

Bentonit jako podstawowy materiał strukturotwórczy płuczek wiertniczych w technologii HDD

Płuczki wiertnicze są złożonymi wieloskładnikowymi suspensjami, zaprojektowanymi do spełniania rozmaitych funkcji podczas operacji wiertniczych. Zmieniające się otoczenie geologiczne, na działanie którego płuczki są wystawione, zmusza do kontroli parametrów płynu stosowanego do wiercenia

Jacek Jaworski
HEADS sp. z o.o.

Jednym z podstawowych problemów technicznych przy wykonywaniu horyzontalnych przewiertów sterowanych jest transport zwiercin od czoła narzędzia wierzącego na powierzchnię. Zadanie to w wiertnictwie realizowane jest przez zastosowanie płuczki wiertniczej. Parametry technologiczne zastosowanego płynu powinny zapewnić taki stopień oczyszczenia otworu, by umożliwić instalację rurociągu. Podstawowy wpływ na efektywność transportu pojedynczej zwierciny mają parametry reologiczne (lepkość) płuczki wiertniczej, prędkość przepływu, jak również siła wyporu działająca na nią, zależna w bezpośredni sposób od gęstości płynu. W szeroko pojętych technologiach bezwykopowych ze względu na aspekty środowiskowe dominują płuczki wodnodispersyjne, czyli takie, w których fazę ciągłą stanowi woda, natomiast odpowiednie parametry płynu zapewniają dodatki materiałów płuczkowych. Środki te można w dużym skrócie podzielić na materiały strukturotwórcze oraz substancje służące poprawie konkretnych parametrów płynu zarówno fizycznych, jak i chemicznych. Strukturotwórczą rolę w systemach wodnodispersyjnych spełniają materiały ilaste i polimery zarówno pochodzenia naturalnego, jak i syntetyczne. Pozostałe środki, jak materiały do obróbki filtracji, detergenty, środki smarne, materiały do likwidacji zaników płuczki, materiały do kontroli pH i usuwania szkodliwych zanieczyszczeń chemicznych oraz wiele innych, składają się na paletę składników do tworzenia rozbudowanych systemów płuczkowych.

Wiodącym tematem niniejszego opracowania będzie zastosowanie bentonitu jako podstawowego materiału strukturotwórczego płuczek wiertniczych w technologii HDD. Wyjaśnienie przyczyn popularności bentonitu w technologii płuczkowej wynika z naturalnych cech bentonitu i jego unikatowych właściwości. Bentonit jest ilem zbudowanym głównie z minerałów grupy smektytu, z których najbardziej znanym jest montmorylonit. Może również zawierać w swoim składzie niewielkie domieszki minerałów akcesorycznych, które jednak rzadko mają wpływ na jego zachowanie w kontakcie z wodą. Chemicznie montmorylonit stanowi uwodniony glinokrzemian magnezu z niewielką zawartością metali alkalicznych. Cechą, która decyduje o jego

niezwykłych własnościach jest warstwowa budowa siatki krystalicznej minerału. Posługując się pewnym uproszczeniem, można stwierdzić, że woda wnikać pomiędzy warstwy montmorylonitu doprowadza do rozpadu minerału na pojedyncze płytki o rozmiarach koloidalnych. Ułatwieniem w zobrazowaniu tego procesu może być przykład ryzy papieru, która stanowi niewielką paczkę, a po rozłożeniu na pojedyncze kartki może pokryć bardzo dużą powierzchnię. Wskutek kontaktu z wodą jednego grama bentonitu może powstać 800 m² powierzchni właściwej zdyspergowanego bentonitu. Dodatkową cechą, decydującą o przydatności bentonitu jest to, że na powierzchni i krawędziach każdej pojedynczej warstewki minerału znajdują się naładowane elektrycznie kationy wymienne. Pakiety minerału dyspergując w wodzie łączą się przy pomocy tych ładunków, tworząc nieuporządkowaną strukturę przypominającą domek z kart. Tak się dzieje podczas dyspergowania surowego bentonitu. Celowe wprowadzenie do tej struktury związków chemicznych, zarówno organicznych jak i nieorganicznych, pomaga uporządkować te zawiesiny i nadać im pożądane cechy. Związkami takimi mogą być nośniki kationów wymiennych, polimery sieciujące, flokulanty, dyspersanty oraz wiele innych substancji z zakresu inżynierii płuczkowej. Płuczki wiertnicze zbudowane na bazie bentonitu tworzą cieczy strukturalne o parametrach reologicznych, które można modyfikować w zależności od potrzeb.

Płyny takie jak woda, dla których lepkość jest wprost proporcjonalna do prędkości ścinania, nazywane są płynami newtonowskimi. Płuczki wiertnicze na bazie bentonitu z fizycznego punktu widzenia zaliczają się do płynów nie-newtonowskich, to znaczy takich, w których zmiana lepkości nie jest proporcjonalna do prędkości ścinania. Lepkość w płuczkach opartych na bentonicie zmienia się w zależności od prędkości ścinania. Stosując następną uogólnienie można przyjąć, że wraz ze zmianą prędkości przepływu płuczki jej lepkość zmienia się w znaczący sposób, a do zapoczątkowania przepływu należy przyłożyć pewne naprężenie zwane granicą płynięcia. Zależność lepkości od prędkości ścinania nazywamy charakterystyką reologiczną płuczki. Do stworzenia charakterystyki reologicznej pły-



Fot. 1. | Próbk okruchowe Daugava Latvia

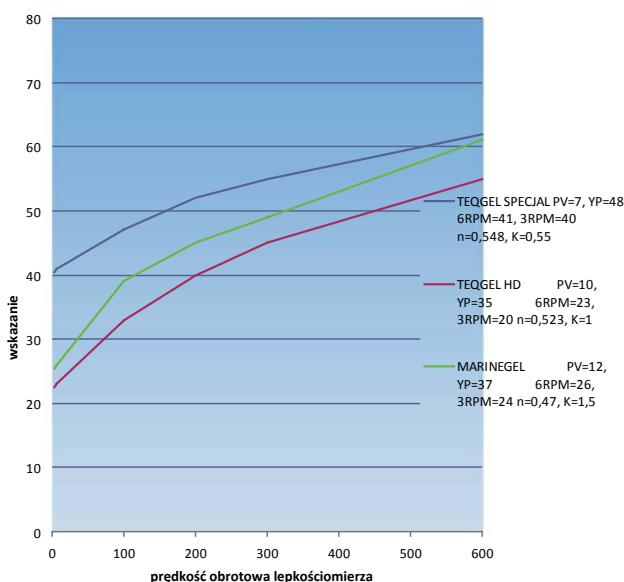


Fot. 2. | Próbk okruchowe z sita na projekcie Daugava River

nu możemy posłużyć się dostępnymi na rynku modelami reometrów obrotowych o szerokich zakresach pomiarowych. Istnieje kilka teoretycznych modeli reologicznych pozwalających kalkulować straty ciśnienia w całym obiegu płuczkowym, armaturze napowierzchniowej, przewodzie wiertniczym, dyszach narzędzia i przestrzeni pierścieniowej między ścianą otworu a przewodem. Dla prędkości przepływu płuczki w przestrzeni pierścieniowej, z jakimi mamy do czynienia w technologii HDD, najlepiej przewidującym zachowaniem płuczki jest Model Herschel-Bulkleya. Zastosowany do kalkulacji strat ciśnień dla systemów płuczkowych stosowanych w przewiertach sterowanych daje wyniki najbardziej zbliżone do rzeczywistych. Korelacja obliczeń teoretycznych z odczytami czujników ciśnienia w otworze, stosowanych często na dużych projektach, pozwala na przewidywanie strat ciśnień w przestrzeni pierścieniowej. Takie podejście jest absolutnie kluczowe dla przewidywania rozkładów ciśnień w otworze wiertniczym i zapobieganiu przebićom płuczki na powierzchni.

Dla zobrazowania różnic w profilach reologicznych różnych systemów płuczkowych posłużyć się można wykresem porównawczym ich profili reologicznych, gdzie parametrem odniesienia będzie lepkość pozorna płuczki 30 (rys. 1).

Wymienione powyżej w skrócie cechy bentonitu pozwoliły zastosować ten materiał jako główny lub wspierający materiał strukturotwórczy dla wielu systemów płuczkowych w technologii horyzontalnych przewiertów sterowanych.



Rys. 1. | Właściwości reologiczne bentonitów produkowanych przez HEADS

Systemy płuczkowe oferowane przez firmę HEADS sp. z o.o są dostosowane do potrzeb klientów z różnych segmentów rynku. Systemy te są przyjazne dla środowiska naturalnego i bezpieczne dla używających je ludzi.

Najbardziej rozpowszechnionym systemem, który jest odpowiedzią na wymagania użytkowników małych i średnich urządzeń, jest tak zwany system „jednoworkowy”. Produkowany jest w naszej firmie w postaci dwóch produktów: TEQGEL HD i BESTBORE. Cechą, od której wziął potoczną nazwę jest to, że przygotowanie 1 m³ płuczki wiertniczej o parametrach pozwalających wiercić w standardowych warunkach uzyskuje się przy użyciu jednego worka bentonitu. System ten zawiera w sobie kompozycje polimerowe modyfikujące charakterystykę reologiczną bentonitu, zapewniając transport zwiercin, jak i ich zawieszenie po zatrzymaniu cyrkulacji płuczki w otworze. Jest to system łatwy w zastosowaniu, łatwo się miesza na mieszalnikach hydraulicznych, a czas dyspersji nie przekracza 15 minut, co zadecydowało o niezwyklej popularności tego typu produktów. Niskie koncentracje materiału powodują obniżenie kosztów transportu w przeliczeniu na 1 m³ płuczki. Niski początkowy ciężar płuczki powiązany z małą koncentracją fazy stałej daje wysoki postęp wiercenia i pozwala zaabsorbować dość duże ilości fazy stałej z przewiercanych formacji. Ograniczeniem w stosowaniu tego typu płuczek jest to, że w warunkach trudnych, gdzie wymagane są podwyższone koncentracje bentonitu, profil przepływu takich systemów generuje dość duże opory. Fakt ten ogranicza zastosowanie takich systemów na dużych projektach, generując znaczne straty ciśnienia w otworze, a stosowany nieumiejętnie, podnosi ryzyko ucieczek płuczki.

Odpowiedzią na takie ograniczenia jest system bentonitowy TEQGEL SPECIAL. Jest to kompozycja o doskonałych parametrach reologicznych, pozwalająca na zastosowanie go praktycznie w większości dużych projektów HDD. Doskonale parametry płuczki w niskich prędkościach ścinania pozwalają na transport dużych zwiercin nawet przy bardzo niskich prędkościach przepływu płuczki, nawet około 1 m/min (fot. 1, fot. 2). Profil reologiczny TEQGEL SPECIAL pozwala łatwo kontrolować ciśnienie wgłębne w otworze, co jest warunkiem utrzymania cyrkulacji płuczki na dużym dystansie. Przykładem może tutaj być wiercenie pilotowe w formacjach luźnych na projekcie w Barreiro (Portugalia), gdzie cyrkulacja została utrzymana na dystansie 1760 m, to jest prawie do końca wiercenia pilotowego. Wiercenie było wykonywane pod dnem zatoki (fot. 3). Dla uzyskania wysokich parametrów reologicznych płuczki w dolnych zakresach prędkości ścinania, wystarcza utrzymywanie pH płynu wiertniczego w optymalnym zakresie. Te parametry reolo-

Fot. 3. | Wiercenie projekt Bareiro



giczne pozwalają na zapewnienie bardzo dobrego stopnia oczyszczenia otworu i transportu dużych zwiercin na długim dystansie. Wielkości te są porównywalne z płuczkami opartymi na bazie MMO (Mix Metal Oxide), ale przewagą systemu TEQGEL SPECIAL jest znacznie szerszy zakres pH, w którym system jest stabilny, jak również korzystniejsza cena 1 m³ płuczki. Proces oczyszczania ze zwiercin na systemach separacji fazy stałej płuczki opartej na TEQGELU SPECIAL przebiega w sposób bezproblemowy. Pozwala to zwiększyć przepustowość systemu separacji w stosunku do innych rodzajów płuczek. System ten również jest szybki w dyspersji i przygotowaniu oraz może być stosowany bez nadzoru inżyniera płuczki, przez odpowiednio przeszkoloną obsługę. W przypadku wiercenia w warstwach ilastych dodatkową zaletą tego systemu jest łatwa konwersja płuczki w system inhibitowany GESO z możliwością powrotu, gdyby zaszła taka konieczność, znowu w system TEQGEL SPECIAL.

Przyczyną stosowania systemów inhibitowanych są niekontrolowane wzrosty lepkości płuczek wiertniczych pod wpływem fazy stałej. Profil reologiczny płuczki zmienia się pod wpływem fazy stałej, przechodzącej do płuczki z przewierczanych warstw. Zmiana lepkości płuczki nie zawsze następuje proporcjonalnie w całym profilu. Rozmiar zmian lepkości w różnych częściach profilu reologicznego jest uzależniony od aktywności fazy stałej. Wyznacznikiem aktywności może być powierzchnia właściwa zwiercin powstałych w procesie zwiercania. Najczęściej powierzchnię właściwą definiuje się jako wielkość powierzchni zewnętrznej substancji stałej przypadającej na masę tej substancji. Z definicji tej wynika, że powierzchnia ta wzrasta wraz ze wzrostem rozdrobnienia skały, a wraz z tym następuje wzrost aktywności ziaren. Za fazę nieaktywną, mającą niewielki wpływ na takie zmiany, można uznać piaski, pyły i skały związane pochodzenia magmowego. Do warstw aktywnych zaliczyć można skały zawierające minerały o budowie pakietowej, jak minerały grupy smektytu, illitu, kaolinu. Do grupy tej zalicza się skały ilaste, pyły, większość łupków ilastych oraz margli. Często pod wpływem długotrwałej hydratacji oraz wtórnego rozdrabniania wynikającego z cyrkulacji, następu-



Fot. 4. | Przekroczenie rzeki Olzy, Cieszyn – aplikacja systemu GESO

je wzrost aktywności fazy stałej w otworze. Takie zachowanie możemy obserwować na długo trwających projektach, gdzie wielokrotna cyrkulacja przez systemy oczyszczania płuczki oraz pompy płuczki, powoduje rozdrobnienie i powstanie quasi-koloidalnej fazy silnie wpływającej na parametry płynu wiertniczego. Wzrost lepkości płuczki pod wpływem aktywnej fazy stałej jest zazwyczaj dość niekorzystny. Parametry reologiczne przyrastają w całym profilu prędkości ścinania. Efektem tego jest wzrost strat ciśnienia w obiegu. Płuczka wiertnicza o dużej zawartości aktywnej fazy stałej przestaje być „przetaczalna” często już po osiągnięciu gęstości 1,25 kg/l. Taki ciężar właściwy odpowiada zawartości 430 kg fazy stałej lekkiej na 1 m³ płuczki. Standardowym działaniem stosowanym przez większość firm wiertniczych jest zrzucanie części płynu z obiegu i zastępowanie jej płuczką świeżą o właściwych parametrach, co pozwala kontynuować proces wiercenia. Przy wysokiej aktywności warstw ilastych takie działanie wystarcza na krótki okres, powodując przerwy w wierceniu na obróbkę płuczki i podnosząc koszty utylizacji zbędnego płynu. Rozcieńczenie płuczki wiertniczej o wysokiej zawartości aktywnej fazy stałej zwykłą wodą daje efekt gwałtownego spadku parametrów reologicznych dla niskich zakresów prędkości ścinania. Efektem tego jest drastyczne pogorszenie transportu urobku z otworu i problemy technologiczne związane ze wzrostem momentu obrotowego i sił osiowych w przewodzie wiertniczym. Przy użyciu prostych przyrządów do

Ciężar właściwy [kg/m ³]	1,40 – 1,45
Lepkość plastyczna PV [cP]	6 – 7
Granica płynięcia YP [lbs/100ft ²]	40 – 45
Żele [lbs/100ft ²]	35 – 40
Odczyt przy 6RPM [lbs/100ft ²]	38 – 40
Odczyt przy 3RPM [lbs/100ft ²]	35 – 38
API Fluid Loss ml/30s	10 – 15

Tab. 1. | Przykładowe parametry systemu płuczkowego GESO

pomiarów lepkości, takich jak lejek Marsha, płuczka taka pozostaje poza kontrolą. Paradoksalnie pomiary lepkości umownej przy pomocy tego narzędzia pozostają na wysokim poziomie, co nie przekłada się na rzeczywiste parametry reologiczne płynu.

Optymalnym rozwiązaniem w takiej sytuacji jest zastosowanie systemu inhibitowanego GESO (tab. 1). Działanie tego systemu w pewnym uproszczeniu polega na modyfikacji fazy ilastej w płuczce tak, aby doprowadzić do „wysuszenia” pakietów ilastych i spowodować w efekcie spadek lepkości płynu. Taki skutek daje wprowadzenie do płuczki wiertniczej odpowiednich kationów metali, najczęściej wapnia i potasu (inhibicja kationowa). Zajmują one miejsca innych jonów wymiennych w sieci krystalicznej minerału, zmieniając zachowanie samych pakietów, jak i retencję wody. Kationy wprowadza się przy pomocy inhibitora, który jest nośnikiem jonów wymiennych. System inhibitowany GESO jest płynem wiertniczym, pozwalającym zaabsorbować do płuczki takie ilości fazy stałej, że możemy zwiększyć ciężar płuczki wiertniczej podczas wiercenia powyżej 1,45 kg/l. Koncentracja lekkiej fazy stałej w płuczce w systemie GESO może osiągnąć powyżej 770 kg ilu na 1 m³ płuczki. Porównując tę koncentrację z klasycznymi systemami, widać że zdolność do absorpcji fazy stałej wzrasta o około 80 %. Taka koncentracja fazy stałej w płuczce znacząco redukuje koszty wywozu płuczki zużytej i wydaje się dobrą alternatywą dla wierceń mikrotunelowych w warstwach ilastych, gdzie utylizacja płynu jest coraz większym problemem. Parametry reologiczne tego systemu są bardzo korzystne,

	600	300	200	100	6	3	PV	YP
Woda słodka	62	55	52	47	41	40	7	48
+5g NaCl/l	58	51	48	44	40	38	7	44
+10g NaCl/l	53	46	42	40	38	36	7	39
+15g NaCl/l	49	43	41	39	37	35	6	37

Tab. 2. | Typowe parametry TEQGEL SPECIAL i wpływ zasolenia

Ciężar właściwy [kg/m ³]	1,1 – 1,25
Lepkość plastyczna PV [cP]	12 – 18
Granica płynięcia YP [lbs/100ft ²]	30 – 45
Żele [lbs/100ft ²]	25 – 35
Odczyt przy 6RPM [lbs/100ft ²]	30 – 35
Odczyt przy 3RPM [lbs/100ft ²]	25 – 30
API Fluid Loss ml/30s	9 – 14

Tab. 3. | Przykładowe parametry systemu płuczkowego MARINEGEL

pozwalają wytransportować bardzo duże zwierciny nawet przy małych prędkościach przepływu płuczki. Substancje inhibujące obecne w płuczce wpływają na ściany otworu, ograniczając ich pęcznienie oraz oklejania narzędzi wierzących ilem (fot. 4). Separacja zwiercin przy systemie GESO przebiega równie łatwo jak przy systemie TEQGEL SPECIAL, nie powodując przeciążenia sit wibracyjnych oraz ich zaklejania przez fazę stałą. System GESO wymaga nadzoru inżyniera płuczkowego oraz pomiarów zawartości inhibitora w płuczce i w filtracji płuczki, co pozwala na utrzymywanie optymalnych parametrów reologicznych płynu.

Stosowanie klasycznych systemów bentonitowych takich jak TEQGEL HD, BESTBORE, TEQGEL SPECIAL, jest ograniczone w przypadku konieczności przygotowywania płuczek wiertniczych na bazie wody morskiej lub innych solanek. Systemy te są odporne na degradujące działanie soli w przypadku pierwotnego przygotowania płuczki na wodzie słodkiej. Odporność ta jest na tyle duża, że pozwala na dość bezproblemowe wiercenie w gruntach wysyconych morską wodą, warunkiem jednak jest dostęp do słodkiej wody zarobowej (tab. 2). Sytuacje, w których zmuszeni jesteśmy stosować wodę słoną jako bazę do tworzenia płuczki, możemy rozwiązać stosując system MARINEGEL, który jest zaprojektowany do dyspergowania w solankach. MARINEGEL to kompozycja słonolubnych składników; minerałów ilastych i polimerów (tab. 3). Profil reologiczny jest wystarczający do prawidłowego transportu urobku z otworu oraz dobrego oczyszczania na systemach separacji. Obsługa systemu jest stosunkowo prosta, nie wymaga nadzoru serwisu płuczkowego. Kontrola profilu reologicznego tego systemu w zasadzie polega na dostosowaniu koncentracji do warunków geologicznych i kontrolowaniu lepkości. System MARINEGEL stanowi istotną alternatywę dla prac HDD w warunkach wierceń przy użyciu wody morskiej. W tym miejscu można wspomnieć również o systemie biopolimerowym TEQBIO, który również dobrze współpracuje z wodą morską i umiarkowanie agresywnymi solankami. TEQBIO jest systemem, dzięki któremu można również prowadzić wiercenia pod instalacje drenażowe, ponieważ niska koncentracja fazy stałej w płuczce zapobiega kolmatacji strefy przyotworowej.

PODSUMOWANIE

Płuczki wiertnicze są złożonymi wieloskładnikowymi suspensjami, zaprojektowanymi do spełniania rozmaitych funkcji podczas operacji wiertniczych. Ciągłe zmieniające się otoczenie geologiczne, na działanie którego płuczki są wystawione, zmusza nas do kontroli parametrów płynu stosowanego do wiercenia. Własności reologiczne płuczki są kluczowym parametrem, mającym wpływ na wiele zjawisk i funkcji płynu wiertniczego, jak oczyszczanie otworu, kontrola ciśnień, kontrola tarcia w otworze. Wysokie parametry płuczek wiertniczych w dolnych zakresach profilu reologicznego LSRV sprzyjają efektywności procesu wiercenia. Systemy płuczkowe HEADS zaprojektowano w celu rozwiązywania problemów technologicznych klientów, uwzględniając ich możliwości techniczne. Optymalne parametry naszych systemów płuczkowych, opartych o bentonit, pozwalają osiągnąć doskonałe wskaźniki ekonomiczne oraz prowadzić prace wiertnicze w technologii HDD w sposób bezpieczny dla ludzi i środowiska. ■

HORIZONTAL ENGINEERING AND DRILLING SERVICE



PEWNOŚĆ SUKCESU

HEADS jest dynamicznie rozwijającą się firmą działającą na rynku europejskim od 1995 roku. Od 1997 roku wspieramy i szeroko propagujemy rozwój technologii bezwykopowych w Polsce. W tym czasie dzięki indywidualnie wypracowanym oryginalnym technologiom osiągnęliśmy wiodącą pozycję na rynku kierunkowych przewiertów horyzontalnych i mikrotunelowania.

SYSTEM BENTONITOWY TEQGEL SPECIAL

Wysokiej jakości bentonit wiertniczy znajdujący zastosowanie w wielkośrednicowych przewiertach horyzontalnych i mikrotunelowaniu.

SYSTEM INHIBITOWANY GESO

System płuczki skutecznie stosowany do pęczniejących formacji ilastych zapobiega akumulacji aktywnych zwiercin w otworze.

SYSTEM BIOROZKŁADALNY TEQBIO

Modyfikowana mieszanka polimerów biorozkładalnych przeznaczonych dla kierunkowych wierceń horyzontalnych oraz wierceń hydrogeologicznych.

SYSTEM BENTONITOWY MARINEGEL

Kompozycja bentonitowo-polimerowa do sporządzania płuczek wiertniczych opartych na wodzie morskiej.



SYSTEMY DO SPORZĄDZANIA PŁYNU WIERTNICZEGO

Oferowane systemy do przygotowywania płynu wiertniczego są zaprojektowane dla urządzeń działających w trudnych warunkach pracy. Są w stanie przygotować płyn wiertniczy o bardzo wysokich parametrach reologicznych, czego nie gwarantuje większość standardowych urządzeń tego typu. Płyn wiertniczy może być mieszany i przetłaczany w sposób ciągły.

SYSTEMY DO OCZYSZCZANIA PŁUCZKI WIERTNICZEJ

Firma HEADS produkuje i dostarcza urządzenia oczyszczające płyn wiertniczy dostosowane do specyfiki technologii, w ramach których mają być zastosowane. System wykorzystywany jest na większości dużych i średnich urządzeniach wiertniczych i mikrotunelowych. Kontrola zawartości fazy stałej jest podstawowym czynnikiem gwarantującym bezpieczne prowadzenie prac wiertniczych przy możliwie najniższych kosztach związanych z przygotowaniem płuczki.