

**Jan Artymiuk\***

## **WIERTNICZE WYROBY RUROWE ZE STOPÓW ALUMINIUM\*\***

### **1. WSTĘP**

Przewód wiertniczy jest jednym z najbardziej odpowiedzialnych elementów w procesie wiercenia. Awaria przewodu wiertniczego jest trudna do likwidacji, kosztowna i niejednokrotnie prowadzi do utraty otworu. Podstawową częścią przewodu wiertniczego jest kolumna rur płuczkowych. Pojedyncza rura płuczka jest elementem rurowym wykonywanym bez szwu, przy czym ich cechą charakterystyczną są spęczenia znajdujące się na końcach każdej rury. Końce rur płuczkowych są łączone z elementami zwane zwornikami, które umożliwiają łączenie poszczególnych rur płuczkowych ze sobą. Zworniki, ich połączenia z rurami i między sobą stanowią niewralgiczne miejsca w konstrukcji rury płuczka. Z reguły rura płuczka jest elementem stalowym, gdzie wyznacznikiem porównawczym jest mi. „obliczeniowa masa jednostkowa”, [6]. Odgrywa ona istotną rolę w osiągnięciu głębokości wiercenia. Przy wierceniu bardzo głębokich otworów jest to czynnik ograniczający możliwości urządzenia wiertniczego, a w szczególności jego systemu wyciągowego. Aby zmniejszyć masę przewodu wiertniczego, poszukuje się rozwiązań konstrukcji opartych na lżejszych materiałach. Przykładem są rury płuczka wykonane ze specjalnych stopów aluminium. Prace badawcze rozpoczęto dość dawno. Ich historia jest długa i sięga drugiej połowy lat pięćdziesiątych. Rezultaty okazały się dość zachęcające. Pierwszy odwiert badawczy, w którym zostały zastosowane aluminiowe rury płuczka został wykonany w środkowej Voldze w 1960–1962. W kolejnych latach nastąpił szybki wzrost popularności aluminiowych rur płuczkowych (ADP) zwłaszcza w Rosji, która była ich pomysłodawcą i prekursorem, [1]. Duży wkład w rozwój rur aluminiowych wniosły przemysł lotniczy, kosmiczny oraz morski. Część obecnie stosowanych stopów było wykorzystywanych w produkcji łodzi podwodnych, dlatego też przez długi okres czasu informacje o nich były utajnione. Te wczesne eksperymenty wykazały, że stosowanie rur aluminiowych pozwala znacznie zredukować czasochłonność operacji wiertniczych, zużycie materiałów, energię i nakład pracy. W połowie lat sześćdziesiątych, aluminiowe rury płucz-

---

\* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, AGH Kraków

\*\* Praca wykonana w ramach badań własnych w roku 2007

kowe zostały użyte podczas wiercenia kilku bardzo głębokich odwiertów, zaś w 1970 roku, z ich użyciem nastąpiło rozpoznanie struktur Zachodniej Syberii poprzez grupę odwiertów kierunkowych.

## 2. ALUMINIUM I STOPY ALUMINIUM

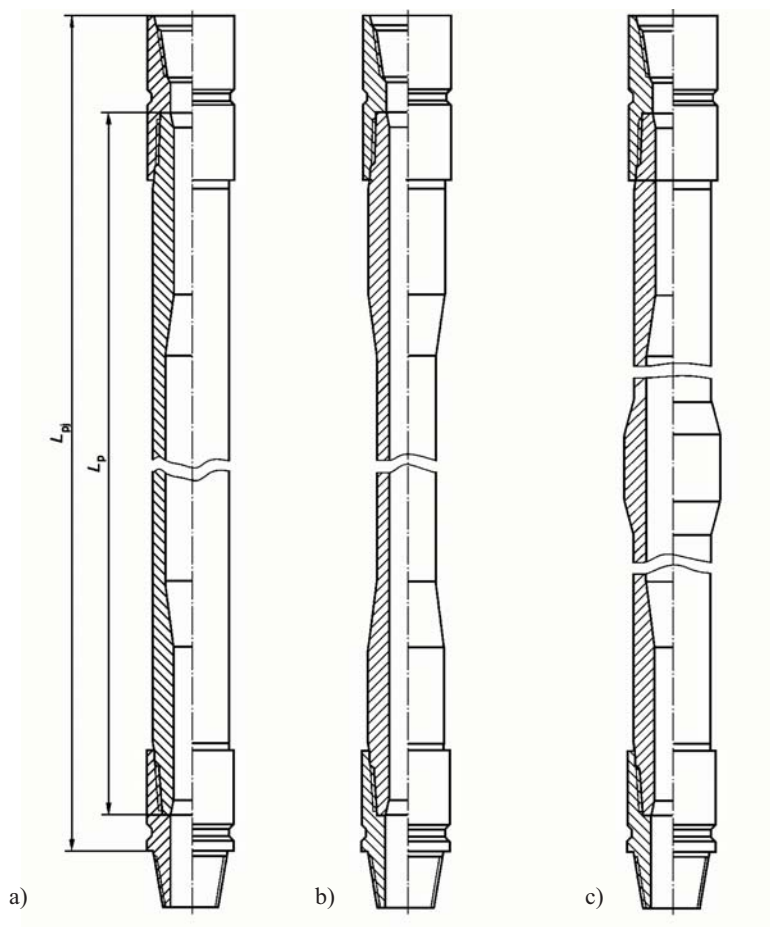
Aluminium jest pierwiastkiem metalicznym, krystalizującym w układzie regularnym płaskocentrycznym Al, o gęstości  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , temperaturze topnienia  $660^\circ\text{C}$  i temperaturze wrzenia  $2450^\circ\text{C}$ . Cechuje go dobra przewodność cieplna i elektryczna (ta ostatnia wynosi 66% przewodności elektrycznej miedzi), duży współczynnik rozszerzalności cieplnej ( $23,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1}^\circ\text{C}$ ) i dość dobra odporność na korozję atmosferyczną (aluminium samorzutnie tworzy na powierzchni cienką, ale bardzo szczelną i ściśle przylegającą warstwę tlenku aluminium, która zabezpiecza go przed dalszym utlenianiem) oraz na działanie wody, niektórych kwasów organicznych, dwutlenku siarki i wielu innych związków chemicznych.

Zwiększenie odporności korozyjnej aluminium (a także jego stopów) uzyskuje się przez sztuczne wytwarzanie powłoki tlenkowej bądź chemicznie (alodynowanie) bądź elektrochemicznie (eloksacja). Obecnie proces eloksacji jest powszechnie stosowany w budownictwie (blachy osłonowe, ramy okienne i drzwiowe), w przemyśle samochodowym, przy wyrobieniu naczyń i sprzętu gospodarstwa domowego. Warstwa tlenków  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ma grubość  $5 \pm 30 \mu\text{m}$ , a jej porowatość umożliwia barwienie na dowolny kolor.

Stopy aluminium są obecnie po stopach żelaza najbardziej rozpowszechnionymi materiałami konstrukcyjnymi, znajdującymi zastosowanie we wszystkich gałęziach przemysłu. Dzięki wysokim wskaźnikom własności wytrzymałościowych odniesionych do gęstości (wytrzymałości właściwej) są szczególnie ważnym tworzywem w budowie samolotów i statków kosmicznych. Na przykład w samolocie „Caravelle” różne stopy aluminium stanowiły 70% materiałów konstrukcyjnych, stali – 26%, a inne tworzywa tylko 4%. Ogólnie stopy aluminium dzielą się na stopy odlewnicze i stopy do przeróbki plastycznej.

## 3. KONSTRUKCJA I ZASTOSOWANIE ALUMINIOWYCH RUR PŁUCZKOWYCH. OGÓLNE INFORMACJE

Obecnie wprowadza się do produkcji różne wzorcowe rozmiary ADP, [2]. Jest to spowodowane kilkoma czynnikami, takimi jak różnorodność geologicznych i technicznych warunków wiercenia, potrzeba stosowania rur o różnych długościach i średnicy (wykonanych metodą ciągnięcia na gorąco), jak również wielka potrzeba wykonywania badań naukowych oraz prowadzenia prac geoinżynierskich. Przewód składający się z aluminiowych rur płuczkowych pozwala wykonywać otwory o różnym przeznaczeniu. Konstrukcyjnie ADP występuje w dwóch różnych rozwiązaniach. Pierwsze nawiązuje do konstrukcji przewodów stalowych z lat 50–60, drugie jest podobne do obecnie stosowanych. Pierwsze rozwiązanie różni się od przewodów stalowych z lat 50–60 tym, że w przewodach stalowych zwornik i rura były wykonane ze stali, natomiast w przypadku przewodów ADP rura jest wykonana ze stopów Al a stalowy zwornik jest na rurę nakręcany (rys. 1).



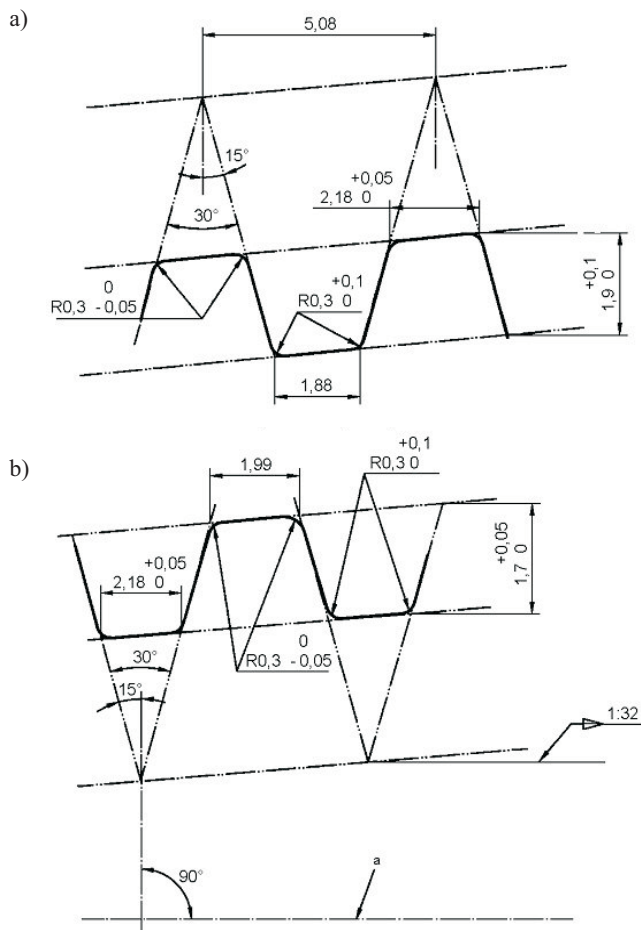
**Rys. 1.** Połączenie zwornika z rurą; a) wewnątrznie spęczaną na końcach; b) zewnętrznie spęczaną na końcach; c) pogrubioną w części środkowej [6]

Występują tutaj dwa rodzaje połączeń:

- 1) z czołami oporowymi, identyczne jak przy przewodach stalowych, łączące czop i mufę zwornika ze sobą;
- 2) występujące pomiędzy zwornikiem a rurą.

Stalowe zworniki na aluminiową rurę mogą być nakręcane z zastosowaniem wymaganego momentu skręcającego za pośrednictwem standardowego trójkątnego gwintu (łączenie „na zimno”), oraz przy pomocy trapezowego gwintu stożkowego typu TT z czołem oporowym o zbieżności 1:32, przy użyciu ciepłej metody łączenia („na gorąco”), (rys. 2). Grubość ścianki ADP zmienia się od 9,0 do 16,8 mm, długość od 5,5 do 12 m, zależnie od typu i wymagań technicznych.

ADP obecnie do wierceń poszukiwawczych najczęściej produkowane są z dwóch typów stopów, D16T i 1953T1, [5]. Kilka standardowych rozmiarów ADP jest wyprodukowane z ochronnym spęceniem w środku rury, chroniącym główny korpus przed zużyciem i zwiększającym wytrzymałość rury, [4]. ADP z ochronnym spęceniem są najczęściej stosowane przy wierceniu otworów kierunkowych i horyzontalnych. Ta modyfikacja udowodniła swoją skuteczność w chronieniu kolumn rur okładzinowych przed wycieraniem.



Podziałka gwintu (5,08 mm) mierzona jest wzdłuż równoległej do osi gwintu.

Dwusieczna kąta zarysu gwintu jest prostopadła do osi gwintu.

Punkt wyjścia gwintu może znajdować się na powierzchni skośnej pomiędzy gwintem a stożkową opaską stabilizującą.

**Rys. 2.** Zarys gwintu TT na rurze płuczkowej i zworniku: a) zwornik (mufa); b) rura płuczkowa (czop) [6]

#### 4. ADP Z POŁĄCZENIEM INTEGRALNYM (STANOWIĄCYM CAŁOŚĆ Z RURĄ)

Swoiste fizyczne i mechaniczne własności stopów aluminiowych (takie jak mała twardość powierzchni i możliwość łatwego zwiercenia) wpłynęły na rozwój nowego projektu rury płuczkowej, tak zwanej rury z integralnym połączeniem, (rys. 3). Te rury nie mają stalowych zworników i dlatego, nie mają gwintów stosowanych do połączenia ze zwornikiem. Gwint połączeniowy jest nacięty bezpośrednio na wewnętrznie albo zewnętrznie spęczonych końcach rury. Połączenie gwintowe jest podobne do obecnie stosowanego w obciążnikach stalowych. Doświadczenie terenowe z takimi przewodami (5½ calowymi) z połączeniem gwintowym o szerokim przelocie (FH) wskazały, że w granicach dopuszczalnego momentu obrotowego, te typy połączeń mogą oprzeć się 140÷160 łączeniom i rozłączeniom, [4]. Biorąc pod uwagę, że te rury płuczkowe są zbudowane z długimi spęczonymi końcami, ponowne nacięcie (naprawienie) połączenia gwintowego nie sprawia żadnej trudności. Rury z tym połączeniem są często używane w wierceniach kierunkowych i poziomych. Podczas takich wierceń, odchylenie otworu musi być ciągle kontrolowane. Rury płuczkowe z połączeniem integralnym są używane w niższych sekcjach przewodu wiertniczego właśnie do tego celu. Niemagnetyczne właściwości tych rur i brak stalowych zworników pozwala przeprowadzać badania geofizyczne (MWD, LWD), skracając jednocześnie czas tych operacji.



Rys. 3 Aluminiowe rury z połączeniem integralnym [4, 5]

#### 5. ZASTOSOWANIE ADP DO WIERCEŃ POSZUKIWAWCZYCH

W Rosji, ADP były używane w wiertnictwie poszukiwawczym przez ponad 30 lat. Pierwotnym przeznaczeniem ADP była redukcja nakładów pracy załogi przy wierceniu otworów badawczych w odległych obszarach, zwłaszcza przy transporcie sprzętu wiertniczego. Zalety

wykorzystywania tego typu rur w operacjach wierceń kierunkowych i głębokich przejawia się poprzez efektywność przewiercania bardzo twardych formacji, w środowisku silnie korozyjnym i wysokiej temperaturze. Jednym z ciekawszych a zarazem spektakularnych przykładów wykorzystania ADP był odwiert Kola SD-3 (1970–1993r), którego głębokość sięgnęła 12 262,0 m (rekordowa głębokość). W tym przypadku konfiguracja przewodu wiertniczego opierała się głównie o ADP. Jedynie nieznaczne odcinki – bezpośrednio nad świdrem (120÷150m) i najwyższy (500÷600m) – były wyposażone w rury stalowe z powodu charakterystyki technologicznej i wymogów bezpieczeństwa. Zanotowano wtedy tylko 27 uszkodzeń komponentów przewodu wiertniczego, co stanowiło 7,4% wszystkich awarii. Również na kontynencie amerykańskim rozpoczęto badania nad zastosowaniem stopów Al na przewody wiertnicze. Do wierceń eksperymentalnych zostały użyte aluminiowe rury płuczkowe o średnicy 164 mm (6<sup>5</sup>/<sub>8</sub>" ), na wiertniczym geotechnicznym statku „Bucentaur”, który to posiadał wyporność tylko 4470 ton. Przewodami ADP prowadzono również wiercenia na Oceanie Atlantyckim (basen Voringa – 1993, 1997 i okolice wyspy Rockall – 1994), w Zatoce Meksykańskiej (Kanion Missisipi – 1995, Kanion Greek – 1996, okolice wzniesienia Viosca – 1996, okolice wybrzeży wyspy Garden – 1996), Cieśninie Gibraltarskiej – 1995, u wybrzeży Japonii – 1997 oraz niedaleko Zachodniej Afryki – 1998. Powyższe przykłady użycia ADP świadczą o potencjale zawartym w stopach aluminiowych, [3, 4, 5].

Przemysł naftowy skupia się na produkcji pięciu standardowych rozmiarów ADP do wierceń poszukiwawczych:

- 1) Średnica 24 mm, grubość ścianki 4,5 i 8,0 mm, długość 1,3 m; (odpowiednio 0,95 cala, 0,177 i 0,315 cala, 51 cali).
- 2) Średnica 34 mm, grubość ścianki 6,5 i 11,0 mm, długość 1,3 lub 2,9 m; (odpowiednio 1,34 cala, 0,256 i 0,433 cala, 4,3 i 9,5 ft).
- 3) Średnica 42 mm, grubość ścianki 7,0 i 14 mm, długość 4,3 m; (odpowiednio 1,65 cala, 0,276 i 0,551 cala, 14,1 ft).
- 4) Średnica 54 mm, grubość ścianki 9,0 i 16 mm, długość 4,4 m; (odpowiednio 2<sup>1</sup>/<sub>8</sub> cala, 0,354 i 0,630 cala, 14,4 ft).
- 5) Średnica 71 mm, grubość ścianki 8,0 mm, długość 6,2 m; (odpowiednio 2,8 cala, 0,315 cala, 20,3 ft).

## **6. ALUMINIOWE RURY PŁUCZKOWE W OPERACJACH REKONSTRUKCYJNYCH**

Prace rekonstrukcyjne w odwiercie składają się z różnych operacji. Operacje naprawcze są najbardziej krytyczne i czasochłonne. W to wlicza się usuwanie urwanej części przewodu, utraconej pompy głębinowej, pakerów, kabli itp. Te operacje zazwyczaj wymagają kilka marszów przewodu wiertniczego, które prowadzą do dużych strat czasu. W odwiertach o całkowitej głębokości 2200÷2500 m, operacje marszowe standardowo zajmują 30÷50% całkowitego czasu prac rekonstrukcyjnych. Dodatkowo prowadzi to do wysokiego zużycia paliwa i smarów, układu wyciągowego, klocków hamulcowych, jak również zwiększa czas konserwacji urządzenia wiertniczego. Niepowodzenie, jakim jest utknięcie wyposażenia na

dnie otworu, wymaga mobilizacji jednostek ratunkowych o nośności znacząco większej niż masa przewodu wiertniczego, ze względu na siły oporu. Specjalne aluminiowe rury płuczko-  
we do prac rekonstrukcyjnych i zakończeniowych były konstruowane i używane w oparciu  
o analizę operacji ratunkowych oraz technologię produkcji ADP, [1].

## 7. GRUBOŚCIENNE ADP (ADC)

Grubościenne ADC (Aluminiowe Obciążniki Wiertnicze) są produkowane z połączeniami  
integralnymi bądź ze stalowymi zwornikami. Podobnie jak standardowe ADP z połączeniami  
integralnymi, ADC z połączeniami integralnymi może być używany w wierceniach kierunko-  
wych i horyzontalnych oraz do badań geofizycznych. W dodatku, obciążniki te są używane  
w BHA (dolny zestaw przewodu wiertniczego) dla łagodniejszego przejścia od sztywnych  
obciążników do rur płuczkowych. Często stosowaną praktyką jest wykonywanie ADC jako  
obciążniki spiralne, [1]. Poprzez ich użycie powierzchnia styku z otworem jest mniejsza niż  
standardowych obciążników, podczas gdy przeswit pomiędzy ścianami odwiertu a zewnętrzną  
średnicą rur pozostaje taki sam bądź jest nawet większy. Ten fakt jest pomocny przy obniżaniu  
ryzyka przychwycenia dolnej sekcji przewodu wiertniczego spowodowanego różnicą ciśnień  
(różnica między ciśnieniem formacji a hydrostatycznym ciśnieniem w odwiercie), jak rów-  
nież przy utracie ciągłości w krążeniu płuczki. Spiralne rowki obciążników, które wywołują  
przepływ turbulentny płuczki, polepszają oczyszczanie dna otworu i zwiększają efektywność  
pracy. Spiralne rowki na zewnętrznej powierzchni stalowych obciążników wiertniczych (SDC)  
wykonuje się na specjalnie wyposażonej obrabiarence. Ta metoda obróbki posiada względnie  
niską efektywność i podnosi ich koszt. Spiralne rowki na obciążnikach aluminiowych mogą  
być formowane w trakcie procesu walcowania, bez potrzeby obróbki. Stosowanie obciążników  
ze stopów Al z integralnym połączeniem przez firmy Samaraneft i Mangyshlakneft pokazały  
ich duże możliwości rozwojowe i dużą efektywność, w którą wlicza się:

- paramagnetyczne właściwości rur,
- wysokie tłumienie drgań,
- stabilizacja BHA,
- zmniejszanie liczby przechwyceń BHA,
- turbulentny przepływ płuczki wynikający z konstrukcji powierzchni zewnętrznej.

Użycie tych rur płuczkowych przez firmy Samaraneft, Yuganskneftegaz i Nizhnevarto-  
vskneftegaz wyróżniały się od 2 do 3 krotnym zmniejszeniem czasu operacji w porównaniu  
do SDP w podobnych warunkach. Koszt prac rekonstrukcyjnych był również niższy od  
20÷30%, [1, 4].

## 8. ALUMINIOWE RURY WYDOBYWCZE (ATP)

Rury wydobywcze są jednym z najważniejszych elementów w przemyśle naftowo-gazo-  
wym. Ich zastosowanie może być różne, związane z pracami zakończeniowymi, eksploatacją  
oraz pracami rekonstrukcyjnymi w odwiercie. Różnorodność funkcji wykonywanych przez



rury wydobywcze związane są z działaniem różnych sił. Głównymi siłami wpływającymi na pracujące rury są siły osiowe, które rozciągają kolumnę przez jego masę, oraz zewnętrzne i wewnętrzne ciśnienia. Rury wydobywcze są również wystawione na działanie sił zginających w odwiertach kierunkowych, sił oporu, które hamują osiowe przemieszczenia oraz obciążenia temperaturowe powstałe w wyniku wahań temperatur płynów w odwiercie.

Ponadto rury wydobywcze w odwiercie są wystawione na działanie agresywnych mediów, które mogą z czasem zmienić ich skład, a nawet doprowadzić do całkowitego zniszczenia. Dotyczy to szczególnie kryteriów: niezawodności oraz trwałości rur wydobywczych. Wiąże się to z odpowiednim doбором materiałów i jego krytycznych parametrów tj. wytrzymałości właściwej i odporności na korozję. W tym wypadku użycie stopów aluminiowych jest dość obiecujące. Maksymalna długość jednolitych rur wydobywczych spełnia eksploatacyjne wymagania najgłębszych odwiertów naftowych. Masa takiej kolumny jest 3–4 razy niższa niż masa stalowej kolumny rur wydobywczych przy tym samym współczynniku bezpieczeństwa. Dlatego nośność haka oraz pojemność silnika mobilnych urządzeń rekonstrukcyjnych może być zredukowana. Rury aluminiowe posiadają niższy opór hydrauliczny niż rury stalowe. Wynika to z mniejszej chropowatości wewnętrznej powierzchni i współczynnika tarcia. Koszty transportu rur ze stopu aluminiowego są znacząco niższe, szczególnie podczas dostarczania rur do niedostępnych obszarów. Te zalety są pomocne w rozwoju standardowych połączeń rur ze stopu aluminiowego z integralnymi połączeniami zwornikowymi z zewnątrz spęczonymi końcami. Są wyrobami perspektywnymi o znaczącym potencjale konstrukcyjnym. Takie konstrukcje rur wydobywczych są obecnie stosowane w Zachodniej Syberii w odwiertach o dużych wydajnościach wydobywania [1].

## 9. ALUMINIOWE RURY OKŁADZINOWE

Praktyczne doświadczenia wykazały, że rura płuczkowa z integralnym połączeniem może być łatwo skrawalna (podobnie jak skała średniej twardości). Ta cecha może być wykorzystana do budowy zwiercalnych kolumn rur okładzinowych. To pozwoliłyby skutecznie izolować problematyczne interwały w otworze wiertniczym. Wtedy, podczas przewiercania kolejnych problematycznych interwałów, kolumna pasów znajdujących się powyżej może być zwiercona, aby zachować taką samą średnicę odwiertu. Po przewierceniu wszystkich interwałów, nowa kolumna może być zapuszczona do ich izolacji.

Ten pomysł został przetestowany przez Samaraneft podczas wykonywania głębokiego otworu. Kolumna rur okładzinowych o średnicy 250 mm (9.8 cala), o 10 mm grubości ścianki (0.39 cala) z połączeniami integralnymi została zapuszczona na głębokość 2650÷3450 m [1]. Przewód wiertniczy wykonał około 150 marszów przez rury okładzinowe bez ich widocznego uszkodzenia. Podobne zadanie wykonała firma Bashneft. Użyła 220 mm (8.66 calowe) aluminiowe rury okładzinowe. Zwiercalna aluminiowa kolumna rur okładzinowych może zredukować ucieczki wody, ropy, gazu oraz wyeliminować inne komplikacje występujące podczas wiercenia. Stopy aluminiowe są odporne na siarkowodor. Obecne problemy związane są z zapewnieniem niezawodności stalowych rur okładzinowych poddanych działaniu siarkowodoru oraz wysoki koszt specjalnych stopów stalowych odpornych na agresywne media.



Badania nad zastosowaniem aluminiowych rur okładzinowych dotyczą rozwiązania następujących problemów:

- Moduł sprężystości wzdłużnej aluminium jest 3 razy niższy niż stali. Ten czynnik redukuje odporność rur okładzinowych na ciśnienie zgniatające. Jest to ważna kwestia, o której należy pamiętać przy tworzeniu nowych projektów rur.
- Korozja stopów aluminiowych jest względnie wysoka w mediach o  $\text{pH} > 9,5$ . Dlatego, wpływ zaczynu cementowego na rury podczas ich kontaktu musi być przeanalizowany. Muszą być przedsięwzięte specjalne ochronne środki zapobiegawcze.

Rosyjska firma Samaraneft [1] posiada duże doświadczenie z pierwszą aluminiową kolumną eksploatacyjną rur okładzinowych. ADP z integralnym połączeniem z wewnętrznie spieczonymi końcami zostały użyte jako rury okładzinowe. Rury te wykonane ze stopu D16T, zostały zapuszczone do odwiertu Nr 134 o całkowitej długości 1376 m. Podczas łączenia rur wydobywczych, gwint pokryto uszczelnieniem opartym na epoksydach i samoutwardzalnym związku. Po tym jak przewód został postawiony i zacementowany, zanotowane ciśnienie wynosiło 14,3 MPa. Kiedy wydatek odwiertu osiągnął 25 m<sup>3</sup>/dobę, wówczas zastosowano eksploatację mechaniczną. Użyto elektryczną pompę głębinową osadzoną na stalowym przewodzie rurowym. Od tego czasu, pompa była wyjmowana i naprawiana 15 razy, zaś kolumna eksploatacyjna rur okładzinowych składająca się z połączonych integralnie ADP, była eksploatowana przez 10 lat bez awarii. Ten przykład dowodzi o konieczności dalszego prowadzenia intensywnych prac badawczych i konstruktorskich w celu ulepszenia aluminiowych rur okładzinowych. Rury te powinny być wykorzystywane w odwiertach, w których zaobserwowano siarkowodór. Przewiercanie trudnodostępnych pól naftowych oraz wiertnice o małej zdolności nośnej są czynnikami, które opowiadają się za stosowaniem aluminiowych rur okładzinowych.

## 10. ALUMINIOWY RISER WIERTNICZY

Eksperymenty związane z konstrukcją ADP oraz ich eksploatacją dowiodły zdolności stosowania rur ze stopu 1953T1 w różnych celach i środowiskach podczas wierceń morskich. Stąd też powstał projekt stworzenia aluminiowego risera. Długości takich riserów mogą sięgać kilku kilometrów. Doświadczenia zyskane dzięki przemysłowi morskiemu, wojskowemu oraz lotniczemu (które niedawno stały się ogólnie dostępne) potwierdziły, że aluminiowe rury o średnicy zewnętrznej 20 cali i większej mogą być wyprodukowane w procesie wyciskania. Pomysł rozwoju aluminiowych riserów dla „Baikal Lake Scientific Drilling Project” (BDP) bierze swój początek w przedsiębiorstwie „Nedra” (Yaroslavl Rosja). Prototyp 500m risera o średnicy 9½” został wykonany w 1995 r. i z powodzeniem ulepszony w 1998. Składał się z 9 m rur wykonanych ze stopu D16T o średnicy zewnętrznej 240 mm (9,45 cala), wewnętrznej 220 mm (8,66 cala) oraz zewnętrznym spęčeniem wynoszącym 270 mm (10,63 cala). Spęczenie pozwoliło rurom na bezpośrednie połączenie bez użycia stalowych zworników. Wynikająca z tego masa risera w powietrzu wynosiła 25 kg/m (masa w wodzie 16 kg/m). Wstępne analizy wykonane w 1995 r. pokazały że ten projekt i wykonanie niegrubego risera

o średnicy 245÷300 mm i długości 3–4 km jest technologicznie możliwy. Zaproponowano grupie ISO pracującej nad standardami, włączenie rur aluminiowych wykonanych ze stopu D16T bądź 1953T1 do norm („Design of Risers for Floating Production Systems and Tension-Leg Platforms”). Głównymi obawami są tu długoterminowa korozja oraz zmniejszanie twardości aluminiowych rur, które mogą być ocenione wyłącznie na bazie specjalnych badań doświadczalnych. Następnym krokiem była analiza aluminiowego risera wiertniczego (ADR). Takie badania wykonano w 1997–1998 r. Program „RISOPT” został użyty do oceny ADR zastosowanych w Basenie Campos w Brazylii (2700 m głębokości wody) oraz na Pacyfiku niedaleko Japonii (400m głębokości wody), [3]. Risery te o średnicy wewnętrznej 485 mm (19 cali), z pięcioma pomocniczymi przewodami (dławiący, zatłaczający, wspomagający oraz dwa hydrauliczne), posiadały standardową konstrukcję, (rys. 4). Wszystkie rury wykonano ze stopu aluminiowego podobnego do 1953T1, a wszystkie łączniki były stalowe. Nie zastosowano żadnych elementów woporowych. Grubość ściany głównej rury risera została wyliczona w oparciu o współczynnik bezpieczeństwa nie mniejszy niż 1,65 przekroju całego risera. Ta wartość została ustalona w oparciu o normy API (1,5-krotna granica plastyczności plus 10% dodatkowo z powodu obecności naprężeń zginających). Produkcja rur aluminiowych z tak obliczonymi wymiarami jak również rozwój kompletnych sekcji ADR odznacza się względnie dużą żywotnością.



**Rys. 4.** Aluminiowy riser otoczony aluminiowymi przewodami serwisowymi [3]

Przewidywane korzyści stosowania ADR w środowisku wierceń morskich są następujące:

- mniejsza masa całkowita systemu risera,
- mniejszy czas łączenia/rozłączenia risera,
- możliwość osiągnięcia większych głębokości przy użyciu tych samych platform i urządzeń wiertniczych.

## 11. PODSUMOWANIE

Wczesne prace badawcze nad wykorzystaniem stopów aluminiowych w przemyśle naftowym zaczęły się już w drugiej połowie lat pięćdziesiątych. Rezultaty okazały się dość zachęcające. W kolejnych latach, dzięki swym zaletom, aluminiowe wyroby rurowe rozprzestrzeniły się w wierceniach kierunkowych. Mniejsza masa, redukcja czasu marszów, mniejsze straty hydrauliczne, redukcja obciążenia pomp płuczkowych, niższe koszty transportu, niemagnetyczność, większa odporność na korozję, to główne właściwości rur ze stopów aluminiowych stawiające je ponad standardowymi stalowymi produktami podobnego przeznaczenia.

Polski przemysł naftowy nie stosuje wiertniczych wyrobów rurowych ze stopów aluminium. Wiertnicze wyroby rurowe przynoszą największe korzyści przy odwiertach głębokich i super głębokich. W Rosji, będącej prekursorem aluminiowych wyrobów rurowych użyto aluminiowych rur płuczkowych przy wiercieniu najgłębszego otworu SG-3 w skali światowej o długości 12 262 m. Myślę, że warto podjąć próbę zastosowania nowych projektów rur, gdyż może to przynieść znaczące korzyści ekonomiczne.

## LITERATURA

- [1] Basovich V., Gelfgat M., Akgun F., Maidia E.: *Aluminum Application in Drilling*. SPE 49957, 1998
- [2] Gelfgat M. Y., Basovich V. S., Adelman A.: *Aluminum alloy tubulars for the oil and gas industry*. World Oil, 2006
- [3] Gelfgat M., Grebtsov N, Podrazhansky A., Vygodsky B., Tikhonov V., Aquatic Co, Shaposhnikov V., Krylov's Institute, Chizhikov V., VAMI: *High-strength aluminum alloys for deepwater riser applications*. OCT 16185, 2004
- [4] Gelfgat Mikhail Y., Vladimir S. Basovich, Vadim S. Tikhonov: *Drillstring with aluminum alloy pipes design and practices*. SPE 79873, Amsterdam 2003
- [5] Placido J. C. R., Netto T.A., Miscow G.F.: *Fatigue analysis of aluminum drill pipes*. ABM Międzynarodowy Kongres, Sao Paulo 2004
- [6] Polska Norma PN-EN ISO 15546:2005. *Przemysł naftowy i gazowniczy – Rura płuczkowa ze stopu aluminiowego*