

Rafał Beliczyński*, Piotr Suszko*

MONITOROWANIE WPŁYWU WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA ZUŻYCIE ELEMENTÓW ZESTAWU WIERTNICZEGO I SPOSOBY JEGO OGRANICZENIA W EXALO DRILLING S.A.

Streszczenie: Celem artykułu jest przedstawienie szkodliwego wpływu na zestaw wiertniczy takich czynników jak korozja chemiczna, wpływ H₂S oraz czynników mechanicznych. Dokładna analiza, a także studiowanie przyczyn uszkodzeń zestawu przewodu wiertniczego pozwalają na opracowanie procedur poprawiających żywotność sprzętu wiertniczego, a tym samym wskaźniki bezpiecznego wiercenia.

W procesie wiercenia kolumna zestawu wiertniczego poddawana jest siłom rozciągającym, zginającym, skręcającym, ściskającym, tarcia oraz niekorzystnemu wpływowi płynów wypełniających otwór wiertniczy, zarówno tym technologicznym, jak i tym pochodzącym z górotworu.

W celu przeciwdziałania potencjalnym uszkodzeniom stosowany jest sprzęt o wyższych parametrach wytrzymałościowych. Musi być on odporny na szybkie zużycie, często jest wykonany z droższych materiałów, niejednokrotnie produkowany według zaawansowanych technologii, z jednoczesnym uwzględnieniem ograniczeń techniczno-technologicznych, ekonomicznych i geologicznych. Monitorowanie wpływu zjawiska korozji, któremu poddawany jest zestaw przewodu wiertniczego, ma priorytetowe znaczenie na bezawaryjne wiercenie. W kolumnie zestawu wiertniczego umieszczane są tzw. pierścienie korozyjne. Analiza ubytku ich wagi pozwala na bieżące korygowanie składu płuczki, przez dodawanie do niej np. inhibitorów korozji.

Słowa kluczowe: zużycie, zestaw wiertniczy, technologia wiercenia

* Exalo Drilling S.A.

1. WPROWADZENIE

Rozwój technologii i techniki w wiertnictwie, który umożliwia projektowanie konstrukcji otworów jeszcze kilka lat temu niewykonalnych, pozwala obecnie na wykonywanie wierceń w coraz to trudniejszych warunkach geologicznych, a ich głębokość i szybkość jest coraz większa. Aktualnie można wiercić otwory horyzontalne o odejściu mierzonym kilometrami, wielodenne i przecinające się.

Wiercenie takich otworów wymaga stosowania nowych technologii, np. systemów „Rotary Steerable System” (RSS) i specjalistycznych płuczek wiertniczych. Te technologie często powodują zwiększone zużycie sprzętu i narzędzi wiertniczych.

Spółka Exalo Drilling S.A. na podstawie własnych doświadczeń ogranicza to niekorzystne zjawisko, wprowadzając system obserwacji i przeciwdziałania zużyciu elementów zestawów wiertniczych. Odpowiednie służby w sposób ciągły monitorują w trakcie wiercenia wpływ czynników mechanicznych na stan dłużycy wiertniczej – nie dopuszczając do krytycznego zużycia zbrojenia zworników i innych elementów zestawu przewodu wiertniczego. Bieżące sprawdzanie składu i parametrów płuczki pozwala na monitorowanie wpływu zjawiska korozji na zestaw przewodu wiertniczego i ma priorytetowe znaczenie na bezawaryjne wiercenie. W kolumnie zestawu wiertniczego umieszcza się pierścienie korozyjne. Analiza ubytku ich wagi oraz odpowiednia metodologia pozwala na bieżące korygowanie właściwości płuczki, przez dodawanie np. inhibitorów korozji.

Kluczową rolę w procesie wiercenia odgrywa płuczka wiertnicza o właściwie zaprojektowanej formule. Pozwala ona zapewnić optymalne parametry techniczno-technologiczne w trakcie głębinienia otworu. Odpowiednia receptura płuczki, stosowanie środków smarnych umożliwiają zmniejszenie sił tarcia w otworze zarówno w odniesieniu do zestawu wiertniczego, jak i zapuszczanych kolumn rur okładzinowych.

2. METODY KONTROLI PROCESÓW KOROZJI W PRZEWODZIE WIERTNICZYM

W przemyśle naftowym najczęściej stosowaną metodą określania wpływu środowiska, w którym pracuje zestaw wiertniczy, na jego zużycie, jest metoda wykorzystująca pierścienie korozyjne. Szczegółowa procedura, opisująca proces postępowania w tej metodzie opisana jest w rekomendacjach API-RP-13B.

Korozję dzielimy na powierzchniową i erozyjną.

Korozja powierzchniowa

Rozwój korozji na powierzchni przewodu wiertniczego i urządzeń wglębnych to:

- korozja ogólna, czyli jednolity atak na całej powierzchni rury, ujawniający się w zmniejszaniu grubości ścianki i osadzeniu się produktów korozji;

- korozja miejscowa, która może być zlokalizowana na małym odcinku oraz tworzy zagłębienia na powierzchni, wżery i pittingi (punktowe głębokie wżery); każdy wżer może zapoczątkować korozję naprężeniową i doprowadzić do zniszczenia materiału; pittingi znajdują się najczęściej pod warstwą produktów korozji, wywołują je najczęściej chlorki, tlen, dwutlenek węgla i siarkowodór lub ich kombinacje.

Korozja erozyjna

Wiele metali tworzy warstewkę ochronną tlenkową, która przy dużej szybkości przepływu cieczy zostaje zrywana i odsłania czysty metal reagujący ze środowiskiem korozyjnym. Kombinacje erozji i korozji wywołują szybkie niszczenie materiału. Atak korozji na powierzchni można wykryć i ocenić, zakładając próbki kontrolne w przestrzeń gwintową czop–mufa. Na podstawie ubytków wagowych pierścieni kontrolnych (ang. *corrosion ring* – produkt firm np.: OFI, Baker) oraz oględzin wizualnych możemy określić rodzaj, szybkość korozji i przewidzieć skutki, jakie wywoła podczas prac wiertniczych.

W Exalo Drilling S.A. do pomiaru szybkości korozji używane są pierścienie kontrolne firmy OFI Testing Equipment Inc.

Metodyka pomiaru

Pierścienie kontrolne wykonane są z materiału podobnego do materiału używanego do wytwarzania rur płuczkowych oraz zworników. Materiał ten odporny jest na działanie korozji elektrochemicznej, a rozmiar pierścienia dopasowany jest do podtoczenia w mufie. Czas przebywania próbek w przewodzie nie może być krótszy niż 40 h, a zaleca się aby wynosił ok. 100 h pracy.

Zużycie korozyjne elementów zestawu przewodu wiertniczego określa się wyznaczonym współczynnikiem korozyjności, który oblicza się z zależności:

$$\text{Współczynnik korozyjności } Cr \left(\text{lb/ft}^2/\text{yr} \right) = \frac{\text{Ubytek wagi} \text{ (w gramach)}}{\text{Czas oddziaływania} \text{ (w godzinach)}} \times K$$

gdzie:

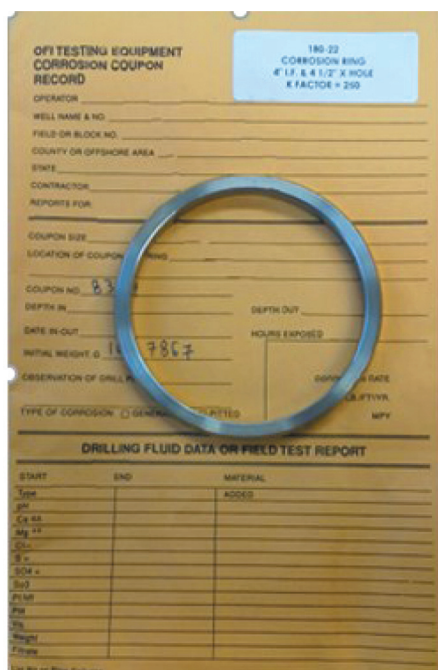
Cr – współczynnik korozyjności $[\text{lb/ft}^2/\text{yr}]$, $[\text{mpy}] = [\text{lb/ft}^2/\text{yr} \cdot 24,6]$

$\text{mpy} = \text{milliinch per year}$,

K – stały współczynnik dla danego typu/rozmiaru pierścienia

Przyjmuje się, że współczynnik korozji (ang. *corrosion rate*) na poziomie $Cr \leq 2 \text{ lb/ft}^2/\text{yr}$ lub $\leq 50 \text{ mpy}$ jest akceptowalny, ale każdą wartość należy rozpatrywać indywidualnie, analizując dane warunki otworowe.

Pierścień korozyjny (rys. 1) wykazujący głębokie wżery z stosunkowo niskim ubytkiem wagi może sygnalizować poważniejsze problemy.



Rys. 1. Pierścień ko\rozyczny (ang. *corrosion ring*)

3. CZYNNIKI MAJĄCE WPŁYW NA ZWIĘKSZONE ZUŻYCIE SPRZĘTU WIERTNICZEGO W WARUNKACH OTWOROWYCH

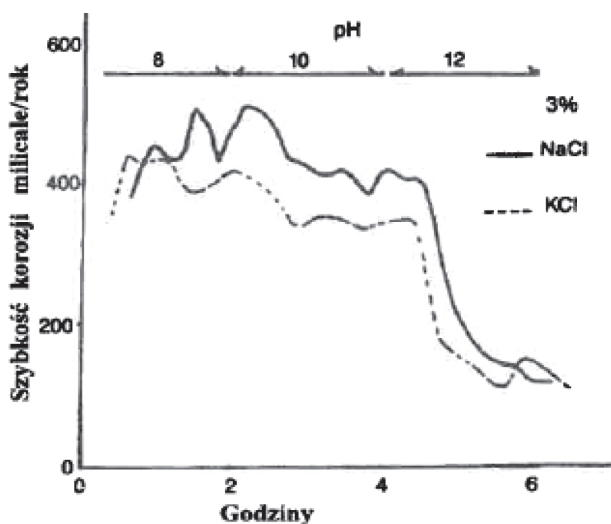
3.1. Korozja

Korozja jest to zniszczenie materii (zwykle metalu) lub jego właściwości na skutek reakcji ze środowiskiem. Jest zjawiskiem nieodłącznie związanym z przemysłem wiertniczym. Nie ma możliwości całkowitego wyeliminowania tego procesu, można go tylko ograniczyć do minimum. Znajomość czynników wpływających na zjawisko korozji ułatwia opracowanie metod postępowania z płuczką wiertniczą w celu skutecznego ograniczenia korozji.

Wpływ pH na zjawisko korozji

Najkorzystniejszym zakresem pH, gdy zamierzamy zapobiegać korozji, jest użycie płuczki o pH w granicach 9,5–10,5. Zdarzają się jednak sytuacje, w których wymagana jest wyższe pH, nawet podniesione do wartości 12. Z płuczek na bazie wodnej, te o wysokim pH charakteryzują się najmniejszym stopniem korozyjności. Dużą korozję wywołują płuczki zasolone, a także płuczki aeryzowane i pianowe.

Na rysunku 2 przedstawiono wykres wpływu wartości pH na wielkość korozji.

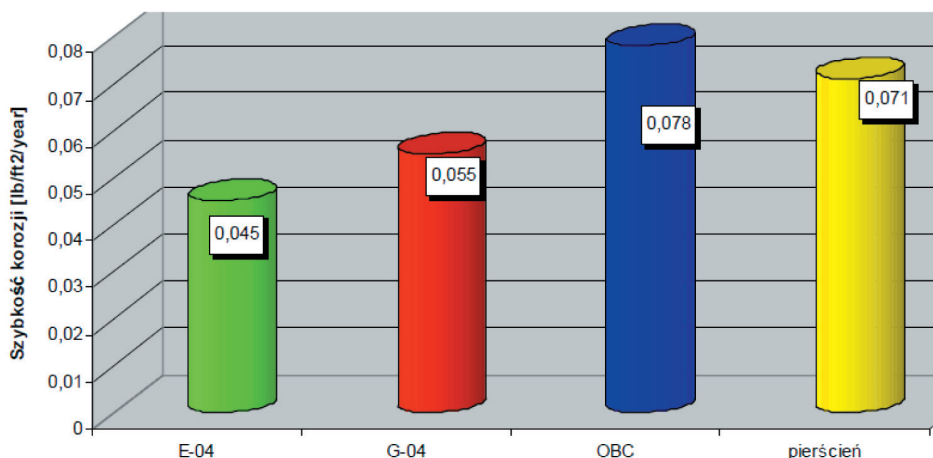


Rys. 2. Wpływ wartości pH na wielkość korozji

Przykład 1

W przykładzie zaprezentowano zmiany szybkości korozji w zależności od pH płuczki w otworze L-4.

Przebadano trzy rodzaje stali, oznaczone jako: E-04, G-04, OBC, oraz pierścień korozyjny (rys. 3). Badania korozji prowadzono w płuczce wiertniczej potasowo-polimerowej z glikolem, pochodzącej z otworu L-4, w temperaturze 50°C przez 168 godzin (7 dni) w warunkach statycznych.



Rys. 3. Średnia mierzona wartość korozji dla badanych stali wg norm API w warunkach laboratoryjnych

Badania zostały przeprowadzone zgodnie z normami: API Spec. 13B-1, ASTM International Designation G 1-03, G 31-72 oraz G 111-97 oraz PN-76/H-04601, PN-76/H-04602, PN-78/H-04610. Wyniki badań zestawiono w tabeli 1.

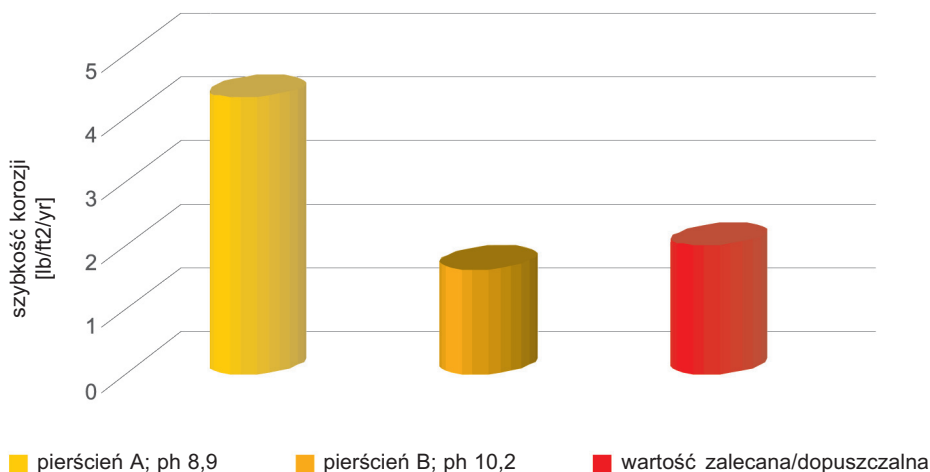
Tabela 1

Wyniki wykonanych pomiarów parametrów technologicznych płuczki na otworze L-4

Parametr	Wartość zmierzona	Założone parametry
Gęstość [g/cm ³]	1,24	1,15–1,25
Wiskoza [s/1000 cm ³]	84	50–80
Filtracja [ml]	1,7	3,0–5,0
Granica płynięcia [lb/100 ft ²]	37	15–25
pH	8,5	9–10
Lepkość plastyczna [cP]	39	–
Lepkość pozorna [cP]	57,5	–
Wytrzymałość strukturalna [10 s/10 min/100 ft ²]	7/8	–/–

Kolejnym etapem doświadczenia było sprawdzenie zmian szybkości korozji pierścieni korozyjnych A i B dla różnych wartości pH w warunkach otworowych (rys. 4).

Wyniki eksperymentu przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 4. Pomiar szybkości korozji w warunkach otworowych dynamicznych według norm API

Tabela 2

Zestawienie parametrów technologicznych płuczki wiertniczej dla prezentowanych pierścieni korozyjnych

Parametr	Pierścień A	Pierścień B
Gęstość [g/cm^3]	1,22	1,22
Wiskoza [$\text{s}/1000 \text{ cm}^3$]	63	56
Filtracja [ml]	4,2	4,8
pH	8,9	10,2

Powyższy przykład obrazuje wpływ pH na zużycie zestawu przewodu wiertniczego podczas wiercenia otworu. Utrzymywanie podwyższonego odczynu pH powyżej 9,5 pozwoliło na znaczne obniżenie zjawiska korozji, a tym samym w sposób bezpośredni wpłynęło na racjonalną gospodarkę dłużycą.

Należy pamiętać, że szybkość korozji stali badana w warunkach stacjonarnych jest niższa od szybkości korozji zmierzonej w warunkach polowych. Składa się na to kilka czynników mających znaczenie w warunkach polowych:

- płuczka jest w ruchu, powoduje to, że przez cały czas dostarczane są nowe reagenty biorące udział w reakcjach elektrochemicznych prowadzących do korozji rur; reagenty biorące udział w reakcjach ulegają „zużyciu”, zmniejsza się ich stężenie;
- na skutek procesów technologicznych do płuczki dostają się gazy przyspieszające proces korozji (tlen i dwutlenek węgla z powietrza w wyniku mieszania płuczki);
- oprócz procesu korozji występuje również proces erozji, np. na skutek oddziaływania rur ze ścianami otworu, a zwłaszcza na skutek oddziaływania na nie płynącej płuczki, w której zawieszono są cząstki fazy stałej o właściwościach ściernych.

3.2. Zasolenie płuczki

Obecność jonów chlorkowych (określane jako zasolenie) w płynie wiertniczym ma znaczący wpływ na zjawisko korozji. Roztwory soli charakteryzują się zwiększoną przewodnością elektryczną, co przekłada się na spotęgowanie zjawiska. Szybkość korozji gwałtownie rośnie wraz ze wzrostem koncentracji soli w roztworze, osiągając maksimum przy koncentracji soli około 3–4% (zasolenie wody morskiej). Przy dalszym wzroście zasolenia szybkość korozji maleje – przy koncentracji soli (NaCl) na poziomie około 10% jest porównywalna z szybkością korozji w czystej wodzie. Wraz z dalszym wzrostem koncentracji soli w wodzie (powyżej 10%), szybkość korozji maleje.

Przykład 2

W przykładzie zaprezentowano działania ograniczające zjawiska korozji. W pierwszym etapie zaobserwowano wpływ zmiany inhibitora korozji w płuczce na proces korozyjny, a w kolejnym kroku przez podwyższenie pH doprowadzono do znaczącego spowolnienia procesu korozji. Pomiary zostały przeprowadzone na otworze A-1, przy użyciu pierścieni korozyjnych.

Pierścień nr 1, płuczka KCl/Polimer/Glikol, pH 8,5–9,5, zasolenie 167 g/l

Pierścień był wystawiony na oddziaływanie płuczki przez 152 h

Waga pierścienia przed założeniem 78,74 g

Waga pierścienia po wyciągnięciu 77,07 g

K : 253

Cr [lb/ft²/yr]: 2,780

Cr [mpy]: 68,436

Zmiana temperatury nie wpłynęła znacząco na zjawisko korozji. Na pierścieniu nie zauważono znacznych uszkodzeń mechanicznych. Na części pierścienia widoczne były ślady erozji, ewentualnie korozji spowodowanej kawitacją.

Na podstawie wartości współczynnika korozji oraz wyglądu pierścienia, podjęto decyzję o zmianie inhibitora korozji.

Następnie badaniom został poddany następny pierścień korozyjny.

Pierścień nr 2 (ze zmienionym inhibitorem korozji), płuczka KCl/Polimer/Glikol, pH 8,5–9,5, zasolenie 167–190 g/l

Pierścień był wystawiony na oddziaływanie przez 131 h

Waga pierścienia przed założeniem 79,51 g

Waga pierścienia po wyciągnięciu 78,56 g

K : 253

Cr [lb/ft²/yr]: 1,835

Cr [mpy]: 45,171

Zaobserwowano nieznaczną poprawę ochrony korozyjnej w stosunku do pierścienia nr 1. Mimo braku znacznych śladów korozji, widoczny był ubytek masy. Bliższe oględziny wykazały nieznaczące zmiany w strukturze pierścienia.

W kolejnym etapie zdecydowano o podwyższeniu pH płuczki wiertniczej i użyto kolejny pierścień korozyjny.

Pierścień nr 3, płuczka KCl/Polimer/Glikol, pH 9–9,5, zasolenie 167–190 g/l

Pierścień był wystawiony na oddziaływanie przez 91 h

Waga pierścienia przed założeniem 78,91 g

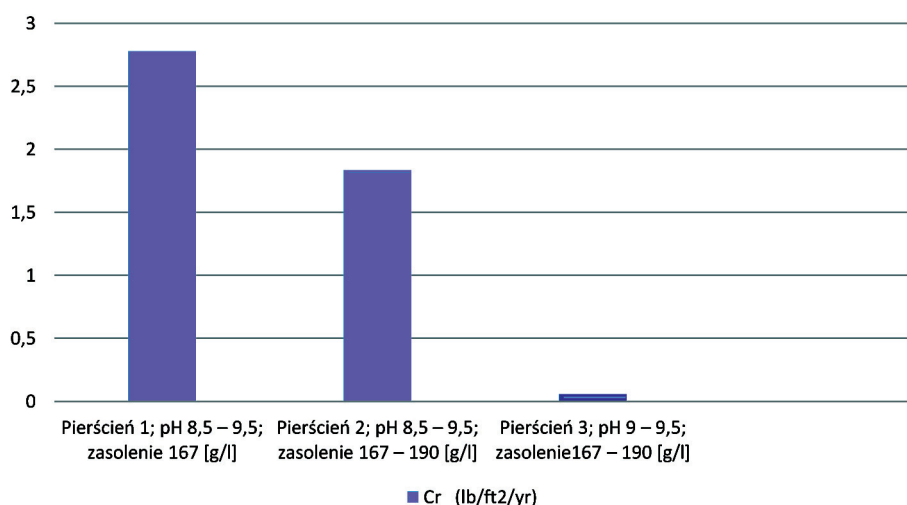
Waga pierścienia po wyciągnięciu 78,89 g

K: 253

Cr [lb/ft²/yr]: 0,056

Cr [mpy]: 1,369

Nastąpiła znacząca minimalizacja zjawiska korozji, co zostało pokazane na wykresie (rys. 5). Płuczka w tym czasie była zasolona do nasycenia. Temperatura w otworze wahała się w granicach od 75°C do 80°C.



Rys. 5. Zestawienie wartości współczynnika Cr w przypadku różnych pierścieni

3.3. Obecność gazów w płuczce wiertniczej

Gazy rozpuszczalne w płuczce, takie jak tlen (O₂), dwutlenek węgla (CO₂), siarkowodor (H₂S), mają największy wpływ na zjawisko korozji.

W związku z ochroną przeciwkorozyjną związaną z obecnością gazów w płuczce zachodzi potrzeba zaprojektowania właściwej receptury płuczki uwzględniającej inhibitory korozji. Należy pamiętać, że negatywny wpływ na rury stalowe ma zarówno brak inhibitora korozji w płuczce, jak i nieodpowiedni dobór inhibitora korozji do rodzaju płuczki i warunków otworowych. Problem ten znany jest i opisywany w literaturze branżowej. Wskazuje to na potrzebę ciągłego monitoringu procesu wiercenia i właściwego reagowania na pojawiające się sytuacje przez specjalistów wiertników i inżynierów płuczkowych.

Siarkowodór (H_2S)

Siarkowodór – H_2S jest gazem towarzyszącym węglowodorom obecnym w dolomicie głównym. Jest to silnie toksyczny gaz, bardzo dobrze rozpuszczalny w wodzie (solankach). Jego rozpuszczalność jest wyższa niż rozpuszczalność dwutlenku węgla, H_2S jest silnym reduktorem.

Metody minimalizacji zjawiska tzw. „korozji siarkowodorowej” na wiertni realizuje się przez:

- prowadzenie kontroli zjawiska korozji za pomocą specjalnych pierścieni, umieszczanych w przewodzie wiertniczym, w którym przebywają określony czas w trakcie procesu wiercenia, co pozwala określić współczynnik korozji wyrażony w $[lb/ft^2/yr]$,
- dodawanie odpowiednich środków do płuczki wiertniczej wiążących tlen lub inhibitory korozji, które działają prewencyjnie, uniemożliwiają lub ograniczając do minimum działanie czynników mających wpływ na to zjawisko,
- stosowanie zalecanych gatunków stali dla przewodu wiertniczego SS-95, SS-105 w dalszej kolejności E-75, X-95, G-105; nie zaleca się używania rur płuczkowych ze stali S-135 w środowisku pracy gdzie może wystąpić siarkowodór.

Jeżeli jednak ze względów wytrzymałościowych trzeba stosować rury płuczkowe ze stali S-135, to konieczne jest ściśle przestrzeganie zaleceń IRP 1.

Podstawowe wymagania wynikające z zaleceń IRP 1:

1. Zachowanie wystarczająco wysokiej gęstości płuczki wiertniczej tak, aby do przestrzeni pierścieniowej mógł dostać się tylko gaz nawiercony.
2. Utrzymywanie pH płuczki wiertniczej (w systemie na bazie wody) powyżej 10,0, w celu poprawy procesu rozpuszczalności siarczków.
3. Użycie środków chemicznych eliminujących H_2S (neutralizatory).
4. Obróbkę płuczki za pomocą inhibitorów, w celu pokrycia rur i zapewnienia im ochrony przed krótkotrwałym kontaktem z H_2S .

Przykład 3

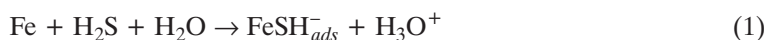
W przykładzie przedstawiono destrukcyjne działanie H_2S na dłużycę wiertniczą. Stal, z której wykonany jest sprzęt wiertniczy, w środowisku siarkowodorowym traci swoje właściwości mechaniczne, co może prowadzić do wystąpienia awarii wiertniczych.

Naprężenia rozciągające są czynnikiem, który wpływa na pękanie stali zwłaszcza niestopowych (węglowych) wysoko wytrzymałościowych w środowisku kwaśnym przy obec-

ności siarkowodoru. Znaczącym działaniem siarkowodoru jest pękanie naprężeniowe siarczkowe SSC (ang. *sulfide stress cracking*). Jest to pękanie metali związane z korozją i naprężeniami rozciągającymi (własnymi i/lub wywieranymi) w obecności wody i H₂S. Występuje także pod nazwą siarczkowej korozji naprężeniowej, zwanej również kruchością siarkowodorową. Kruchość stali jest spowodowana przez absorpcję i dyfuzję wodoru atomowego.

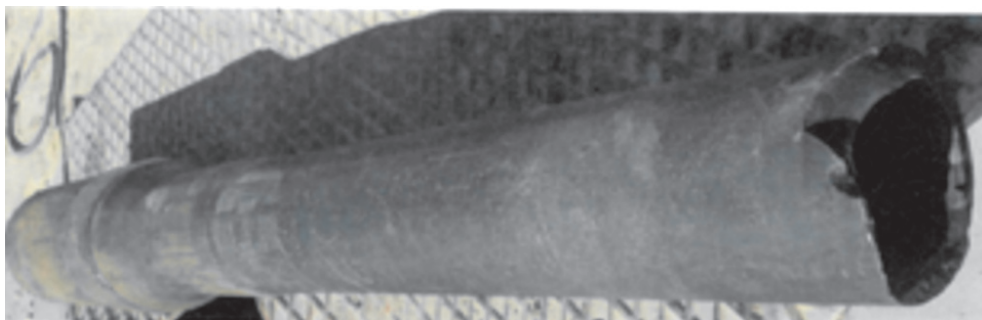
Opisany powyżej proces przyczynił się do wystąpienia awarii wiertniczej, spowodowanej urwaniem zestawu przewodu wiertniczego w otworze A-4. Przypadek ten został szczegółowo zbadany, celem określenia przyczyn urwania.

Pęknięcie rury 3-1/2", zainicjowane na powierzchni od strony zewnętrznej rury, rozwijało się w głąb materiału w stronę powierzchni wewnętrznej oraz po obwodzie. Silne utlenienie uniemożliwiło szczegółową analizę charakteru przełomu badanej rury, jednak analiza powstałych na powierzchniach tlenków wykazała silne wzbogacenie w siarkę. Źródłem siarki mógł być wilgotny siarkowodór, który doprowadził do pęknięcia przez tworzenie się wolnego wodoru na skutek zachodzących po sobie reakcji od 1 do 3 [1]:



Wodór po dysocjacji cząstek na atomy adsorbowany był na powierzchni metalu i następnie w wyniku absorpcji dyfundował do defektów sieci krystalicznej, granic ziaren, wtrąceń niemetalicznych i umiejscowił się tam w postaci cząsteczek wodoru. Duże ciśnienie wodoru cząsteczkowego to główna przyczyna kruchości metalu. W obecności siarkowodoru stal obciążona rozciąganiem, nawet dość odległym od osiągnięcia granicy plastyczności, ulega kruchemu zerwaniu. Po osiągnięciu krytycznego poziomu prowadzi do wystąpienia pęknięcia, co miało miejsce w przewodzie wiertniczym 3-1/2"; „S-135” na otworze A-4 gdzie zarejestrowano wielokrotne występowanie siarkowodoru w zakresie od 5–100 ppm.

Przedstawione zdjęcie (rys. 6) jest dowodem na destrukcyjne działanie siarkowodoru. Pomimo używania inhibitorów korozji oraz środków wiążących siarkowodór zgodnie z zaleceniami producenta, nagły, krótkotrwały dopływ H₂S do otworu spowodował uszkodzenia widoczne na zdjęciu. Należy zaznaczyć w tym przypadku, że był to otwór rozpoznawczy w słabo znanym terenie, a wstępne dane nie przewidywały występowania H₂S o tak dużych stężeniach i ciśnieniach złożowych.



Rys. 6. Odcinek z mufą urwanej rury płuczkowej, która uległa kruchemu zerwaniu

Przykład 4

W przykładzie udowodniono, że doświadczenie i współpraca ze strony operatora i kontraktora oraz stosowanie się do zaleceń producentów sprzętu i materiałów wiertniczych może skutkować ograniczeniem zjawiska korozji w trakcie wiercenia otworów wiertniczych. Ma to bezpośrednie przełożenie na wydłużenie żywotności sprzętu wiertniczego. W otworze W-2 we współpracy z inwestorem i serwisem płuczkowym z powodzeniem zastosowano procedury wewnętrzne Exalo Drilling S.A. Wiercono płuczką polimerową zasoloną, w otworze występował siarkowodór, a służby techniczne na bieżąco monitorowały proces korozji elementów przewodu wiertniczego, odpowiednio reagując i zapobiegając jego rozwojowi.

Pierścień 1

Gęstość płuczki 1,3–1,4 g/cm³

pH – około 9

Koncentracja środka wiążącego H₂S – minimalna zalecana przez producenta

Stwierdzona korozja, $Cr = 6,02 \text{ lb/ft}^2/\text{yr}$.

W celu ograniczenia korozji podjęto następujące działania:

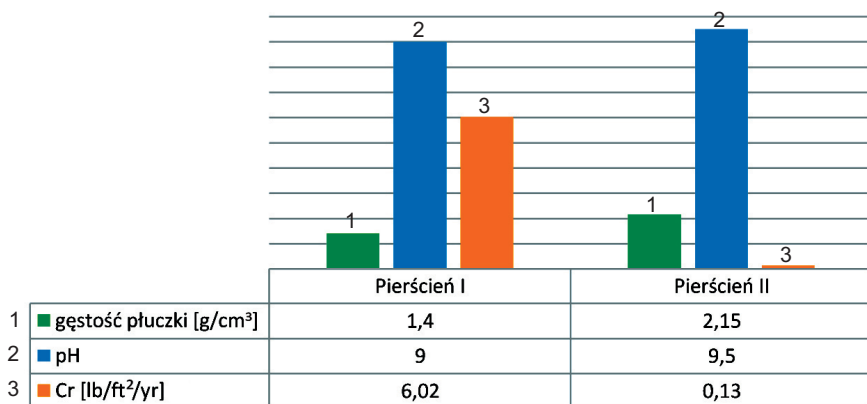
- zwiększono koncentrację środka wiążącego H₂S do około 50% wartości maksymalnej zalecanej przez producenta,
- dążono do utrzymywania podwyższonego pH w zakresie 9,2–9,5.

Pierścień 2

Gęstość płuczki 1,7–2,15 g/cm³

pH w zakresie 9,2–9,5

Stwierdzona korozja, $Cr = 0,13 \text{ lb/ft}^2/\text{yr}$ (rys. 7).



Rys. 7. Wpływ regulacji receptury płuczki na zjawisko obniżenia korozji

Zdobyte doświadczenia, które zostały przedstawione w powyższym przykładzie, dowodzą, że:

- podwyższenie i utrzymanie pH zwiększa efektywność działania środków wiążących H₂S,
- utrzymywanie odpowiedniego stężenia środków wiążących siarkowodoru powinno być zgodne z zaleceniami producenta w korelacji z warunkami panującymi w otworze.

3.4. Zużycie mechaniczne

Podczas wiercenia otworów przewód wiertniczy znajduje się w trójosiowym stanie naprężenia. W krzywoliniowym interwale otworu kierunkowego przewód jest poddawany znacznym naprężeniom zginającym, które powodują obniżenie wytrzymałości przewodu na rozciąganie. Jest to bardzo ważna różnica w porównaniu z warunkami pracy przewodu w otworach pionowych. Obracający się przewód w interwałach zmiany kąta jest narażony na wyboczenia i poddawany zmiennym naprężeniom zginającym przyspieszającym jego zmęczeniowe zniszczenie. Dodatkowo zagadnienia wytrzymałościowe komplikuje występowanie większego momentu obrotowego i siły tarcia. Duże wartości sił tarcia w połączeniu z abrazywnością przewierczanych formacji skutkują przedwczesnym wycieraniem zworników.

Przykład 5

W przykładzie przedstawiono wytarcie zworników przewodu wiertniczego 3-1/2"; G-105, które zostało zaobserwowane w trakcie wyciągania zestawu z RSS-em (ang. *Rotary Steerable System*), po odwierceniu 400 m odcinka horyzontalnego śr. 5-7/8" w otworze R-H. Stwierdzono nierównomierne zużycie zwornika (tab. 3, rys. 8 i 9). Ponadnormatywnie zużyte rury płuczkowe 3-1/2" pracowały w dolnej części zestawu (4. i 5. pas po BHA).

Łączny czas pracy przewodu wiertniczego wyniósł 273 godziny (590 m). Zużycie stwierdzono po ostatnim marszu – ostatni wiercony interwał po zapuszczeniu zestawu z RSS. Czas wiercenia odcinka poziomego to 85 godzin (400 m).

Tabela 3

DP 3-1/2" – wytarcie zworników

Lp.	Numer seryjny	Średnica mufy i czopa przed skręceniem przewodu	Średnica mufy po wyciągnięciu	Średnica czopa po wyciągnięciu
1	1661-93P	120	115	116
2	5732P	118	110	115
3	254-03P	120	110	110
4	1017-93P	120	115	111
5	4511P	121	118	115
6	5529P	120	118	118



Rys. 8. Wytarcie zworników DP 3-1/2"



Rys. 9. Wytarcie zworników DP 3-1/2"

Wyżej wymienione zużycie określa się w branży jako nadmierne, które powoduje przedwczesne zniszczenie sprzętu wiertniczego, a w konsekwencji podwyższenie kosztów odwiercenia otworu. W celu przeciwdziałania powyższemu zjawisku firma Exalo Drilling S.A. wdrożyła do użytku wewnętrznego procedury monitoringu zużycia sprzętu wiertniczego. Po stwierdzeniu oznak zużycia (nie krytycznego) sprzęt jest wymieniany na w pełni sprawny. Sprzęt zużyty poddawany jest procedurze regeneracji. Warsztaty własne i warsztaty współpracujące z Exalo Drilling S.A. ciągle doskonalą technologie regeneracji sprzętu wiertniczego, opierając się na wytycznych specjalistów z Exalo.

Na podstawie doświadczeń z eksploatacji sprzętu wiertniczego (wytrzymałość na ścierne zużycie, brak mikropęknięć, odporność na działanie H_2S) oraz wymogów stawianych przez operatorów Exalo Drilling S.A. stosuje zbrojenia typu:

- Duraband®NC – Hardbanding Solutions,
- OTW-24NM – Castolin Eutectic,
- Arnco 150 XT.

Warsztaty własne i warsztaty współpracujące z Exalo Drilling S.A. mają certyfikację firm Hardbanding Solutions, Castolin Eutectic, Arnco Technology Trust Ltd. do wykonywania zbrojenia i napraw elementów zestawu przewodu wiertniczego.

4. PODSUMOWANIE

Mając na uwadze zasadę, że łańcuch jest tak mocny jak jego najsłabsze ogniwo, kontraktorzy prac wiertniczych muszą sprostać coraz większym rygorom występującym w wiertnictwie, tj. związanym z występującymi siłami w zestawie przewodu wiertniczego czy też niekorzystnemu wpływowi płynów wypełniających otwór, zarówno tych eksploatacyjnych, jak i tych pochodzących z górotworu. Główne wysiłki zmierzają do przeciwdziałania potencjalnym awariom wiertniczym i są realizowane przez zastosowanie sprzętu o wyższych parametrach wytrzymałościowych. Przewód wiertniczy musi być odporny na szybkie zużycie, często jest wykonany z droższych materiałów, niejednokrotnie produkowany według zaawansowanych technologii.

Wieloletnia praktyka wiertnicza Exalo Drilling S.A. i doświadczenie zdobyte na różnych kontynentach pozwoliły wypracować i wdrożyć w życie szereg zarządzeń i zaleceń opartych na normach API. Zakończenie otworu z wynikiem pozytywnym to proces złożony i uzależniony od wielu czynników, na który ma wpływ sieć zależności pomiędzy operatorem, kontraktorem i serwisami. Przedstawione przykłady pokazują, że wiedza osób zaangażowanych w projekt, jak również i zasobność podmiotów współpracujących we właściwe materiały, to klucz do sukcesu. Przykłady pokazują również niestety, że problemy występują i będą występowały (np. koszty, logistyka, dostępność sprzętu

i materiałów itp.), ale należy, a także powinno się je minimalizować w miarę możliwości oraz eliminować ich potencjalne negatywne skutki.

Należy pamiętać, że profilaktyka zawsze będzie tańsza od leczenia skutków zaniedbań, zarówno tych zawinionych i tych od nas niezależnych. Jako przykład można wziąć pod uwagę fakt, że koszt regeneracji sprzętu wiertniczego, poniesione nakłady finansowe na odpowiednią recepturę płuczki i jej bieżące korekty zależne od sytuacji w otworze, dobór właściwych materiałów do zbrojenia czy regenerowania dłuży będzie zawsze niższy niż zakup nowych elementów (nie wspominając już o awariach wiertniczych).

Eksploracja sprzętu i narzędzi wiertniczych musi być monitorowana na bieżąco. Jest to jeden z głównych warunków racjonalnej gospodarki sprzętem wiertniczym i prowadzenia bezawaryjnych wierceń.

LITERATURA

- [1] Gabolde G., Nguyen J.-P.: *Drilling data handbook*. 8th (IFP Publications). Editions TECHNIP, 2006.
- [2] Stryczek S. (red. tomu): *Poradnik górnika naftowego, t. II. Wiertnictwo* (praca zbiorowa). 2015.
- [3] Exalo Drilling S.A. (prezentacja): *Kontrola zjawiska korozji na przykładowych otworach* (praca zbiorowa). 2018.
- [4] Exalo Drilling S.A. (prezentacja): *Wybrane zagadnienia dotyczące problemów i wy magań technicznych oraz sprzętowych podczas wiercenia otworów horyzontalnych (...)* (praca zbiorowa). 2018.
- [5] *Podręcznik inżynierii płuczek wiertniczych*. M-I Drilling Fluids L.L.C., 1996.
- [6] *IADC Drilling manual*, wyd. 12. 2015.
- [7] *IRP 1: Critical Sour Drilling. An Industry Recommended Practice (IRP) for the Canadian Oil and Gas Industry*, vol. 1, 2015.
- [8] PN-EN ISO 15156-2:2015-11 – *Przemysł naftowy i gazowniczy – Materiały stosowane przy wydobywaniu ropy i gazu w środowisku zawierającym H₂S – Część 2: Stale niestopowe i niskostopowe odporne na pękanie oraz stosowanie żeliw*.
- [9] Exalo Drilling S.A.: *Materiały własne*.

MONITORING THE INFLUENCE OF SELECTED FACTORS ON THE WEAR OF DRILL STRING SET AND WAYS TO REDUCE IT IN EXALO DRILLING S.A.

Abstract: The main target of this article is presenting harmful effect for the drilling set such factors as chemical corrosion, the H₂S influence and mechanical abrasion. Precise analysis, stu-

dying of the damage causes for the drill string, allows on the procedures develop improving for the drilling equipment long life, and thus the safe drilling indicators.

During the drilling process, the drill string column is subjected to: tensile, bending, torsional, compressive, friction and harmful effects of fluids which are filling the borehole. These processes are related to drilling technology and also with the drilling rock layers.

In order to counteract potential damage, we use equipment with higher strength parameters. It must be resistant for quick wear, it is often made of more expensive materials, also must be produced according to advanced technologies, with simultaneous consideration of technical and technological, economic and geological limitations.

The monitoring of the corrosion phenomenon effect which the drill string is subjected. It is a priority for failure free drilling. In the drill set column are located the so-called corrosion rings. Analysis of the corrosion rings weight losses allows on the current correction of the mud specifications by adding for example corrosion inhibitors.

Keywords: wear, drill string set, drilling technology