektowej oraz w szczegółowej specyfikacji warunków zamówienia pojawiają się zapisy o konieczności stosowania urządzeń zamykających obieg o parametrach (przepustowości) zgodnej z klasą planowanego projektu. Obecność takich urządzeń i skuteczność ich działania powinna być weryfikowana przez inspektów nadzoru wynajętych przez inwestora;
- w spółkach wiertniczych będą pieniądze (wolne środki) na inwestycje poczynione w tym obszarze. Warunkowane jest to jednak koniunkturą na rynku i poziomem cen za usługi wiertnicze;
- pojawiają się środki na szkolenie zarówno managerów, jak i załóg wiertniczych w zakresie selekcji komponentów i obsługi urządzeń płuczkowych;
- płyn wiertniczy będzie posiadał, w rozumieniu spółek wiertniczych, tę samą rangę, co urządzenie wiertnicze, przewód i osprzęt wgłębnny.

W trzech poprzednich artykułach opublikowanych na łamach „Inżynierii Bezwykopowej” w 2016 r. omówiona została idea zamkniętego obiegu płuczkowego, wskazane zostały parametry, jakie musi spełniać tego typu instalacja, przedstawiono niezbędne komponenty systemu i podstawowe zasady ich eksploatacji. Część czwarta została poświęcona symulacji ponoszonych wydatków inwestycyjnych i realnych kosztów płuczkowych dla trzech grup potencjalnych projektów. Symulacja wykonana za pomocą zaproponowanego modelu udowodniła, że ideę zamkniętego obiegu płuczkowego nie tylko warto, ale i należy wdrożyć. Uwaga zosta-

ła zwrócona również na fakt, że współcześnie projektowane zamknięte układy płuczkowe powinny cechować się adekwatną do oczekiwań przepustowością, prostotą obsługi, wysokim stopniem automatyzacji i niezawodnością działania. <

## Literatura

- [1] API Recommended Practice 13C. Fifth Edition 2014.
- [2] Baker Hughes Drilling Fluids: Drilling Fluids Reference Manual – revised edition, 2006.
- [3] Drilling Fluids Processing Handbook: Elsevier Inc. London, 2005.
- [4] M-I Drilling Fluids: Solids Control, Cuttings Management and Fluids Processings.
- [5] Osikowicz R.: Koszty – Jakość – Ryzyko. Artykuł wygłoszony w trakcie III Seminarium Technicznego ROE w Krakowie. Grudzień, 2016.
- [6] Osikowicz R.: Tendencje obserwowane w rozwoju HDD w Polsce i na świecie. Artykuł wygłoszony w trakcie XII Konferencji Inżynierii Bezwykopowej w Krakowie, 11 czerwca 2014.
- [7] Osikowicz R.: Zarządzanie jakością otworu wiertniczego. Inżynieria Bezwykopowa 1/2015.
- [8] Osikowicz R.: Ocena aktualnego stanu techniki HDD w Polsce. Referat wygłoszony w trakcie XIII Konferencji Inżynierii Bezwykopowej w Krakowie, 10 czerwca 2015.
- [9] Osikowicz R. Zamknięty obieg płuczkowy cz. I i II, III Inżynieria Bezwykopowa 1/2016, 2/2016 i 3/2016.
- [10] Petiet R.: Closed-loop Mud Systems in HDD Technology. Referat wygłoszony w trakcie II Seminarium Technicznego ROE w Krakowie. Grudzień, 2015.
- [11] Petiet R., de Jong, B.: Analiza ekonomiczna stosowania systemów separacji. Materiały własne firmy Normag.
- [12] Robinson L.: Economic Consequences of Poor Solids Control. Referat wygłoszony w trakcie Konferencji AADE w Houston, TX. Kwiecień, 2006.
- [13] Shale Shakers and Drilling Fluids Systems. American Association of Drilling Engineers. Texas, 2014.
- [14] Smith A. i inni: The True Cost of Process Automation. Referat wygłoszony w trakcie Konferencji AADE w Houston, TX. Kwiecień, 2010.