

Sławomir WYSOCKI*, Tomasz ŚLIWA*

**ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA RUR
Z WŁÓKIEN SZKLANYCH
W ODWIERTACH EKSPLOATACYJNYCH
Z DOPIŁYWEM SIARKOWODORU****

1. WPROWADZENIE

Badania dotyczące korozji w przemyśle naftowym nie są sprawą priorytetową. Tymczasem wydaje się, że poszukiwania nowych technik i technologii antykorozyjnych mogłyby przyczynić się w przyszłości do ograniczenia kosztów utrzymania odwiertów.

Obecne konstrukcje odwiertów eksploatacyjnych polegają na zastosowaniu rur okładzinowych oraz rur wydobywczych wykonanych ze stali. W zależności od warunków orurowanie wykonane jest z różnych odmian wytrzymałościowych stali. Pomiędzy rurami okładzinowymi a kolumną rur wydobywczych znajduje się przestrzeń pierścieniowa. Najczęściej jest ona zamknięta od dołu pakerem i wypełniona płynem nadpakerowym. Obecnie najczęściej stosowanym płynem nadpakerowym jest ciecz na bazie chlorku sodu z dodatkiem inhibitora korozji. Przykładowy schemat konstrukcji odwiertu wydobywczego przedstawiono na rysunku 1.

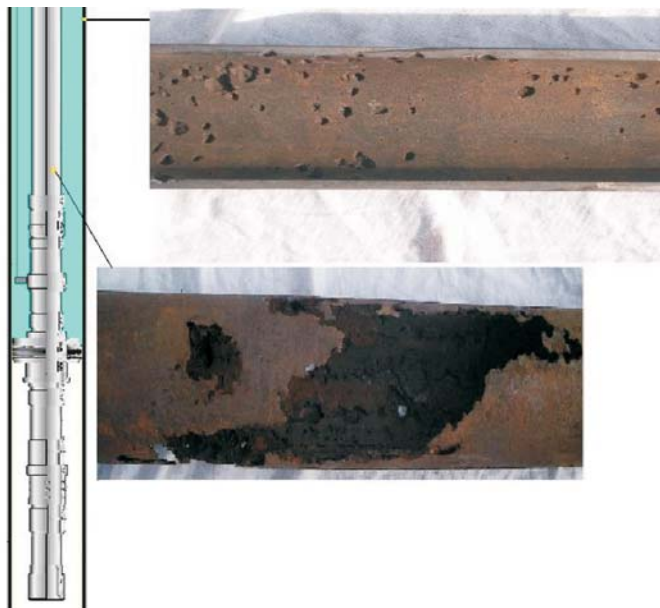
Podział środowisk korozyjnych w przemyśle naftowym oraz jakość stali, jaka powinna być stosowana, wynika z norm API 6A i NACE 01.75.

Schemat odwiertu eksploatacyjnego, do którego dopływa siarkowodór, przedstawiono na rysunku 2. Gaz poprzez mikrouszkodzenia w caliźnie rur okładzinowych przedostaje się do przestrzeni pierścieniowej wypełnionej cieczą nadpakerową. Obecnie najczęściej stosowaną w praktyce przemysłowej cieczą nadpakerową jest roztwór chlorku sodu. Jak wykazały wcześniejsze badania przeprowadzone na WWiNiG AGH we współpracy z inżynierami PGNiG O. Zielona Góra, ciecz na bazie chlorku sodu charakteryzują się niezbyt dobrymi parametrami technologicznymi. Stosunkowo niewielka absorpcja siarkowodoru w cieczach chlorkowych prowadzi do miejscowego spadku pH, nawet do wartości poniżej 2, i skutkuje wytworzeniem bardzo agresywnego środowiska korozyjnego.

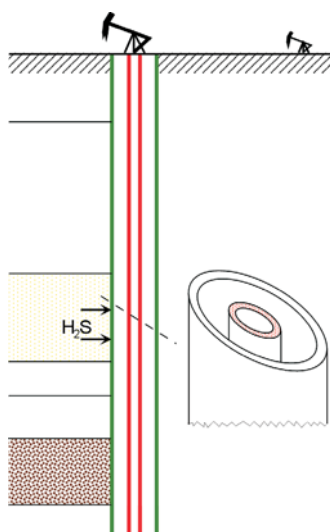
* Wydział Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Praca wykonana w ramach badań statutowych WWiNiG AGH, Kraków

Dodatkowo niekorzystną cechą cieczy chlorkowych jest to, że wywołują one korozję typu wżerowego, co – pomimo stosowania inhibitorów korozji – w stosunkowo krótkim czasie może prowadzić do perforacji rur i związanych z tym komplikacji [2, 8].



Rys. 1. Korozyjne oddziaływanie płynu nadpakerowego na orurowanie odwiertu eksploatacyjnego – schemat



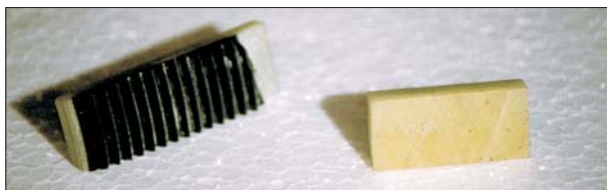
Rys. 2. Schemat odwiertu eksploatacyjnego przewiercającego interwał z dopływem H₂S

W niniejszym artykule przedstawiono analizę możliwości zastąpienia rur stalowych rurami wykonanymi z włókien szklanych. Przeprowadzone badania wykazały, że rury takie nie ulegają korozji w środowisku cieczy nadpakerowej nasyconej siarkowodorem; jedynym niekorzystnym zjawiskiem jest absorpcja gazu przez materiał, z którego wykonane są rury.

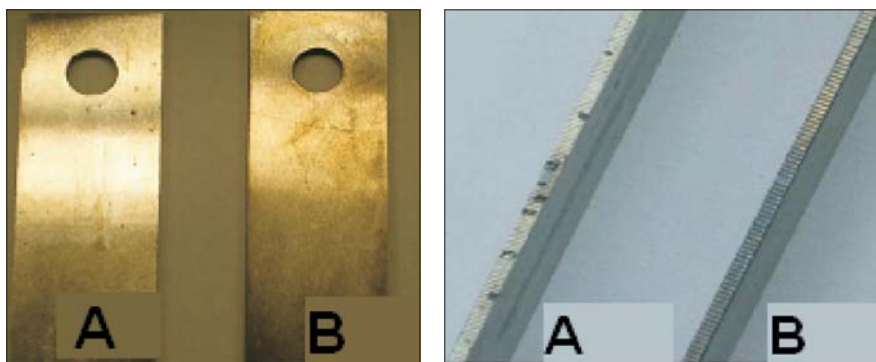
2. BADANIA LABORATORYJNE

Badania wpływu siarkowodoru na rury szklane przeprowadzono w komorach korozyjnych wypełnionych wodą. W komorze umieszczano kupon korozyjny z tworzywa, z którego wykonano rury, komorę zakręcano i po odpompowaniu powietrza wypełniano ją siarkowodorem do ciśnienia 0,7 MPa. Tak przygotowany zestaw umieszczano w termostowanym piecu w temperaturze 80°C. Po upływie 30 dni wykonywano pomiar ciśnienia siarkowodoru, a następnie ważono próbkę [4].

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że próbki rur z włókien szklanych nie ulegają korozji w warunkach dopływu siarkowodoru. Zaobserwowano natomiast wzrost wagi próbek o około 1% na skutek absorpcji siarkowodoru [6]. W przypadku stali umieszczonych w cieczach nadpakerowych i poddanych oddziaływaniu siarkowodoru obserwuje się ubytek masy próbek, a w przypadku cieczy na bazie chlorku sodu – również powstawanie głębokich wżerów. Wygląd kuponów korozyjnych po badaniach przedstawiono na rysunkach 3 i 4.



Rys. 3. Próbki rur z włókien szklanych poddane badaniu w środowisku H_2S



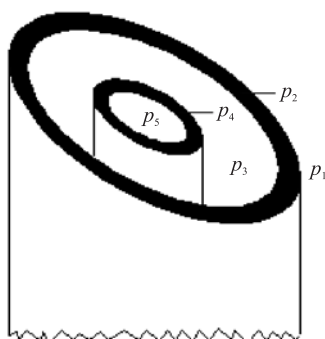
Rys. 4. Próbki rur stalowych poddane badaniu w środowisku H_2S w środowisku roztworu chlorku sodu z widocznymi wżerami (A) i roztworu węglanu potasu (B)

3. PRZEPIY W H₂S I JEGO ODDZIAŁYWANIE W ZALEŻNOŚCI OD MATERIAŁÓW KONSTRUKCYJNYCH W ODWIERCIE

Na rysunkach 5–8 schematycznie przedstawiono cztery możliwe przypadki konstrukcji odwiertu z wykorzystaniem rur stalowych i/lub z włókien szklanych.

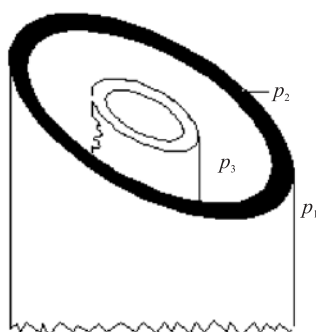
Przypadek 1: rury okładzinowe wykonane z włókien szklanych, rury wydobywcze wykonane z włókien szklanych (rys. 5)

Gdy konstrukcja odwiertu i rury wydobywcze wykonane będą z włókien szklanych, należy spodziewać się migracji gazu (na zasadzie dyfuzji) z przestrzeni pozarurowej (górotworu) do przestrzeni pierścieniowej pomiędzy orurowaniem odwiertu a kolumną rur wydobywczych, a następnie do wnętrza rur wydobywczych, zgodnie z gradientem stężeń. Przeprowadzone badania wykazały, że w tym przypadku nie zachodzi korozja orurowania, nastąpi natomiast niewielki (ok. jednoprocenowy) wzrost masy rur.



Rys. 5. Przekrój przez odwiert o konstrukcji wg przypadku 1 (rury okładzinowe wykonane z włókien szklanych, rury wydobywcze wykonane z włókien szklanych) – dyfuzja H₂S zgodnie z gradientem ciśnień parcjalnych $p_1 > p_2 > p_3 > p_4 > p_5$

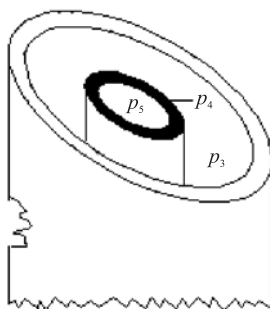
Przypadek 2: rury okładzinowe wykonane z włókien szklanych, rury wydobywcze wykonane ze stali (rys. 6)



Rys. 6. Przekrój przez odwiert o konstrukcji według przypadku 2 (rury okładzinowe wykonane z włókien szklanych, rury wydobywcze wykonane ze stali) – w obudowie odwiertu dyfuzja H₂S zgodnie z gradientem ciśnień parcjalnych $p_1 > p_2 > p_3$ i możliwość korozji wżerowej w kolumnie wydobywczej

Jeśli rury okładzinowe wykonane będą z włókien szklanych, siarkowodór będzie dyfundował do przestrzeni pierścieniowej na zasadzie dyfuzji. Siarkowodór, rozpuszczając się w cieczy nadpakerowej, spowoduje wytworzenie agresywnego środowiska korozyjnego (kwas siarkowodorowy), które będzie oddziaływać destrukcyjnie na rury wydobywcze. Może to doprowadzić do perforacji rur wydobywczych i odpływu cieczy z przestrzeni nadpakerowej. W konsekwencji niezrównoważone ciśnienie skał może doprowadzić do zgniecenia rur okładzinowych i spowodować poważne komplikacje.

Przypadek 3: rury okładzinowe wykonane ze stali, rury wydobywcze wykonane z włókien szklanych (rys. 7)



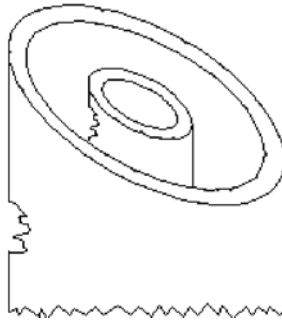
Rys. 7. Przekrój przez odwiert o konstrukcji według przypadku 3 (rury okładzinowe wykonane ze stali, rury wydobywcze wykonane z włókien szklanych) – w obudowie odwiertu zachodzi prawdopodobieństwo korozji wżerowej; w kolumnie wydobywczej dyfuzja H_2S zgodnie z gradientem ciśnień parcyjnych p_3, p_4, p_5

W przypadku gdy rury okładzinowe wykonane będą ze stali, siarkowodór będzie dyfundował do przestrzeni pierścieniowej poprzez drobne nieszczelności w orurowaniu odwiertu.

Powstający w przestrzeni pierścieniowej kwas siarkowodorowy będzie oddziaływać destrukcyjnie na rury okładzinowe. Może to doprowadzić do perforacji rur okładzinowych i dopływu do przestrzeni nadpakerowej solanek złożowych, charakteryzujących się najczęściej wysoką korozyjnością, co spowoduje znaczny wzrost agresywności środowiska. Zagrożenie dla kolumny eksploatacyjnej może powodować zmiana gęstości cieczy w przestrzeni pierścieniowej.

Przypadek 4: rury okładzinowe wykonane ze stali, rury wydobywcze wykonane ze stali (rys. 8)

W przypadku gdy do orurowania odwiertu zastosowane zostaną rury wykonane ze stali, dopływ siarkowodoru z przestrzeni pozarurowej do przestrzeni pierścieniowej może odbywać się poprzez drobne nieszczelności w obrębie rur okładzinowych. Absorpcja siarkowodoru w cieczy nadpakerowej prowadzi do wytworzenia agresywnego środowiska powodującego korozję.



Rys. 8. Przekrój przez odwiert o konstrukcji według przypadku 4 (rury okładzinowe wykonane ze stali, rury wydobywcze wykonane ze stali) – w obudowie odwiertu i w kolumnie wydobywczej – możliwość korozji wżerowej

Należy się też liczyć ze stosunkowo szybką perforacją rur okładzinowych (możliwość dopływu solanek złożowych do przestrzeni pierścieniowej) oraz wydobywczych (możliwość odpływu cieczy nadpakerowej), co w konsekwencji może skutkować poważnymi komplikacjami.

Wszystkie wymienione typy konstrukcji odwiertu mają pewne wady. W przypadku dopływu siarkowodoru do odwiertu stosunkowo najkorzystniejsze wydaje się zastosowanie konstrukcji typu 1 lub 2. W wyeliminowaniu wad tych konstrukcji kluczową rolę odgrywać będzie dobór cieczy nadpakerowej.

Najkorzystniejszym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie cieczy nadpakerowej na bazie węglanu potasu. Ciecz taka charakteryzuje się wysoką absorpcją siarkowodoru oraz stosunkowo niewielką zmianą pH wywołowaną zaabsorbowanym gazem (w przeciwieństwie do cieczy chlorkowych). Wysokie pH cieczy ma duże znaczenie, ponieważ sprawia, że siarkowódór w takich warunkach występuje w postaci zdysocjowanych siarczków (ok. 98% przy pH~12 i tylko 0,0001% przy pH~5). Niewątpliwą zaletą cieczy węglanowych jest to, że nie wywołują one korozji wżerowej, tylko korozję typu równomiernego, przez co zmniejsza się zagrożenie perforacji rur [1, 7, 9]. Badania dotyczące doboru cieczy nadpakerowych w warunkach dopływu siarkowodoru szczegółowo opisano m.in. w [3].

Mimo że porównanie rur wykonanych z włókien szklanych z rurami stalowymi w aspekcie ich odporności na agresywne środowisko korozyjne wykazuje wyższość tych pierwszych, należy również uwzględnić inne aspekty wynikające m.in. z właściwości tworzywa, z którego są wykonane rury. Niższa wytrzymałość rur z włókiem szklanych w porównaniu z rurami stalowymi powoduje, że obecnie rury takie mogłyby być stosowane w stosunkowo płytkich odwiertach, do głębokości ok. 2000–2500 metrów.

Ograniczeniem w stosowaniu rur z włókien szklanych mogą być również techniczne warunki transportu, wykonywania operacji dźwigowych, montażowych i cementacyjnych. Do korzyści wynikających z zastosowania rur z włókien szklanych, oprócz odporności chemicznej, należy zaliczyć również możliwość stosowania urządzeń wiertniczych o mniejszym udźwigu (ze względu na mniejszy ciężar w porównaniu z rurami stalowymi) [5].

4. WNIOSKI

Analiza czterech różnych materiałowych wariantów orurowania i wyposażenia odwiertów wykazała, że w przypadku dużej agresywności korozyjnej środowiska korzystne jest konstruowanie odwiertów przy użyciu rur z włókien szklanych. Dodatkowo zastosowanie cieczy nadpakerowej charakteryzującej się dużą pojemnością absorpcyjną siarkowodoru (np. roztwór węglanu potasu) powinno przyczynić się do poprawy warunków eksploatacji odwiertu i przedłużenia jego żywotności.

Korzyści z zastosowania rur z włókien szklanych są niewątpliwe w aspekcie ich odporności korozyjnej w porównaniu do rur stalowych. Produkowane obecnie na potrzeby wiertnictwa rury z włókien szklanych mają atesty API. Przy rozpatrywaniu zastosowania w otworach wiertniczych należy brać pod uwagę również inne – poza odpornością korozyjną zagadnienia związane np. z ich wytrzymałością mechaniczną, a także ceną.

LITERATURA

- [1] Bielewicz D., Wysocka M., Wysocki S., Kośmider J.: *Charakterystyka korozyjna cieczy nadpakerowych o gęstości 1,45–1,50 g/cm³*; Prace Instytutu Nafty i Gazu, 130, 2004
- [2] Bielewicz D., Wysocki S., Wysocka M.: *Badania korozyjności cieczy nadpakerowych na bazie chlorku sodu w warunkach dopływu siarkowodoru*". Wiertnictwo Nafta Gaz (rocznik AGH), 22/1, 2005
- [3] Bielewicz D., Wysocki S., Wysocka M., Kośmider J., Dycha J.: *Korozja rur okładzinowych i wydobywczych w cieczach nadpakerowych przy dopływie siarkowodoru w świetle badań laboratoryjnych*, Wyd. AGH, Kraków 2006
- [4] Bielewicz D., Wysocki S., Wysocka M., Kośmider J.: *Charakterystyka korozyjna nieinhibitowanych cieczy nadpakerowych w warunkach dopływu siarkowodoru*. Wiertnictwo Nafta Gaz (rocznik AGH), 21/2, 2004
- [5] Busser G., Śliwa T.: *The use of GRE (fiberglass) Tubulars in Oil-Gas-Geothermal Industry*. Materiały konferencyjne „Nowe metody i technologie w geologii naftowej, wiertnictwie, eksploatacji otworowej i gazownictwie” Krynica, 2004
- [6] Śliwa T., Wysocki S.: *Badania laboratoryjne wpływu siarkowodoru na rury okładzinowe z włókien szklanych w symulowanych warunkach otworowych*. Technika Poszukiwań Geologicznych Geosynoptyka i Geotermia, 1, 2006
- [7] Wysocka M., Wysocki S., Bielewicz D.: *Badania korozyjności cieczy nadpakerowych na bazie węglanu potasu w warunkach dopływu siarkowodoru*. Górnictwo i Geologia, 2005
- [8] Wysocki S., Wysocka M., Bielewicz D.: *Badania korozyjności cieczy nadpakerowych na bazie chlorku sodu w symulowanych warunkach odwiertu eksploatacyjnego na platformie morskiej*. Wiertnictwo Nafta Gaz (rocznik AGH), 22/2, 2005
- [9] Wysocki S., Wysocka M., Bielewicz D.: *Badania korozyjności cieczy nadpakerowych na bazie węglanu potasu w symulowanych warunkach odwiertu eksploatacyjnego na platformie morskiej*. Nafta-Gaz, 2, 2006