

Analiza możliwości poprawy właściwości smarnych płuczek stosowanych w warunkach przemysłowych

Possibilities of improving the lubricity properties of drilling muds used in industrial conditions

Bartłomiej Jasiński

Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: Tarcie bardzo często jest zjawiskiem niekorzystnym, ponieważ powoduje znaczne straty energii na pokonanie oporów tarcia oraz niszczenie współpracujących powierzchni. W procesie wiercenia otworów wiertniczych tarcie występuje głównie na styku przewodu wiertniczego ze ścianą otworu oraz świdra i zwiercanej skały. Na skutek tego występują takie niekorzystne zjawiska, jak wzrost momentu obrotowego czy szybkie zużywanie narzędzi wiertniczych. Stąd też jednym z głównych zadań płuczki wiertniczej jest smarowanie elementów świdra, jak i przewodu wiertniczego. Płuczki olejowe oraz płuczki polimerowe, zawierające polimer w postaci emulsji olejowej odznaczają się z reguły wystarczającą smarnością. Płuczki wodnodispersyjne wykazują się niższą smarnością. W ich przypadku konieczne jest zatem stosowanie odpowiednich środków smarnych. W artykule przedstawiono analizę możliwości poprawy właściwości smarnych stosowanych obecnie w przemyśle naftowym inhibitowanych płuczek wiertniczych, poprzez dodatek różnych rodzajów środków smarnych. W toku realizacji pracy przebadano cztery środki smarne: SL, EL, B oraz połączenie nanokrzemionki hydrofilowej i mikrokrzemionki. Środki te dodawane były w koncentracji 0,5% oraz 1,0% do trzech rodzajów płuczek wiertniczych: polimerowo-potasowej, glikolowo-potasowej oraz potrójnie inhibitowanej. Badania skuteczności działania prowadzone były w oparciu o pomiar współczynnika tarcia przy użyciu aparatu Grace 2200 HPHT. Współczynnik tarcia określany był na kontakcie stal–stal, stal–anhydryt, stal–piaskowiec oraz stal–dolomit. Ponadto określony został wpływ badanych środków na podstawowe parametry oraz właściwości inhibitacyjne płuczek wiertniczych. Otrzymane wyniki wykazały, że spośród badanych środków najwyższą efektywnością charakteryzowały się SL oraz EL, przy czym środek SL działał lepiej w środowisku płuczki polimerowo-potasowej. Środek EL był natomiast skuteczniejszy w otoczeniu płuczki glikolowo-potasowej i potrójnie inhibitowanej. Najmniej efektywnym działaniem charakteryzowało się połączenie nanokrzemionki hydrofilowej i mikrokrzemionki.

Słowa kluczowe: płuczka wiertnicza, smarność, lubrykant, współczynnik tarcia.

ABSTRACT: Friction is often an unfavorable phenomenon because it causes significant energy losses to overcome frictional resistance and damage to surfaces working together. In the course of drilling boreholes, friction occurs mainly at the contact of the drill string with the borehole wall and the drill bit with the drilled rock. As a result, there are such unfavorable phenomena as increase in torque or rapid wear of drilling tools. Therefore, one of the main tasks of the drilling mud is lubrication of the drill bit and drill string elements. Oil-based drilling muds and muds containing polymer in the form of an oil emulsion are usually characterized by sufficient lubricity. Water-based drilling muds have a lower lubricity, so it is necessary to use appropriate lubricants in their case. The article presents attempts to improve lubricity properties of inhibited drilling muds that are currently used in the petroleum industry, by adding various types of lubricants. In the course of the research, four lubricants were tested: SL, EL, B and a combination of hydrophilic nanosilica and microsilica. These agents were added in a concentration of 0.5% and 1.0% to three types of fluids: polymer-potassium, glycol-potassium and triple-inhibited drilling mud. The effectiveness tests were carried out based on the measurement of the friction coefficient using the Grace 2200 HPHT drilling simulator. The friction coefficient was determined for steel-steel, steel-anhydrite, steel-sandstone, and steel-dolomite contact. In addition, the impact of the tested measures on the basic parameters and the inhibitory properties of drilling fluids was determined. The obtained results showed that SL and EL were characterized by the highest efficiency, with SL acting better in the environment of polymer-potassium mud, while the EL was more effective in glycol-potassium and triple-inhibited drilling muds. The least effective was the combination of hydrophilic nanosilica and microsilica.

Key words: drilling mud, lubricity, lubricant, friction coefficient.

Wstęp

W procesie wiercenia otworu, szczególnie otworu kierunkowego i na większych głębokościach, duże znaczenie mają właściwości smarne płuczek wiertniczych. Występujące w procesie wiercenia otworu tarcie pomiędzy przewodem wiertniczym a ścianą otworu oraz świdrem a skałą powoduje wzrost momentu obrotowego oraz abrazyjne, cieplne i zmęczeniowe zużywanie się narzędzi wiertniczych. Utrzymywanie współczynnika tarcia w kontakcie elementów przewodu wiertniczego oraz świdra ze zwiercaną skałą na jak najniższym poziomie (poprzez zastosowanie odpowiednich środków smarnych) skutkuje polepszeniem zwiercalności skał, zmniejszeniem momentu skręcającego przewód wiertniczy oraz zmniejszeniem zużycia stosowanych narzędzi wiertniczych (Foxenberg et al., 2008; Ismail et al., 2016). Bardzo istotnym efektem poprawy właściwości smarnych płuczki jest wzrost mechanicznej prędkości wiercenia.

Uzyskanie niskich wartości współczynnika tarcia na kontakcie stal-stal oraz stal-skała możliwe jest dzięki zastosowaniu w składzie płuczki wiertniczej odpowiednio dobranych środków smarnych.

Dodatki smarne

Środki smarne dodawane są do płuczek wiertniczych przede wszystkim w celu zminimalizowania siły tarcia występującej na powierzchniach stykających się powierzchni (Raczkowski i Półchłopek, 1998; Kania et al., 2015; Jasiński, 2017). Siłę tarcia określa się zależnością:

$$T = \mu \cdot F_n \quad (1)$$

gdzie:

μ – współczynnik tarcia,

F_n – siła nacisku obiektu na podłoże.

Środki smarne stosowane są głównie w płuczkach wodnodispersyjnych, ponieważ właściwości smarne tych systemów, w przeciwieństwie do płuczek olejowodispersyjnych, są niewystarczające. Mimo, że płuczki olejowe naturalnie wykazują wysoką smarność to wciąż w większości przypadków stosuje się płuczki wodnodispersyjne, głównie z uwagi na ich właściwości takie, jak stosunkowo niski koszt, niska toksyczność i biodegradowalność (Uliasz, 2009; Błaż, 2016).

Z uwagi na to, że odpowiednie właściwości smarne płuczki odgrywają tak dużą rolę w prawidłowym procesie wiercenia, prowadzone są szerokie badania nad opracowaniem nowych rodzajów środków smarnych. Literatura podaje takie środki, jak (Argillier et al., 1997; Skalle et al., 1999; Dong et al., 2015; Erhan, 2008; Foxenberg et al., 2008):

- mieszaniny estrów olejów roślinnych, emulgatorów niejonowych oraz olejów mineralnych;
- biolubrykanty, tworzone na bazie olejów pochodzenia roślinnego, takich jak: olej rycynowy, olej kokosowy, olej tallowy, olej sojowy, olej słonecznikowy czy olej rzepakowy;
- węglowe nanorurki, nanokrzemionka i szklane kulki;
- środki fosfolipidowe PLC;
- nienasycone kwasy tłuszczowe oraz ich mieszaniny, mydła, etery i inne (Jasiński, 2017).

Nanomateriały jako środki smarne

Nanotechnologia od dawna znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach, a w niektórych, takich jak biologia, informatyka, ochrona środowiska czy energetyka spełnia wręcz kluczową rolę (Dębińska, 2015). W ostatnich latach nanomateriały coraz większą popularność zdobywają również w technologii wiertniczej. Wśród stosowanych obecnie płuczek wiertniczych stosuje się tzw. inteligentne systemy płuczkowe. Są to ciecze nano, w których zawarte są cząstki w rozmiarze nanometrów. W zależności od liczby dodatków nanowymiarowych można dokonać podziału płuczek na proste ciecze nano oraz zaawansowane ciecze nano. Płuczki zawierające w swoim składzie jeden rodzaj nanocząstek nazywane są prostymi nanopłuczkami, natomiast płuczki zawierające więcej niż jeden rodzaj nanocząstek definiowane są jako zaawansowane nanopłuczki. Literatura wskazuje, że głównymi zaletami płuczek zawierających nanomateriały są: zmniejszenie uszkodzenia złoza, korzystny wpływ na zapewnienie płynnej pracy w czasie wiercenia, skuteczność w obniżaniu filtracji płuczek wiertniczych znacznie lepsza niż stosownych do tego celu polimerów celulozowych oraz skuteczność przy likwidowaniu zaników płuczki (Abdo i Haneef, 2012; Abdo i Haneef, 2016; Zima, 2017; Rafati et al., 2018).

Saffari i in. wykazali w swojej pracy (Saffari et al. 2018), że nanocząsteczki mogą być również bardzo skutecznym środkiem redukującym współczynnik tarcia. Wskazali oni cztery prawdopodobne mechanizmy polepszające właściwości smarne płuczek wiertniczych:

- efekt toczenia;
- tworzenie cienkiego filmu;
- wypełnianie przez nanocząstki ubytków w trących o siebie powierzchniach;
- szlifowanie wypukłości trących o siebie powierzchni.

Autorzy w swoich badaniach sprawdzili działanie nanocząstek boranu magnezu, boranu cynku, boranu glinu oraz boranu tytanu. Uzyskane przez autorów wyniki były bardzo korzystne. Obniżenie wartości współczynnika tarcia w stosunku do płuczki nieobrobionej wynosiło aż 86,5% w przypadku boranu tytanu. Niestety środki te są trudno dostępne i drogie.

Jednym z najczęściej wykorzystywanych w przemyśle naftowym nanomateriałem jest ditlenek krzemu (krzemionka SiO_2). Dostępność tego materiału oraz specyficzne właściwości przyczyniły się do jego szerokiego zastosowania. Jest on trwały w wodzie w podwyższonych temperaturach, a dodatkowo to dobry izolator. Krzemionka jest chemicznie inerta i ulega reakcjom jedynie z wrzącymi, stężonymi roztworami wodnymi KOH i NaOH, stopionymi Na_2CO_3 i K_2CO_3 oraz fluorowodorem lub jego wodnymi roztworami. Średnica nanocząstek ditlenku krzemu produkowanego w przemyśle najczęściej zawiera się w przedziale od 5 do 1000 nm, a ich powierzchnia właściwa mieści się w zakresie od 545 do $2,73 \text{ m}^2/\text{g}$ (Dębińska, 2015; Zima, 2017).

Opis przeprowadzonych badań

Badania współczynnika tarcia prowadzono przy użyciu aparatu Grace 2200 w temperaturze 100°C . Pomiaru dokonywano na kontakcie stal–stal oraz stal–skała. W pierwszym etapie realizacji badań wyselekcjonowano trzy rodzaje skał: anhydryt, piaskowiec i dolomit, pochodzące z otworów wiertniczych A-1 oraz B-1.

Z wyselekcjonowanych skał przygotowano próbki, które w dalszej części badań posłużyły do określenia współczynnika tarcia na kontakcie stal–anhydryt, stal–piaskowiec i stal–dolomit.



Fot. 1. Próbki skał: anhydryt, piaskowiec, dolomit
Photo 1. Rock samples: anhydrite, sandstone, dolomite

Tabela 2. Skład i parametry zastosowanych płuczek wiertniczych

Table 2. Composition and parameters of used drilling muds

Rodzaj płuczki wiertniczej	Gęstość [g/cm^3]	Lepkość [$\text{mPa} \cdot \text{s}$]		Granica plynięcia [Pa]	Wytrzymałość strukturalna I/II [Pa]	Filtracja API [cm^3]	pH	Dyspersja [%]	
		η_{pl}	η_s	τ_y				20°C	
								P_1	P_2
Płuczka polimerowo-potasowa	1,07	41,2	59,0	17,1	1,9 / 2,2	11,0	9,7	94	30
Płuczka glikolowo-potasowa	1,07	31,2	43,4	11,7	2,9 / 3,7	7,8	9,5	98	72
Płuczka potrójnie inhibitowana	1,07	36,1	53,8	17,0	3,5 / 6,2	6,8	9,5	100	80

Tabela 1. Rodzaj i pochodzenie próbek skał zastosowanych w badaniach

Table 1. Type and origin of rock samples used in the studies

Rodzaj skały	Otwór	Głębokość [m]
Anhydryt	A-1	3551–3567
Piaskowiec	B-1	4010–4029
Dolomit	A-1	3260–3278

Następnie wytypowane zostały trzy rodzaje inhibitowanych płuczek wiertniczych powszechnie stosowanych w przemyśle wiertniczym: płuczka polimerowo-potasowa, płuczka glikolowo-potasowa oraz płuczka potrójnie inhibitowana. We wszystkich tych płuczkach zastosowany był chlorek potasu, jako jonowy inhibitor hydratacji skał ilastych. Ponadto w płuczce polimerowo-potasowej znajdował się polimer kapsułujący PHPA, a w płuczce glikolowo-potasowej dwuskładnikowy układ blokowego kopolimeru tlenku etylenu i tlenku propylenu w połączeniu z oksyetylenowanym trójglicerydem kwasu rycynolowego. Płuczka potrójnie inhibitowana określana również jako HPWBM (*High Performance Water Based Mud*) łączyła inhibitujące działanie soli potasowej, polimeru kapsułującego i glikolu.

Jako dodatki smarne zastosowano środki SL, EL, B oraz połączenie nanokrzemionki hydrofilowej i mikrokrzemionki w stosunku 50:50. Środki te dodawano do płuczek w stężeniu 0,5% oraz 1,0%. Następnie prowadzone były pomiary współ-

czynnika tarcia przy nacisku 100 funtów (445 N) i prędkości obrotowej rotora wynoszącej 50 obr/min.

W kolejnym etapie realizacji badań określono wpływ badanych środków smarnych na podstawowe parametry technologiczne płuczek, takie jak właściwości reologiczne, gęstość, filtracja, pH oraz na ich właściwości inhibitacyjne.

Omówienie uzyskanych wyników

W tabeli 3 oraz na rysunkach 1–4 przedstawione są wartości współczynnika tarcia zmierzone w płuczce polimerowo-potasowej oraz zmodyfikowanej poprzez dodatek środków smarnych. Współczynnik tarcia na kontakcie stal–stal w wyjściowej płuczce w temperaturze 100°C miał wartość 0,25. Najefektywniej działającym środkiem był SL. Stężenie 0,5% było wystarczające, aby obniżyć tę wartość do 0,15 (zmniejszenie o 40%). Wzrost koncentracji środka smarnego spowodował dalsze obniżenie wartości współczynnika tarcia do 0,13. Najmniej korzystne działanie zaobserwowano w przypadku kombinacji nano i mikrokrzemionki, zarówno w stężeniu 0,5%, jak i 1,0%. Odnotowano zmniejszenie wartości współczynnika tarcia o 4%.

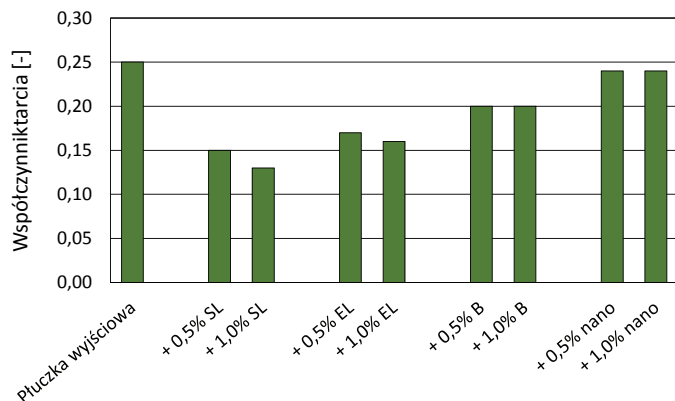
Wartość współczynnika tarcia na kontakcie stal–anhydryt, stal–piaskowiec i stal–dolomit w płuczce polimerowo-potasowej wynosiła odpowiednio 0,19, 0,36 oraz 0,30. Podobnie jak

w przypadku stali, najlepiej działającym dodatkiem smarnym był SL, który w stężeniu 1,0% powodował obniżenie współczynnika tarcia kolejno o 32%, 56% oraz 50%. Na kontakcie stal–anhydryt odnotowano również korzystne oddziaływanie dodatku EL w stężeniu 1,0%. Stopień oddziaływania środka B oraz nanomateriałów był niewielki w porównaniu do środków SL i EL. W przypadku połączenia nano i mikrokrzemionki zanotowano nawet wzrost wartości współczynnika tarcia w kontakcie stal–piaskowiec.

Kolejną przebadaną płuczką wiertniczą była płuczka glikolowo-potasowa. Charakteryzowała się ona współczynnikiem tarcia równym 0,18 na kontakcie stal–stal, 0,18 na kontakcie stal–anhydryt, 0,30 na kontakcie stal–piaskowiec oraz 0,25 na kontakcie stal–dolomit. Spośród sprawdzonych dodatków smarnych największą efektywnością w obniżaniu współczynnika tarcia odznaczał się środek EL. Jego zastosowanie pozwalało uzyskać wyniki niższe o 50% w przypadku stali, 33% dla anhydrytu, 47% dla piaskowca i aż 52% dla dolomitu.

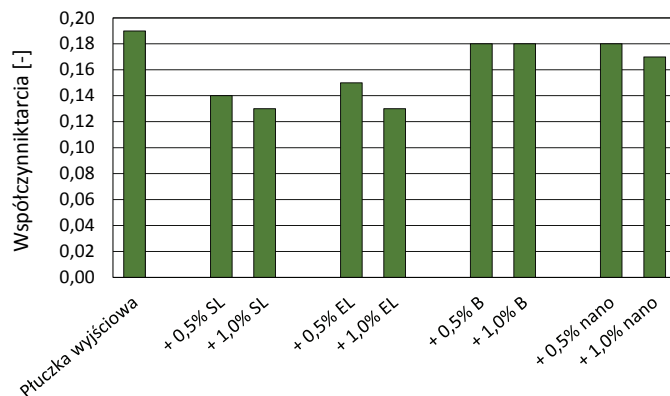
Tabela 3. Wartości współczynnika tarcia dla różnych materiałów w otoczeniu płuczki polimerowo-potasowej w temperaturze 100°C
Table 3. Values of the friction coefficient for various materials in environment of polymer-potassium drilling mud at temperature 100°C

Rodzaj płuczki	Stężenie środka smarnego	Materiały kontaktowe							
		stal–stal		stal–anhydryt		stal–piaskowiec		stal–dolomit	
Wyjściowa płuczka polimerowo-potasowa	–	0,25		0,19		0,36		0,30	
Płuczka polimerowo-potasowa + SL	0,5%	0,15	↓ 40%	0,14	↓ 26%	0,17	↓ 53%	0,16	↓ 47%
	1,0%	0,13	↓ 48%	0,13	↓ 32%	0,16	↓ 56%	0,15	↓ 50%
Płuczka polimerowo-potasowa + EL	0,5%	0,17	↓ 32%	0,15	↓ 21%	0,22	↓ 39%	0,19	↓ 37%
	1,0%	0,16	↓ 36%	0,13	↓ 32%	0,21	↓ 42%	0,16	↓ 47%
Płuczka polimerowo-potasowa + B	0,5%	0,20	↓ 20%	0,18	↓ 5%	0,33	↓ 8%	0,27	↓ 10%
	1,0%	0,20	↓ 20%	0,18	↓ 5%	0,32	↓ 11%	0,27	↓ 10%
Płuczka polimerowo-potasowa + nanokrzemianka + mikrokrzemianka	0,5%	0,24	↓ 4%	0,18	↓ 5%	0,34	↓ 6%	0,28	↓ 7%
	1,0%	0,24	↓ 4%	0,17	↓ 11%	0,37	↑ 3%	0,28	↓ 7%



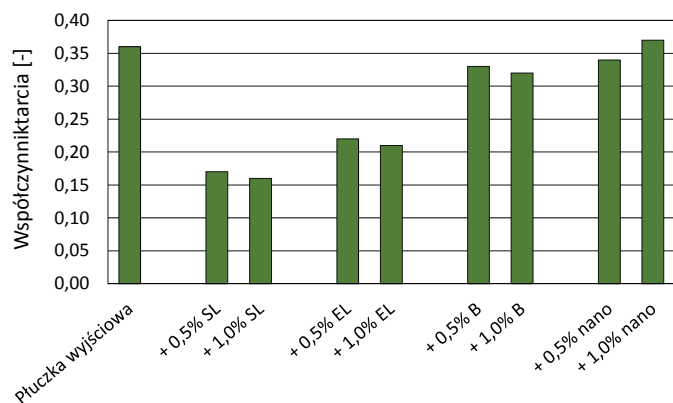
Rys. 1. Współczynnik tarcia na kontakcie stal–stal w płuczce polimerowo-potasowej w temperaturze 100°C

Fig. 1. Friction coefficient on the steel–steel contact in polymer-potassium drilling mud at temperature 100°C



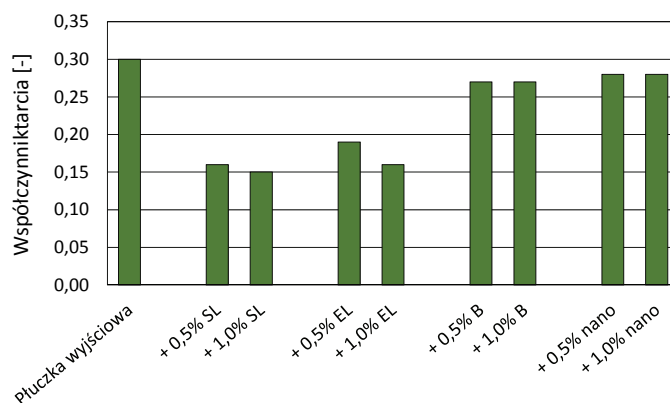
Rys. 2. Współczynnik tarcia na kontakcie stal–anhydryt w płuczce polimerowo-potasowej w temperaturze 100°C

Fig. 2. Friction coefficient on the steel–anhydrite contact in polymer-potassium drilling mud at temperature 100°C



Rys. 3. Współczynnik tarcia na kontakcie stal–piaskowiec w płuczce polimerowo-potasowej w temperaturze 100°C

Fig. 3. Friction coefficient on the steel–sandstone contact in polymer-potassium drilling mud at temperature 100°C



Rys. 4. Współczynnik tarcia na kontakcie stal–dolomit w płuczce polimerowo-potasowej w temperaturze 100°C

Fig. 4. Friction coefficient on the steel–dolomite contact in polymer-potassium drilling mud at temperature 100°C

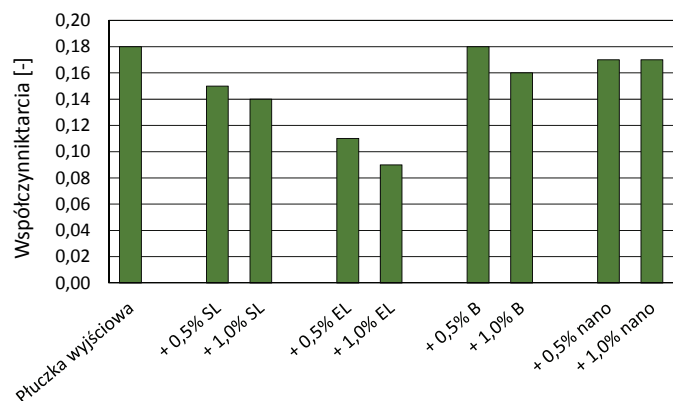
Podobnie, jak w przypadku płuczki polimerowo-potasowej, najniższą skuteczność działania wykazała kombinacja nano

i mikrokrzemionki. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 4 oraz na rysunkach 5–8.

Tabela 4. Wartości współczynnika tarcia dla różnych materiałów w otoczeniu płuczki glikolowo-potasowej w temperaturze 100°C

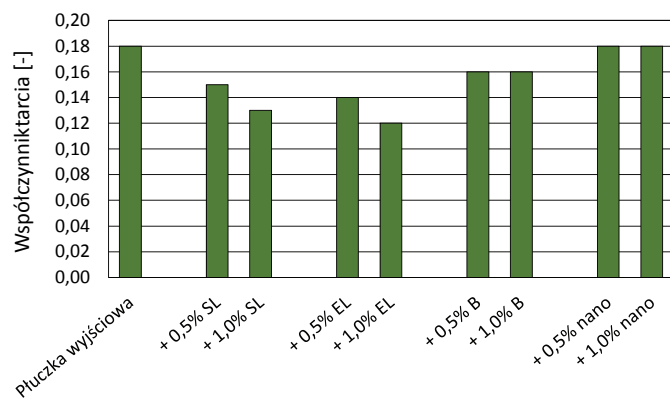
Table 4. Values of the friction coefficient for various materials in environment of glycol-potassium drilling mud at temperature 100°C

Rodzaj płuczki	Stężenie środka smarowego	Materiały kontaktowe							
		stal–stal		stal–anhydryt		stal–piaskowiec		stal–dolomit	
Wyjściowa płuczka glikolowo-potasowa	–	0,18		0,18		0,30		0,25	
Płuczka glikolowo-potasowa + SL	0,5%	0,15	↓ 17%	0,15	↓ 17%	0,21	↓ 30%	0,20	↓ 20%
	1,0%	0,14	↓ 22%	0,13	↓ 28%	0,18	↓ 40%	0,16	↓ 36%
Płuczka glikolowo-potasowa + EL	0,5%	0,11	↓ 39%	0,14	↓ 22%	0,20	↓ 33%	0,19	↓ 24%
	1,0%	0,09	↓ 50%	0,12	↓ 33%	0,16	↓ 47%	0,12	↓ 52%
Płuczka glikolowo-potasowa + B	0,5%	0,18	0%	0,16	↓ 11%	0,28	↓ 7%	0,23	↓ 8%
	1,0%	0,16	↓ 11%	0,16	↓ 11%	0,25	↓ 17%	0,21	↓ 16%
Płuczka glikolowo-potasowa + nanokrzemianka + mikrokrzemianka	0,5%	0,17	↓ 6%	0,18	0%	0,29	↓ 3%	0,24	↓ 4%
	1,0%	0,17	↓ 6%	0,18	0%	0,28	↓ 7%	0,24	↓ 4%



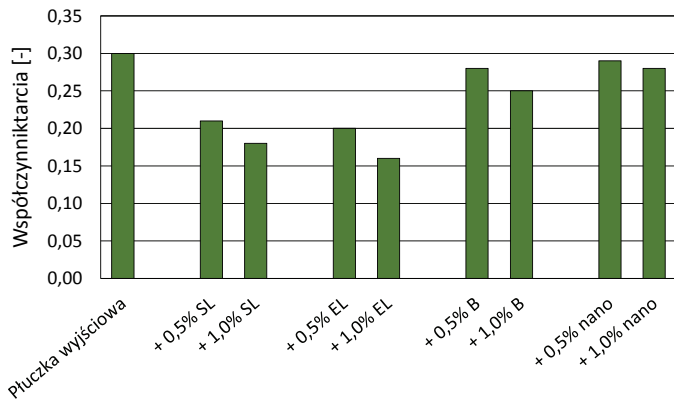
Rys. 5. Współczynnik tarcia na kontakcie stal–stal w płuczce glikolowo-potasowej w temperaturze 100°C

Fig. 5. Friction coefficient on the steel–steel contact in glycol-potassium drilling mud at temperature 100°C



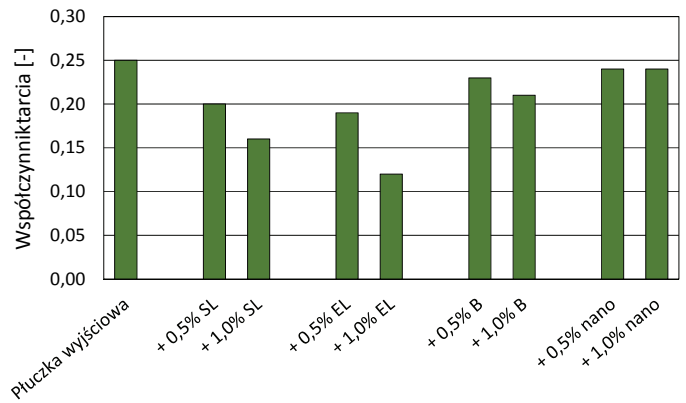
Rys. 6. Współczynnik tarcia na kontakcie stal–anhydryt w płuczce glikolowo-potasowej w temperaturze 100°C

Fig. 6. Friction coefficient on the steel–anhydrite contact in glycol-potassium drilling mud at temperature 100°C



Rys. 7. Współczynnik tarcia na kontakcie stal–piaskowiec w płuczce glikolowo-potasowej w temperaturze 100°C

Fig. 7. Friction coefficient on the steel–sandstone contact in glycol-potassium drilling mud at temperature 100°C



Rys. 8. Współczynnik tarcia na kontakcie stal–dolomit w płuczce glikolowo-potasowej w temperaturze 100°C

Fig. 8. Friction coefficient on the steel–dolomite contact in glycol-potassium drilling mud at temperature 100°C

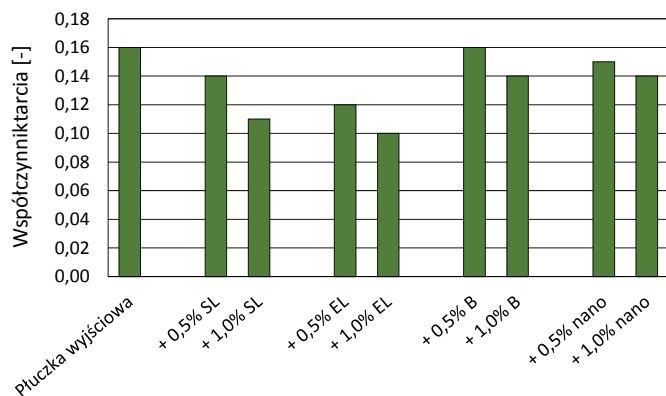
W tabeli 5 oraz na rysunkach 9–12 zaprezentowano wyniki badań przeprowadzonych w płuczce potrójnie inhibitowanej

bazowej oraz zmodyfikowanej dodatkami smarnymi. Wartość współczynnika tarcia na kontakcie stal-stal wynosiła 0,16.

Tabela 5. Wartości współczynnika tarcia dla różnych materiałów w otoczeniu płuczki potrójnie inhibitowanej w temperaturze 100°C

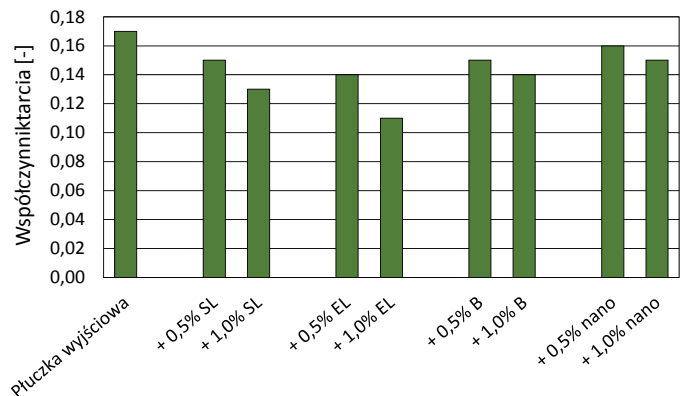
Table 5. Values of the friction coefficient for various materials in environment of triple-inhibited drilling mud at temperature 100°C

Rodzaj płuczki	Stężenie środka smarnego	Materiały kontaktowe							
		stal-stal		stal-anhydryt		stal-piaskowiec		stal-dolomit	
Wyjściowa płuczka potrójnie inhibitowana	–	0,16		0,17		0,30		0,23	
Płuczka potrójnie inhibitowana + SL	0,5%	0,14	↓ 12%	0,15	↓ 12%	0,20	↓ 33%	0,19	↓ 17%
	1,0%	0,11	↓ 31%	0,13	↓ 24%	0,18	↓ 40%	0,14	↓ 39%
Płuczka potrójnie inhibitowana + EL	0,5%	0,12	↓ 25%	0,14	↓ 18%	0,18	↓ 40%	0,15	↓ 35%
	1,0%	0,10	↓ 38%	0,11	↓ 35%	0,15	↓ 50%	0,12	↓ 48%
Płuczka potrójnie inhibitowana + B	0,5%	0,16	0%	0,15	↓ 12%	0,26	↓ 13%	0,21	↓ 9%
	1,0%	0,14	↓ 12%	0,14	↓ 18%	0,25	↓ 17%	0,21	↓ 9%
Płuczka potrójnie inhibitowana + nanokrzymianka + mikrokrzymianka	0,5%	0,15	↓ 6%	0,16	↓ 6%	0,29	↓ 3%	0,22	↓ 4%
	1,0%	0,14	↓ 12%	0,15	↓ 12%	0,30	0%	0,23	0%



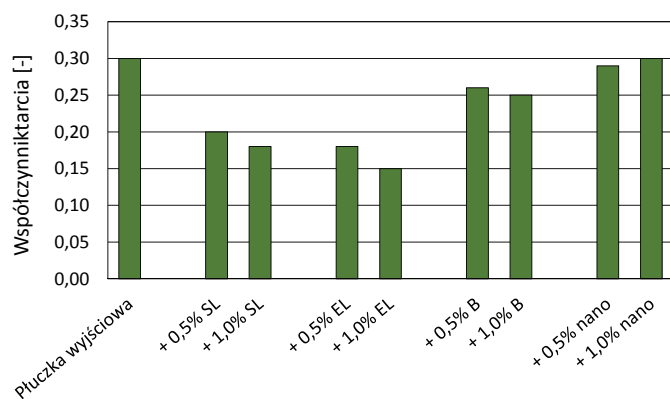
Rys. 9. Współczynnik tarcia na kontakcie stal-stal w płuczce potrójnie inhibitowanej w temperaturze 100°C

Fig. 9. Friction coefficient on the steel-steel contact in triple-inhibited drilling mud at temperature 100°C



Rys. 10. Współczynnik tarcia na kontakcie stal-anhydryt w płuczce potrójnie inhibitowanej w temperaturze 100°C

Fig. 10. Friction coefficient on the steel-anhydrite contact in triple-inhibited drilling mud at temperature 100°C



Rys. 11. Współczynnik tarcia na kontakcie stal-piaskowiec w płuczce potrójnie inhibitowanej w temperaturze 100°C

Fig. 11. Friction coefficient on the steel-sandstone contact in triple-inhibited drilling mud at temperature 100°C

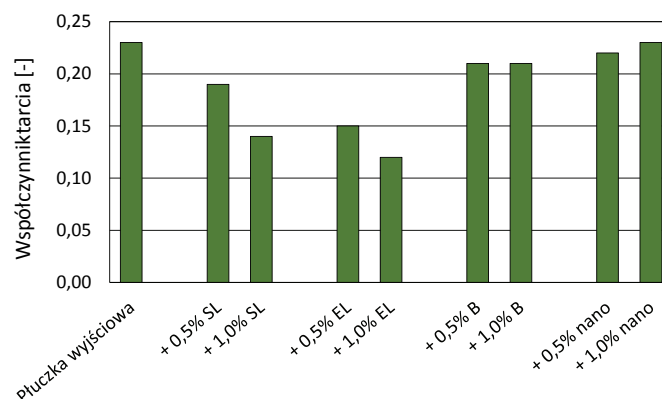
Zastosowanie środka EL w stężeniu 1,0% spowodowało obniżenie tej wartości do 0,10 (zmiana o 38%). Środek SL również wykazywał dużą skuteczność w poprawie właściwości smarnych płuczki – obniżenie wartości współczynnika tarcia o 31% przy koncentracji 1,0%.

W przypadku skał, współczynnik tarcia miał wartość odpowiednio 0,17, 0,30 i 0,23, odpowiednio dla anhydrytu, piaskowca i dolomitu. Ponownie najbardziej skutecznym środkiem był EL, który w stężeniu 1,0% powodował obniżenie współczynnika tarcia kolejno o 35%, 50% i 48%.

Tak, jak w wypadku płuczki polimerowo-potasowej i glikolowo-potasowej, najmniej skuteczny był dodatek B oraz kompleks nano i mikrokrzemionki.

Wnioski

1. Najskuteczniejsze oddziaływanie w środowisku płuczki polimerowo-potasowej wykazuje środek SL. Na kontakcie stal-stal uzyskano obniżenie wartości współczynnika tarcia o 48%, przy koncentracji środka w płuczce wynoszącej 1,0%. Na kontakcie stal-anhydryt wartość współczynnika tarcia jest niższa od bazowej o 32%. Dla piaskowca i dolomitu wartości te wynosiły odpowiednio 56% i 50%. W środowisku płuczki glikolowo-potasowej najwyższą efektywność w obniżaniu wartości współczynnika tarcia wykazuje dodatek EL. Przy stężeniu środka wynoszącym 1,0%, na kontakcie stal-stal wynik jest niższy od bazowego o 50%. W przypadku anhydrytu, przy takiej samej koncentracji środka odnotowano poprawę otrzymanych rezultatów o 33%. Najlepszy wynik odnotowano na kontakcie stal-dolomit – obniżenie wartości współczynnika tarcia o 52%. Analogiczna sytuacja zachodzi dla pomiarów wykonywanych w otoczeniu płuczki potrójnie



Rys. 12. Współczynnik tarcia na kontakcie stal-dolomit w płuczce potrójnie inhibitowanej w temperaturze 100°C

Fig. 12. Friction coefficient on the steel-dolomite contact in triple-inhibited drilling mud at temperature 100°C

inhibitowanej, gdzie również największe obniżenie wartości współczynnika tarcia uzyskano dzięki modyfikacji składu płuczki za pomocą środka EL.

2. Najmniej efektywne działanie wykazuje połączenie nano-krzemionki hydrofilowej i mikrokrzemionki. W jednym przypadku odnotowano wzrost wartości współczynnika tarcia. Miało to miejsce w płuczce polimerowo-potasowej na kontakcie stal-piaskowiec, gdzie odnotowano 103% wartości bazowej.
3. Modyfikacja składów badanych płuczek przez dodatek środków SL, EL i B powoduje niewielkie zmiany parametrów reologicznych. Nieznacznie większa zmiana następuje po wprowadzeniu nano- i mikrokrzemionki, szczególnie w płuczce potrójnie inhibitowanej.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt.: *Ocena i poprawa właściwości smarnych płuczek wiertniczych stosowanych w warunkach przemysłowych* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 0018/KW/18. nr archiwalny: DK-4100-18/18.

Literatura

- Abdo J., Haneef M.D., 2012. Nano-Enhanced Drilling Fluids: Pioneering Approach to Overcome Uncompromising Drilling Problems. *Journal of Energy Resources Technology*, 134(1): 014501. DOI: 10.1115/1.4005244.
- Abdo J., Haneef M.D., 2016. Clay Nanoparticles Modified Drilling Fluids for Drilling of Deep Hydrocarbon Wells. *Applied Clay Science*, 86: 76–82. DOI: 10.1016/j.clay.2013.10.017.
- Argillier J-F., Audibert A., Janssen M., Demoulin A., 1997. Performance of a New Biodegradable Ester Based Lubricant for Improving Drilling Operations with Water Based Muds. *Society of Petroleum Engineers*. DOI: 10.2118/37264-MS.
- Błaż S., 2016. Analiza właściwości technologicznych płuczki inwersyjnej w warunkach HPHT. *Nafta-Gaz*, 6: 403–412.
- Dębińska E., 2015. Niekonwencjonalne zaczyny cementowe z dodatkiem nanokrzemionki. *Nafta-Gaz*, 5: 290–300.
- Dong X., Wang L., Yang X., Lin Y., Xue Y., 2015. Effect of ester based lubricant SMJH-1 on the Lubricity properties of water based

- drilling fluid. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 135: 161–167.
- Erhan S.Z., Sharma B.K., Liu Z., Adhvaryu A., 2008. Lubricant base stock potential of chemically modified vegetable oils. *Food Chem.*, 56: 8919–8925.
- Foxenberg W.E., Ali S.A., Long T.P., Vian J., 2008. Field Experience Shows That New Lubricant Reduces Friction and Improves Formation Compatibility and Environmental Impact. *Society of Petroleum Engineers*. DOI: 10.2118/112483-MS.
- Ismail A.R., Aftabb A., Ibupoto Z.H., Zolkifile N., 2016. The novel approach for the enhancement of rheological properties of water-based drilling fluids by using multi-walled carbon nanotube, nanosilica and glass beads. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 139: 264–275.
- Jasiński B., 2017. Analiza skuteczności działania dodatków smarnych na podstawie badań przeprowadzonych z użyciem symulatora wiercenia Grace M2200. *Nafta-Gaz*, 5: 257–265. DOI: 10.18668/NG.2017.04.06.
- Kania D., Yunus R., Omar R., Rashid S. A., Jan B.M., 2015. A review of biolubricants in drilling fluids: Recent research, performance, and applications. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 135: 177–184.
- Raczkowski J., Pólchlopek T., 1998. Materiały i środki chemiczne do sporządzania płuczek wiertniczych. Kraków: Prace Instytutu Górnictwa Naftowego i Gazownictwa, 95.
- Rafati R., Smith S. R., Haddad A. S., Novara R., Hamidi H., 2018. Effect of nanoparticles on the modifications of drilling fluids properties: A review of recent advances. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 161: 61–76. DOI:10.1016/j.petrol.2017.11.067.
- Saffari H.R.M., Soltani R., Alaei M., Soleymani M., 2018. Tribological properties of water-based drilling fluids with borate nanoparticles as lubricant additives. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 171: 253–259. DOI:10.1016/j.petrol.2018.07.049.
- Skalle P., Backe K.R., Lyomov S.K., Kilaas L., Dyrli A.D., Sveen J., 1999. Microbeads as Lubricant in Drilling Muds Using a Modified Lubricity Tester. *Society of Petroleum Engineers*, DOI: 10.2118/56562-MS.
- Uliasz M., 2009. Właściwości smarne płuczki wiertniczej zawierającej szkło wodne. *Nafta-Gaz*, 2: 133–144.
- Zima G., 2017. Analiza wpływu nanomateriałów na właściwości osadu filtracyjnego. *Nafta-Gaz*, 5: 312–320. DOI: 10.18668/NG.2017.05.03.



Mgr inż. Bartłomiej JASIŃSKI
Asystent w Zakładzie Technologii Wiercenia
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: bartlomiej.jasinski@inig.pl