

**Jan Artymiuk\***

## **PORÓWNANIE ALUMINIOWYCH RUR PŁUCZKOWYCH ZE STALOWYMI\*\***

### **1. WSTĘP**

System wyciągowy urządzenia wiertniczego, a w szczególności jego moc w dużej mierze zależy od ciężarów podnoszonych na haku wiertniczym. Największe podnoszone masy to kolumny rur okładzinowych, obciążenia przy prowadzeniu prac ratunkowych, oraz kolumny przewodu wiertniczego. Osiąganie większych głębokości wiercenia, zmusza konstruktorów do budowania coraz większych i cięższych układów wyciągowych, stosowania napędów o dużych mocach, co bardzo podnosi koszty prowadzenia prac wiertniczych. Zmniejszenie wymienionych parametrów jest możliwe m. in. przez stosowanie lżejszych wiertniczych wyrobów rurowych. Jest to możliwe przy zastosowaniu na ich budowę materiałów, których masy jednostkowe są znacznie mniejsze. Do takich materiałów konstrukcyjnych zaliczyć należy stopy tytanowe, aluminiowe i kompozyty. W przemyśle wiertniczo-naftowym coraz większe zastosowanie znajdują stopy aluminiowe i ich zastosowanie na wiertnicze wyroby rurowe, [1, 2, 3]. Przewody wiertnicze znalazły się w grupie wyrobów o szczególnym znaczeniu. Porównanie aluminiowych rur płuczkowych (ADP) z rurami płuczkowymi stalowymi (SDP) jest jak najbardziej na czasie, biorąc pod uwagę szybki rozwój nowych technologii wiercenia i większe zwrócenie uwagi na efektywność prac wiertniczych.

### **2. PORÓWNANIE WŁAŚCIWOŚCI**

Zasięg technicznych funkcji, jakie przewód wiertniczy wykonuje, jak również rygorystyczne wymagania dotyczące wytrzymałości, niezawodności i trwałości rur, decydują o konieczności uważnego wybierania materiału konstrukcyjnego. Materiał, z którego wykonane są rury płuczkowe posiada fizyczne i mechaniczne właściwości istotne dla danego

---

\* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, AGH Kraków

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

geologicznego i technicznego środowiska wiertniczego. Poniżej przedstawione właściwości są najważniejszymi wymaganiami dla materiałów konstrukcyjnych rur płuczkowych [4]:

- wysoka wytrzymałość właściwa,
- optymalny moduł elastyczności i współczynnik sprężystości postaciowej,
- odporność na korozję,
- odporność na ścieranie.

Tabela 1 przedstawia zasadnicze fizyczne i mechaniczne własności materiałów używanych na całym świecie do wytwarzania rur płuczkowych.

**Tabela 1**  
Mechaniczne właściwości materiałów na rury płuczkowe [1]

Stop	Gęstość g/cm <sup>3</sup>	Współczynnik elastyczności 10 <sup>4</sup> MPa	Współczynnik sprężystości postaciowej (Kirchhoffa) 10 <sup>4</sup> MPa	Współ- czynnik Poissona	Rozszerzalność cieplna w 10 <sup>-6</sup> /°C	Ciepło właściwe J/kg °C
Stalowy	7,85	21,0	7,9	0,27	11,4	500
Aluminiowy	2,78	7,1	2,7	0,30	22,6	840
Tytanowy	4,54	11,0	4,2	0,28	8,4	460

### 3. WYTRZYMAŁOŚĆ WŁAŚCIWA MATERIAŁU

Masa przewodu wiertniczego jest funkcją gęstości materiału konstrukcyjnego, współczynnika jego rozmiaru/kształtu, oraz długości. Masa przewodu jest dyktowana poziomami obciążeń nominalnych, które rozciągają przewód, podczas gdy jest zapuszczony w otworze. Wytrzymałość właściwa materiałów jest brana pod uwagę przy ocenie możliwości wykorzystania różnych materiałów do produkcji rur. Wytrzymałość właściwa materiału to stosunek granicy plastyczności do ciężaru właściwego materiału.

$$I = \frac{S_{0,2}}{\gamma_m},$$

gdzie:

- $S_{0,2}$  – granica plastyczności materiału,
- $\gamma_m$  – ciężar właściwy materiału.

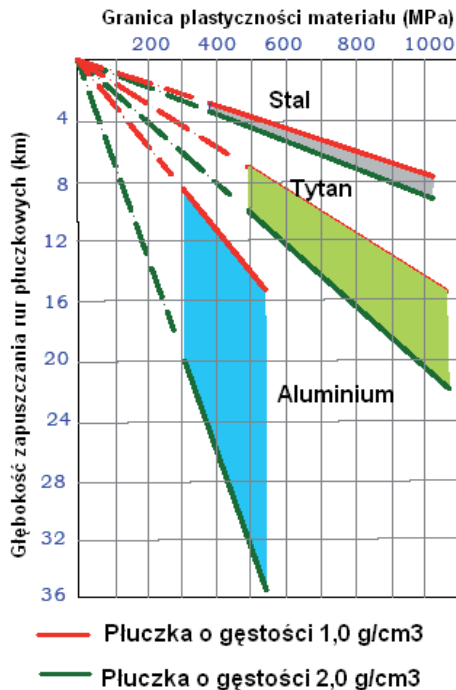
Wytrzymałość właściwa materiału jest mierzona w jednostkach długości. Charakteryzuje ona maksymalną długość jednowymiarowego przewodu wiertniczego wiszącego w powietrzu, gdy poziomy naprężen w miejscu zawieszenia sięgną maksymalną granicę plastyczności ma-

teriału. Fakt, że przewód wiertniczy w płuczce jest lżejszy w wyniku działania siły wyporu, co powinno być wzięte pod uwagę podczas obliczeń. Tak więc, biorąc pod uwagę współczynnik bezpieczeństwa (n), wytrzymałość właściwą można przedstawić wzorem:

$$I = \frac{S_{0,2}}{n(\gamma_m - \gamma_l)},$$

gdzie  $\gamma_l$  – ciężar właściwy płuczki

Rysunek 1 przedstawia potencjalne długości jednowymiarowych przewodów w otworach z płuczka. Zacienione obszary wskazują dopuszczalne długości przewodów wiertniczych dla każdego typu stopu. Te długości są wyliczone z uwzględnieniem potencjalnej zmiany granicy sprężystości (plastyczności) materiału oraz ciężaru właściwego płynów wiertniczych, (1,0 ÷ 2,0 g/cm<sup>3</sup>).



Rys. 1. Głębokość zapuszczania rur płuczkowych wykonanych z różnych materiałów [1]

Jednowymiarowy przewód ADP jest najdłuższym możliwym do zawieszenia (wykres). Dlatego, w oparciu o ten parametr, można wnioskować, że stopy aluminiowe stanowią najlepsze rozwiązanie przy produkcji rur płuczkowych.

#### 4. ODPORNOŚĆ NA WIELOKROTNE ZGINANIE I NAPRĘŻENIA DYNAMICZNE

Jednymi z najważniejszych parametrów materiałów tworzących rury płuczkowe są: moduł sprężystości ( $E$  – Younga) i moduł odkształcenia postaciowego ( $G$ ), które znacząco wpływają na stan naprężeń przewodu wiertniczego. Kiedy przewód obraca się w otworze, podlega zmiennym naprężeniom zginającym:

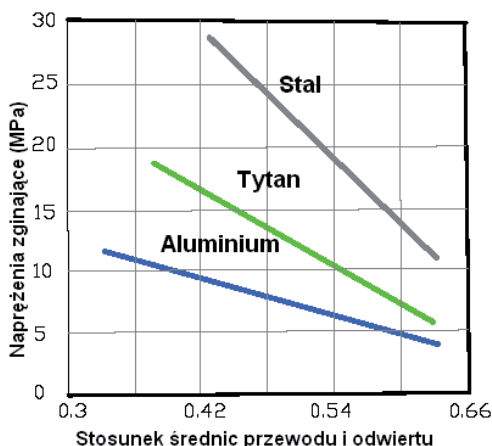
$$S_b = \frac{\pi^2 E d f_0^2}{4 L_0^2}$$

gdzie:

- $d$  = średnica rury płuczkowej,
- $f_0$  = odkształcenia zginające,
- $L_0$  = długość osi półfali zgiętego przewodu.

W przybliżeniu możemy przyjąć, że wielokrotne naprężenia zginające rury płuczkowej są proporcjonalne do modułu sprężystości materiału (pozostałe współczynniki są równe). Ich stosunek dla rur aluminiowych (ADP), tytanowych (TDP) oraz stalowych (SDP) wynosi:  $\sigma_A : \sigma_T : \sigma_S = 1 : 1,55 : 2,96$ .

Rysunek 2 przedstawia rezultaty obliczeń naprężeń zginających przy użyciu Equation 2–3 dla ADP, TDP i SDP w różnych stosunkach średnicy pomiędzy rurą a otworem.



Rys. 2. Naprężenia zginające 146 mm (5 ¾ cala) rur płuczkowych przy różnych średnicach otworu

Dynamiczne naprężenia rozciągające wywołane ustawieniem ciężkiego przewodu wiertniczego na elewatorze bądź klinach hydraulicznych w trakcie operacji zapuszczania, wyciągania można obliczyć ze wzoru:

$$S_D = V \cdot \frac{\sqrt{E\gamma_m}}{q}$$

gdzie:

$V$  = prędkość marszu przewodu,

$q$  = masa jednostkowa rury płuczkowej.

Naprężenia dynamiczne podczas marszu przewodu są proporcjonalne do  $\frac{\sqrt{E\gamma_m}}{q}$  (wszystkie inne współczynniki są równe). Ich proporcje dla materiałów konstrukcyjnych rur płuczkowych (ADP, TDP, SDP) wynoszą: 1:1,6:2,9. Kiedy przewód zawiedzie podczas operacji zapuszczania lub wyciągania, najniższa część przewodu opada na dno.

Następny wzór służy do obliczenia najwyższej siły dynamicznej w rurze, która spada z wysokości  $h$ , dla określenia stopnia deformacji części przewodu, który utknął w otworze:

$$S_D = \gamma_m l \sqrt{1 + \frac{6Eh}{\gamma_m l^2}}$$

gdzie:  $l$  = długość części przewodu traconego.

Ponieważ materiał, z którego produkuje się rury płuczkowe o niższym współczynniku sprężystości posiada z reguły mniejszy ciężar właściwy, stąd można wywnioskować, że dynamiczne obciążenia przewodu przy obniżonym  $E$  jest również mniejsze, kiedy przewód uderza o dno.

Poniższy wzór służy do obliczenia efektywnych dynamicznych naprężeń skręcających dla przypadków, kiedy świder, elementy BHA bądź przewód zaklinuje się w otworze:

$$\tau_D = \frac{\omega \cdot d}{2} \sqrt{\frac{G\gamma_m}{q}}$$

gdzie:

$G$  = moduł sprężystości poprzecznej (Kirchhoffa) materiału konstrukcyjnego rur,

$\omega$  = prędkość obrotowa.

Konsekwentnie, dla takich samych prędkości obrotowych i jednakowych średnic rur, te naprężenia dla rur aluminiowych, tytanowych i stalowych będą w tej samej proporcji, co  $\sqrt{\frac{G\gamma_m}{q}}$  to jest: 1:1,6:2,9.

Podczas operacji uwalniania przewodu wiertniczego, kąt skręcenia przewodu jest używany do kontroli momentu obrotowego. Kąt skręcania jest obliczany za pomocą następującego wzoru:

$$\varphi_o = \frac{ML_{st}}{GI_p}$$

gdzie:

$M$  – moment skręcający,

$L_{st}$  – długość przewodu mierzona od dna otworu do punktu utknięcia,

$I$  – biegunowy moment bezwładności części rurowej.

Kąt skręcenia przewodu wiertniczego jest odwrotnie proporcjonalny do modułu odkształcenia postaciowego materiału, z którego wykonane są rury płuczkowe.

Te obserwacje prowadzą do wniosków, że oba współczynniki sprężystości i odkształcenia postaciowego dają stopom aluminiowym niezaprzeczną przewagę nad stalowymi i tytanowymi stopami.

## 5. ODPORNOŚĆ NA KOROZJĘ

Korozyjne czynniki atakują powierzchnie rur płuczkowych w otworze wiertniczym. Korozja równomierna, zmęczeniowa, wżerowa, selektywna, międzykrystaliczna oraz korozja warstwowa może dotknąć wszystkie rury płuczkowe.

Korozja równomierna jest rezultatem szybkiego zużywania rury płuczkowej, zmniejsza tym samym jego siłę nośną i prowadzi do wcześniejszej nieprzydatności rury. Sелеktywna, międzykrystaliczna oraz warstwowa korozja są najbardziej niebezpieczne. Analiza odporności na korozję różnych materiałów konstrukcyjnych wskazuje na przewagę tytanowych i stalowych stopów nad aluminiowymi dla głównych typów zużycia korozyjnego. Siarkowódór jest wyjątkiem, gdyż odporność aluminium na to medium jest wyższa. Korozja ADP zależy głównie od składu, agresywności i temperatury płynu, z którym przewód wiertniczy ma styczność oraz od czasu kontaktu. Badania nad korozyjnością ADP prowadziły do następujących wniosków:

- pH płynów wiertniczych znacząco wpływa na proces korozji. Niszczenie się mikrostruktury materiału jest znikome przy pH 7,0÷9,5 a szybko wzrasta, gdy pH przekroczy 10,5;
- korozja ADP przyspiesza w wyższych temperaturach;
- warstwa tlenku, która pokrywa powierzchnię rur w trakcie jej kontaktu z tlenem, zapewnia dobrą ochronę rur przed korozją. Jednak tarcie płynów wiertniczych o dużej zawartości ciał stałych mogą uszkodzić film ochronny podczas przepływów turbulentnych; rezultatem tego jest szybsza korozja.

Podczas stosowania płuczek wysoce zasolonych zawierających dużo  $H_2S$ , ADP zdemontowało dużą odporność korozyjną. Dowodzi to, że aluminium jest potencjalnie dobrym materiałem stosowanym z płuczką wiertniczą.

Główną metodą ochrony ADP przed korozją jest dodawanie inhibitorów korozji do płuczki. Polifosforan sodu i oparte na potasie inhibitory stabilizujące są najczęściej stosowane. Także pokrycie smołą całej wewnętrznej powierzchni ADP oraz gruba warstwa anodowa pokrywająca całą powierzchnię rury są skutecznymi środkami ochrony przed korozją.

## 6. ZUŻYCIE ŚCIERNE

Tarcie między rurą płuczkową a otworem bądź ścianami rur okładzinowych powoduje zużycie ściernie. To zużywanie jest funkcją twardości powierzchni materiału tworzącego rury, czasu tarcia, właściwości ściernych skały, siły reakcji podłoża (ściany) oraz smarnych właściwości płynów wiertniczych. Twardość w skali Brinella stopu aluminiowego używanego do produkcji ADP wynosi 120÷140 HB, jest 1,5÷2,0 razy mniejsza niż twardość powierzchni SDP. Dlatego ADP jest bardziej podatne na zużycie niż SDP i TDP, gdy wszystkie inne współczynniki są równe. Jednakże, biorąc pod uwagę, że ADP posiada mniejszy ciężar, siły reakcji wywołane pod wpływem naprężeń przewodu są znacząco niższe niż SDP. Skutkiem tego jest niższe zużycie ADP w porównaniu z SDP, gdy wszystkie inne czynniki są równe. Ściernie cząstki występujące w płynach wiertniczych, krążących z dużą prędkością wewnątrz rur płuczkowych powodują zużywanie wewnętrznych ścian. Ten proces jest bardziej intensywny w strefach przejściowych wzdłuż wewnętrznej średnicy (połączenia rur płuczkowych, połączenie ze zwornikiem) w wyniku przepływów burzliwych płynów wiertniczych. Ten proces jest bardziej intensywny z ADP a mniej z SDP i TDP.

## 7. TŁUMIENIE WIBRACJI

Bardziej skuteczne środki tłumienia i kontroli wibracji w systemie świder/przewód może być zaprojektowany w oparciu o fizyczne i mechaniczne właściwości materiałów stosowanych do produkcji rur płuczkowych. W stosunku do stali, stop aluminiowy posiada dużą zdolność do absorbowania i elastycznego rozpraszania energii wibracji. Badania przeprowadzone w Rosji wykazały że wszystkie rodzaje rur płuczkowych ze stopów aluminiowych mają podobną zdolność pochłaniania wibracji. Również grubościenną ADP posiadają około 50% wyższą zdolność niwelowania drgań niż stal. ADP z połączeniami przegubowymi posiada współczynnik tłumienia 30÷35% niższy niż sztywno połączone ADP.

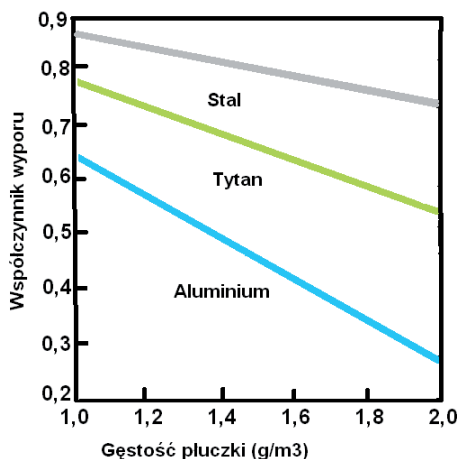
## 8. KORZYŚCI EKONOMICZNE STOSOWANIA ALUMINIOWYCH RUR PŁUCZKOWYCH

Techniczne i ekonomiczne parametry związane z wierceniem zależą od ciężaru przewodu wiertniczego. Przy tej samej zdolności nośnej urządzenia wiertniczego, łączny czas marszu po ukończeniu operacji wiertniczych w otworze jest wprost proporcjonalny do zużycia mocy dla tych operacji. Jednocześnie, zużycie energii (mocy) zależy od rozkładu masy w sekcjach przewodu jak również od całkowitej masy przewodu. Masa przewodu wiertniczego jest funkcją gęstości materiału konstrukcyjnego, jego wymiarów oraz głębokości otworu. Ponieważ przewód wiertniczy pracuje w otworze wypełnionym płuczką, siły wyporu wpływają na jego pracę redukując masę. Poniższy wzór opisuje redukcję masy:

$$K_o = \frac{(\rho_m - \rho_l)}{\rho_m},$$

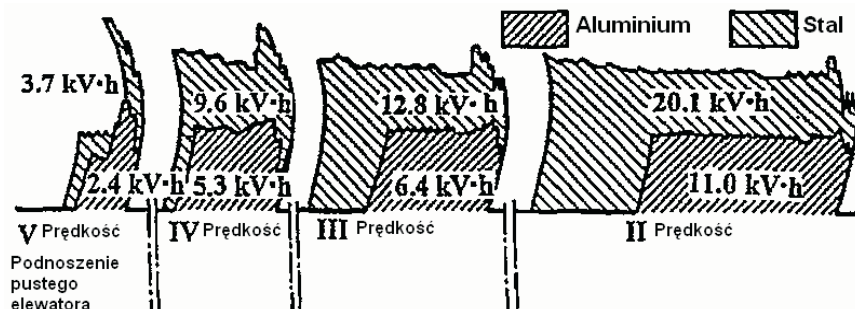
gdzie:  $\rho_m$  i  $\rho_l$  to gęstości materiału konstrukcyjnego i płuczki.

Rysunek 3 przedstawia korelacje pomiędzy współczynnikiem wyporu (współczynnik redukcji masy) rur płuczkowych ze stopów: aluminiowego, tytanowego i stalowego, a gęstością płuczki. Współczynnik wyporu dla ADP w płuczce o gęstości  $1,2 \text{ g/cm}^3$  wynosi  $0,57$ , podczas gdy dla stali wynosi  $0,85$ . Oznacza to że przewód aluminiowy w płuczce o gęstości  $1,2 \text{ g/cm}^3$  redukuje niemal o połowę swoją masę w powietrzu, w porównaniu ze stalowym przewodem, który jest tylko o 15% lżejszy. To bardzo dobry wynik.



Rys. 3. Współczynniki wyporu dla rur aluminiowych, stalowych i tytanowych [1]

Kilka testów terenowych przeprowadzono w celu oceny rzeczywistych technicznych i ekonomicznych zalet ADP. Testy polowe określiły bardziej dokładne wartości zmniejszania czasu, który może być wystąpić dla pewnych operacji marszowych po zamianie SDP na ADP. Podobne urządzenia wiertnicze (firmy Samaraneft) z podobnym wyposażeniem mechanicznym zostały użyte do testów, [1, 4].



Rys. 4. Moc zużyta do wyciągania przewodu ADP i stalowego [1]



Tabela 2 przedstawia wyniki tych testów.

Używanie ADP prowadzi do znacząco niższego zużycia mocy dla operacji marszowych. Rysunek 4 przedstawia typowe zużycie mocy wyciągu wiertniczego w różnych prędkościach wyciągania rur aluminiowych i stalowych.

**Tabela 2**

Czas marszu (w sekundach) dla ADP i SDP przewodów wiertniczych [1]

Rodzaj operacji	SDP, wielokrażek linowy (5 × 6)		ADP, wielokrażek linowy (3 × 4)			Średnio		Δ Czasu dla ADP
	Otwór 51	Otwór 189	Otwór 181	Otwór 185	Otwór 190	SDP	ADP	
Wyciąganie z otworu								
Drugi bieg	–	108,9	67,2	65,9	68,9	108,9	67,3	41,6
Trzeci bieg	–	65,7	43,3	42,8	42,9	65,7	43,0	22,7
Czwarty bieg	49,7	45,5	29,8	28,1	28,8	45,7	28,9	16,8
Umieszczanie rur płuczkowych w klinach	3,6	2,2	3,0	2,9	2,8	2,9	2,9	0
Odpięcie elewatora, popuszczenie i rozłączanie pasa rur	35,8	29,7	19,4	21,0	21,7	32,7	20,7	12,7
Odstawienie i odpięcie elewatora	5,3	5,9	7,6	6,0	6,1	5,6	6,6	–1,0
Suma	+110,8							
Zapuszczanie do otworu								
Zapięcie i skręcenie przewodu	30,7	30,4	22,3	26,6	24,2	30,5	24,4	6,1
Zwolnienie z klinów	1,4	–	1,5	1,1	–	1,4	1,3	0,1
Zapuszczanie	24,8	20,7	15,9	19,1	19,3	22,7	18,1	4,6
Odstawienie elewatora	5,2	3,7	2,4	2,7	3,2	4,5	4,1	0,4
Umieszczanie pasów na klocek	6,5	4,7	5,7	5,6	6,5	5,7	5,9	–0,2
Suma	+11,0							

**Tabela 3**

Porównanie rur płuczkowych aluminiowych Reynoldsa (ADP) ze stalowymi rurami płuczkowymi (SDP), w odniamie wytrzymałościowej E [1]

Właściwości rury płuczkowej	Średnica rury (mm)											
	73		89		102		V	4	127		140	
	ADP	SDP	ADP	SDP	ADP	SDP	ADP	SDP	ADP	SDP	ADP	SDP
Średnica zewnętrzna (mm)	85,1	73,0	94,0	89,0	106,7	101,6	116,8	114,3	130,8	127,0	144,3	139,7
Średnica wewnętrzna (mm)	54,6	54,6	68,0	70,2	83,3	84,8	91,4	97,2	104,1	108,6	118,8	121,4
Grubość ścianki (mm)	15,2	9,2	13,0	9,4	11,7	8,4	12,7	8,6	13,3	9,2	12,7	9,2
Średnica zewnętrzna zwornika (mm)	104,8	104,8	120,7	120,7	146,1	146,1	155,6	155,6	177,8	177,8	178,3	178,3
Jednostkowa masa rury ze zwornikiem (kg/m)												
W powietrzu	11,0	16,3	11,7	20,7	14,4	23,2	16,0	26,6	20,5	31,8	21,5	34,8
W płuczce 1,2 g/cm <sup>3</sup>	6,7	13,8	7,2	17,5	9,0	19,6	10,3	22,5	13,2	26,9	13,9	29,5
W płuczce 1,7 g/cm <sup>3</sup>	5,1	12,7	5,5	16,2	7,1	18,2	7,9	20,9	10,4	25,0	10,9	27,4
Zdolność wytrzymałościowa (kN)												
Dopuszczalna granica rozciągania	1266	973	1348	1233	1423	1296	1696	1498	2006	1796	2138	1985
Maksymalna nośność	1566	1352	1725	1703	1811	1798	2157	2079	2552	2497	2728	2747
Granica skręcania dla siły = $\sigma_{0,2}$ (kN-m)	21,5	15,9	28,6	26,6	33,9	33,8	47,5	44,6	64,4	59,1	76,8	72,7
Granica zgniecenia (MPa)	99,6	91,1	84,9	77,8	69,0	62,6	68,9	57,3	65,3	55,6	56,8	48,9
Granica rozrywania dla siły = $\sigma_{0,2}$ (MPa)	130,6	156,3	130,5	130,6	84,5	102,4	83,9	92,9	78,6	69,8	67,9	81,5

Średnia wartość zużycia mocy dla ADP stanowi połowę tego, co przy rurach stalowych. Rysunek 4 pokazuje również, że przewód ADP został wyciągnięty szybciej. Analiza technicznych i ekonomicznych parametrów wierceń w obszarach o podobnych warunkach i za pomocą tego samego wyposażenia wiertniczego wskazuje, że ADP (w odróżnieniu od SDP) obniża czas operacji marszowych o około 18÷35%. Dodatkowo zauważono znaczący spadek zużycia mocy dla tych operacji.

Nie ma wątpliwości, że stosowanie ADP podczas wiercenia oszczędza zasoby materiałowe i czas, w świetle faktów, że zużycie paliwa i smarów, liny wielokrążkowej, klocków hamulcowych, części zapasowych sprzętu wyciągowego wiertnicy jest proporcjonalne do zużycia energii (mocy). Hydrauliczny opór ADP jest także niższy o około 15÷25% niż SDP z powodu specyficznych właściwości powierzchni ADP. Przekłada się to na mniejsze straty

hydrauliczne i większą efektywność pracy. Technologiczne i ekonomiczne zalety ADP mogą być oparte o porównanie technicznych parametrów standardowej długości ADP wyprodukowanych przez firmę Reynolds z SDP w odmianie wytrzymałościowej E (według API). Tabela 3 prezentuje dane dla stopu ADP 2024-T6, który jest podobny do rosyjskiego D16T jeśli chodzi o właściwości mechaniczne. Tabela 3 pokazuje, że ADP przewyższa w działaniu rury płuczkowe stalowe w odmianie wytrzymałościowej E podobnych rozmiarów.

## 9. 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, [2, 3, 4]. W Rosji, będącej prekursorem aluminiowych wyrobów rurowych użyto aluminiowych rur płuczkowych przy wierceniu najgłębszego otworu SG-3 w skali światowej o długości 12 262 m. Dzięki wieloletnim doświadczeniom rosyjskich inżynierów i naukowców w projektowaniu, wytwarzaniu i stosowaniu aluminiowych rur płuczkowych możemy ocenić możliwości wykorzystania tych produktów do wierceń poszukiwawczych. Rosyjski przemysł metalurgiczny z pewnością zapisał się w kartach historii przemysłu naftowego jako twórca nowych elementów przewodu wiertniczego. Aluminiowe rury sprawdzają się przy wierceniach kierunkowych, zwłaszcza przy bardzo długich i skomplikowanych jak Z-11 na wyspie Sachalin wykonany przez „Exon Neftegaz Ltd.”. Otwór wiertniczy posiadał 11,28 km długości, co stanowiło rekord dla tego typu odwiertów (ExtendedReach Drilling). Innym dobrym rozwiązaniem jest stosowanie aluminiowych rur płuczkowych w wierceniach morskich bez risera. Często statki wiertnicze wykonujące tego typu operacje posiadają ograniczoną (małą) ładowność. Główną zaletą stosowania w takich warunkach (w porównaniu do stalowych rur) jest potencjalna możliwość zwiększania głębokości wody podczas używania tego samego statku wiertniczego o ograniczonej ładowności. Dla przykładu, podczas wierceń geotechnicznych ze statków „Busentaur” i „Bavenit” przy użyciu stalowych rur płuczkowych, maksymalna głębokość wody sięgała 500 m. Firma „Aquatic” z zastosowaniem tych samych statków, ale aluminiowych rur płuczkowych uzyskała możliwość wiercenia w wodach głębokich sięgających 1500 m. Wiertnicze wyroby rurowe przynoszą największe korzyści przy odwiertach głębokich i super głębokich.

Porównanie ADP z SDP wskazuje, że należy bardziej intensywnie podjąć prace badawcze i konstrukcyjne nad przewodami wiertniczymi w kierunku ich powszechnego stosowania w przemyśle naftowym. Powyższe porównanie w niektórych aspektach wskazuje wyższość stosowania rur ADP nad SDP. Polski przemysł naftowy nie stosuje wiertniczych wyrobów rurowych ze stopów aluminium. Myślę, że warto podjąć próbę zastosowania nowych projektów rur, gdyż może to przynieść znaczące korzyści ekonomiczne.

## LITERATURA

- [1] Akgun F., Maida E., Basovich V., Gelfgat M.: *Why Not Use Aluminum in Drilling?* IADC/SPE 47823, 1998
- [2] 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
- [3] Gelfgat Mikhail Y., Vladimir S. Basovich, Vadim S. Tikhonov: *Drillstring with aluminum alloy pipes design and practices*, SPE 79873, Amsterdam 2003
- [4] Placido J. C. R., Netto T.A., Miscow G.F.: *Fatigue analysis of aluminum drill pipes*, ABM Międzynarodowy Kongres, Sao Paulo 2004