

Badania laboratoryjne nad opracowaniem emulsyjnych zaczynów cementowych typu woda w oleju

Laboratory tests on the development of water-in-oil emulsion based cement slurries

Łukasz Kut

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: Dotychczas w Polsce żadne laboratorium nie prowadziło szczegółowych badań nad opracowaniem zaczynów cementowych sporządzonych na bazie płynu olej w wodzie, jak i woda w oleju. W przemyśle naftowym coraz częściej otwory wiertnicze wykonywane są przy użyciu płuczki inwersyjnej. Zastosowanie tego typu płuczki ma wiele pozytywnych aspektów, jednak zdarzają się też te negatywne. Jedną z niedogodności jest pozostawianie na ścianach otworu wiertniczego trudnego do usunięcia osadu, co w konsekwencji może wpływać na nieskuteczne uszczelnienie kolumny rur okładzinowych. Celem badań laboratoryjnych było więc opracowanie zaczynów cementowych sporządzonych na bazie różnych spoiw wiążących do uszczelniania kolumn rur okładzinowych po zastosowaniu płuczki inwersyjnej. Obecność oleju w składzie zaczynu cementowego może wpłynąć na jego większą kompatybilność z pozostawionymi na ścianach otworu osadami, a co za tym idzie – na skuteczniejsze uszczelnienie przestrzeni pierścieniowej. Jako cieczy zarobowej użyto wody wodociągowej, do której dodawano kolejno upłynniacz, środek powierzchniowo czynny (SPC) oraz cement. Po ujednorodnieniu mieszaniny dodawano do niej olej wymieszany z emulgatorem. Po połączeniu wszystkich składników zaczynu cementowy mieszano przez 30 minut, a następnie wykonywano pomiary laboratoryjne, takie jak: gęstość; parametry reologiczne; filtracja; czas wiązania; elektryczna stabilność emulsyjna. Z wybranych zaczynów sporządzono próbki kamieni cementowych. Próbki te utwardzono i przetrzymywano w dwóch różnych temperaturach: 25°C oraz 120°C. Otrzymane kamienie poddano badaniu: wytrzymałości kamienia cementowego na ściskanie; przyczepności kamienia cementowego do rur stalowych. Przeprowadzone badania wykazały, że pod względem parametrów reologicznych zaczynów cementowych lepszy okazał się cement glinowo-wapniowy od cementów portlandzkich. Zastosowanie tego cementu wpłynęło na obniżenie filtracji oraz znaczny wzrost elektrycznej stabilności emulsyjnej zaczynów cementowych. Ujednorodnienie mieszaniny oraz wspólne łączenie się poszczególnych dodatków nie stwarzało większych trudności. Jedynym mankamentem były niskie wartości otrzymanych parametrów kamieni cementowych, dlatego też istotne jest prowadzenie dalszych badań nad doborem odpowiednich receptur (Dębińska, 2012; Kremieniewski, 2012, 2013; Vipulanandan i Krishnamoorti, 2013).

Słowa kluczowe: zaczyn cementowy, zaczyn emulsyjny, emulsja typu O/W i W/O, płuczka olejowa, płuczka inwersyjna, kamień cementowy, parametry mechaniczne, parametry technologiczne.

ABSTRACT: So far, no laboratory in Poland, has conducted detailed research on the development of oil-in-water and water-in-oil cement slurries. In the oil industry, more and more boreholes are often drilled using an inversion mud. The use of this type of mud has many advantages and benefits, however, there are also negative aspects. One of the disadvantages is the difficulty to remove mud cake from the walls of the borehole, which may affect the sealing of the casing column. The aim of the research being presented, was to develop cement slurries, prepared based on various binders, used to seal the casing columns after the use of an invert emulsion drilling mud. The presence of oil in the composition of the cement slurry may affect its greater compatibility with the mud cake on the walls of the borehole and more effective sealing of the annular space. Sweet water played the role of the slurry. The dispersant, surfactant and cement were then added. After homogenizing the mixture, the oil mixed with the emulsifier was added. After combining all the components, the cement slurry was mixed for 30 minutes and the technological parameters such as density, rheological parameters, filtration, setting time and electrical stability were examined. Cement stone test samples were prepared from selected cement slurries. These samples were cured and hydrated at two different temperatures: 25°C and 120°C. The compressive strength and adhesion to steel pipes tests were performed for obtained cement stones. The conducted tests showed that better rheological parameters were obtained for aluminium-calcium cement in comparison to Portland. The use of this cement reduced the filtration and resulted in a significant increase in the electric emulsion stability of cement slurries. The homogeneity of the mixture and the combination of additives did not pose major difficulties. Parameters of the obtained cement stones were low, therefore it is important to conduct further research on the selection of appropriate recipes (Dębińska, 2012; Kremieniewski, 2012, 2013; Vipulanandan i Krishnamoorti, 2013).

Key words: cement slurry, emulsion slurry, oil-in-water emulsion, water-in-oil emulsion, oil mud, invert emulsion drilling mud, cement stone, mechanical parameters, technological parameters.

Autor do korespondencji: Ł. Kut, e-mail: lukasz.kut@inig.pl

Artykuł nadesłano do Redakcji 7.01.2019 r. Zatwierdzono do druku 25.03. 2019 r.

Wprowadzenie

Uszczelnienie kolumny rur okładzinowych w każdym otworze wiertniczym wymaga zastosowania specjalnie opracowanego i dobranego do danych warunków geologiczno-technicznych zaczynu cementowego. Wiercone otwory mogą różnić się od siebie między innymi głębokością, trajektorią, średnicą, rodzajem przewiercanych skał, gradientem ciśnienia porowego, szczelinowania oraz temperaturą. Wykonywanie otworów wiertniczych może się również odbywać przy udziale różnych płuczek wiertniczych, zarówno wodnodispersyjnych, jak i coraz częściej spotykanej – inwersyjnej.

Wszystkie te czynniki mają znaczenie podczas opracowywania i sporządzania zaczynów cementowych, które powinny charakteryzować się odpowiednią gęstością, reologią, zerowym odstożem wody, właściwą filtracją i optymalnym czasem gęstnienia w celu ich bezpiecznego zatłoczenia do otworu wiertniczego. Właściwości zaczynów cementowych są istotne podczas zabiegów uszczelniania kolumn rur okładzinowych, ale równie duże znaczenie mają parametry mechaniczne powstałego z nich kamienia cementowego. Powstały z zaczynu kamień cementowy powinien stworzyć w przestrzeni pozarurowej zbitą i szczelną barierę odporną na działające w otworze siły (m.in. ściskające, zginające i inne) oraz być nieprzepuszczalny dla wszelkich dopływających mediów.

Na rynku krajowym firmy cementacyjne stosują głównie zaczyny cementowe lub cementowo-lateksowe na bazie wody słodkiej lub wody zasolonej w otworach, gdzie stosowano płuczkę wodnodispersyjną. Obecność płuczki inwersyjnej może wymagać natomiast zastosowania specjalnych receptur zaczynów cementowych. Dla skutecznego uszczelnienia kolumny rur okładzinowych w otworach, w których stosowano płuczkę inwersyjną, konieczne jest przeprowadzenie badań nad opracowaniem zaczynów cementowych z dodatkiem oleju. Otrzymane kamienie cementowe powinny odznaczać się dobrymi parametrami mechanicznymi.

Przeprowadzone badania i uzyskane wyniki przedstawiają wpływ zastosowania różnych spoiw wiążących na parametry zaczynów i kamieni cementowych opracowanych na bazie wody i oleju. Obecność oleju w składach zaczynów cementowych może wpłynąć na skuteczniejsze uszczelnienie otworów wiertniczych, w których stosowano płuczkę inwersyjną. Dzięki przeprowadzonym badaniom możliwe będzie również dobranie odpowiedniej receptury w celu skutecznego uszczelnienia przestrzeni pierścieniowej, w której będą występować ewentualne osady pozostawione po płuczce inwersyjnej. Podczas stosowania płuczek olejowych główny problem polega na jej kompatybilności z buforem oraz zastosowanym zaczynem cementowym (Giergiczny et al., 2003; Kut, 2011; Jasiński, 2012; Fernandez et al., 2014; Li et al., 2016).

Badania laboratoryjne

W artykule zamieszczono wyniki badań wybranych składów zaczynów cementowych, jak i otrzymanych z nich kamieni cementowych sporządzonych na bazie wody i oleju, które mogłyby posłużyć do uszczelniania kolumn rur okładzinowych po wcześniejszym zastosowaniu w otworze płuczki inwersyjnej. Początkowe badania polegały na doborze ilościowym i jakościowym składników dla otrzymania jednorodnej mieszaniny zaczynu z dodatkiem oleju posiadającej zdolność mieszania i przetłaczania. Kolejny etap to badania parametrów reologicznych zaczynów cementowych i parametrów mechanicznych otrzymanych z nich kamieni cementowych. Wiele prób wykazało, że po wymieszaniu wszystkich składników po krótkim czasie zaczyn oddawał dużą ilość wody (odstój wody) lub w niektórych przypadkach nie wchłaniał całej ilości dodanego oleju (głównie podczas stosowania cementów portlandzkich). Często również podczas zarabiania zaczynu występowało silne jego gęstnienie i żelowanie.

Zaczyny z dodatkiem oleju wykonano na bazie dwóch cementów powszechnie stosowanych przez serwisy cementacyjne: cementu portlandzkiego CEM I 32,5 R i 42,5 R oraz dodatkowo cementu glinowo-wapniowego. Do badań użyto oleju mineralnego charakteryzującego się niską lepkością, temperaturą wrzenia powyżej 200°C i niską zawartością związków aromatycznych – poniżej 0,2%. Wybrano olej najczęściej wykorzystywany podczas sporządzania płuczek inwersyjnych. Badania prowadzono dla dwóch temperatur 25°C i 120°C (Demirdal et al., 2007; Kurdowski, 2010; Kirca et al., 2013; Alford et al., 2014; Polski Komitet Normalizacyjny, 2006, 2007).

Po sporządzeniu zaczynów cementowych mierzono ich:

- gęstość;
- parametry reologiczne;
- filtrację;
- czas wiązania;
- elektryczną stabilność emulsyjną (ES, [V]).

Po przeprowadzeniu badań laboratoryjnych parametrów zaczynów cementowych z wybranych składów sporządzono próbki kamieni cementowych. Próbki utwardzono w środowisku o określonej temperaturze i ciśnieniu (warunki otworopodobne). Następnie umieszczano je w autoklawach wykonanych ze stali nierdzewnej i przez cały okres sezonowania przetrzymywano w cieplarni.

Otrzymane kamienie cementowe po założonych okresach poddawano badaniom:

- wytrzymałości kamienia cementowego na ściskanie;
- przyczepności kamienia cementowego do rur stalowych.

Poniżej w tabelach i na rysunkach przedstawiono szczegółowe wyniki badań właściwości reologicznych zaczynów

Tabela 1. Parametry zaczynów cementowych z dodatkiem oleju i 100% cementu

Table 1. Parameters of cement slurries with the addition of oil and 100% cement

Skład	Cement	w/c*	Uplynniciarz	SPC*	Olej	Emulgator	Gęstość	Filtracja	PW*	KW*	Wskaźnik ES
			[%]	[%]		[%]					
1	P*	0,50	0,3	0,4	30,0	6,0	1,62	296,0	1	2	1
2	P	0,40	0,3	0,5	50,0	6,0	1,63	82,0	1	2	3
3	P	0,37	0,4	0,3	55,0	6,0	1,63	112,0	1	2	2
4	P2*	0,40	1,0	0,1	60,0	6,0	1,62	248,0	2	3	2
5	P2	0,38	1,0	0,2	60,0	5,0	1,62	194,0	2	3	8
6	P2	0,37	0,4	0,3	55,0	6,0	1,63	110,0	5	7	25
7	G	0,40	0,3	0,3	60,0	6,0	1,66	3,0	3	4	44
8	G	0,38	0,5	0,2	65,0	6,0	1,67	3,0	4	5	156
9	G	0,38	0,5	0,2	62,0	7,0	1,68	2,5	4	5	132

P – cement 32,5 R; P2 – cement 42,5 R; G – cement glinowy; w/c – stosunek wody do suchego cementu; PW – początek wiązania; KW – koniec wiązania; SPC – środek powierzchniowo czynny; uplynniciarz dodawany w stosunku do suchego cementu, SPC dodawany w stosunku do ilości wody, olej dodawany w stosunku do ilości wody, emulgator dodawany do ilości oleju.

cementowych oraz zmieniających się w czasie parametrów mechanicznych kamieni cementowych.

Niepewność uzyskanych wyników pomiarów zaprezentowanych poniżej oznaczono na podstawie klasy dokładności urządzeń pomiarowych na poziomie: dla pomiarów reologicznych – 0,2%, dla pomiarów wytrzymałości na ściskanie oraz przyczepność do rur – 0,4%.

W tabeli 1 zestawiono wyniki parametrów dziewięciu wybranych zaczynów cementowych opracowanych na bazie wody i oleju. Zaczyny cementowe sporządzone na bazie cementów portlandzkich (składy 1–6) posiadały gęstość od 1,62 do 1,63 g/cm³. Wszystkie zaczyny sporządzone na tych cementach posiadały wysoką filtrację – od 82,0 do nawet 296,0 cm³/30 min w postaci wody lub jej mieszaniny z olejem. Zaczyny cementowe przygotowane na bazie cementów portlandzkich posiadały również bardzo niską elektryczną stabilność emulsyjną (ES), w większości przypadków mniejszą niż 10 V. Miało

to ewidentny wpływ na krótsze czasy wiązania zaczynów cementowych (im mniejszy wskaźnik ES, tym czas wiązania był krótszy). Ponadto tak niski wskaźnik elektrycznej stabilności emulsyjnej (ES) może świadczyć o słabej kompatybilności zaczynu cementowego z płuczką inwersyjną (której ES jest większy od 300 V), a co za tym idzie – także z osadami pozostawionymi przez nią na ścianach otworu wiertniczego.

Zaczyny cementowe sporządzone na bazie cementu glinowo-wapniowego posiadały gęstość od 1,66 do 1,68 g/cm³. Wszystkie zaczyny sporządzone na tym cemencie cechowała niska filtracja – poniżej 3,0 cm³/30 min. Zastosowanie w zaczynach cementowych tego rodzaju cementu wpłynęło również na wzrost ich elektrycznej stabilności emulsyjnej. Wyższy wskaźnik ES był jednoznaczny z wydłużeniem się czasu wiązania zaczynów cementowych. Wraz ze wzrostem elektrycznej stabilności wzrastać może kompatybilność danego zaczynu cementowego z płuczką inwersyjną.

Tabela 2. Parametry zaczynów cementowych z dodatkiem oleju i mieszaniny spoiw wiążących

Table 2. Parameters of cement slurries with the addition of oil and a mixture of binding materials

Skład	Cement glinowy	SH*	w/c	Uplynniciarz	SPC	Olej	Emulgator	Gęstość	Filtracja	PW	KW	Wskaźnik ES
	[%]	[%]		[%]	[%]	[%]	[%]					
10	80,0	A* 20,0	0,38	0,5	0,2	65,0	6,0	1,660	2,2	8	9	62
11	90,0	A 10,0	0,38	0,5	0,2	65,0	6,0	1,665	2,8	8	10	68
12	80,0	B 20,0	0,38	0,5	0,2	65,0	6,0	1,655	2,2	8	10	128
13	90,0	B 10,0	0,38	0,5	0,2	65,0	6,0	1,660	2,5	5	7	145
14	80,0	C 20,0	0,38	0,5	0,2	65,0	6,0	1,680	3,0	6	7	152
15	85,0	C 15,0	0,38	0,5	0,2	65,0	6,0	1,675	3,4	6	8	157
16	90,0	C 10,0	0,38	0,5	0,2	65,0	6,0	1,670	3,6	7	9	179

SH – spoiwo hydrauliczne (A – żużel, B – mikrosilika, C – mikrocement).

Tabela 2 zawiera wyniki badań laboratoryjnych zaczynów cementowych z dodatkiem oleju i mieszaniny spoiw wiążących. Zaczyny cementowe z dodatkiem żużla oraz mikrosiliki posiadały gęstość 1,655–1,665 g/cm³, zaś te z dodatkiem mikrocementu 1,67–1,68 g/cm³. Wszystkie zaczyny sporządzone na cemencie glinowo-wapniowym posiadały niską filtrację, nieprzekraczającą 3,6 cm³/30 min, w postaci wody lub jej mieszaniny z olejem. Zastosowanie w zaczynach cementowych żużla, mikrosiliki i mikrocementu nie wpłynęło na obniżenie ich elektrycznej stabilności emulsyjnej. Wysoki wskaźnik ES był jednoznaczny z wydłużeniem się czasu wiązania zaczynów cementowych. Najniższą elektryczną stabilność emulsyjną posiadały zaczyny cementowe z dodatkiem żużla – wynosiła ona od 62 V do 68 V. Spośród wszystkich zaczynów cementowych najwyższą elektryczną stabilność posiadały te na bazie samego cementu glinowo-wapniowego oraz jego mieszaniny z mikrocementem. Otrzymane wartości dochodziły nawet do 179 V (zaczyn nr 16).

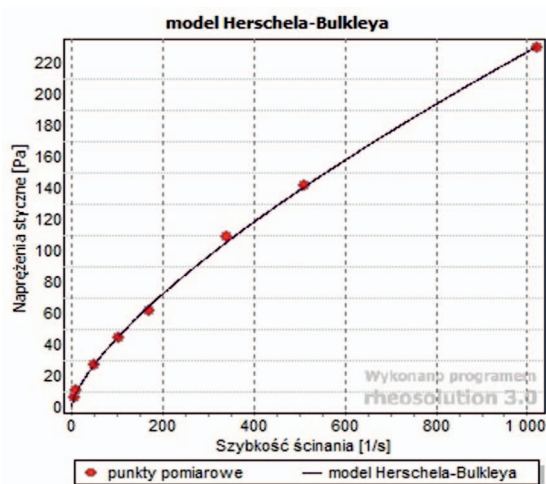
Warunkiem pozwalającym na efektywne wypełnienie przestrzeni pierścieniowej zaczynem cementowym jest pełne wyparcie z niej płuczki. Jest to możliwe do uzyskania dzięki zapewnieniu określonych prędkości przepływu zaczynu poza rurami i z odpowiednimi parametrami reologicznymi poszczególnych cieczy tłoczonych w trakcie zabiegu cementowania. W praktyce zaczyny cementowe traktuje się jako ciecz binghamowską, dla której określa się lepkość plastyczną i granicę płynięcia, natomiast dla zaczynów rozpatrywanych przy użyciu modelu Ostwalda podaje się wskaźnik konsystencji oraz współczynnik przepływu. Jednak na podstawie badań można powiedzieć, że zaczyny najlepiej opisywane są modelem Herschela–Bulkleya.

W tabeli 3 zamieszczono parametry reologiczne wybranych receptur zaczynów cementowych wykonanych na bazie cementu glinowo-wapniowego lub jego mieszaniny z innym dodatkiem. Ponadto na przykładowych rysunkach 1 i 2

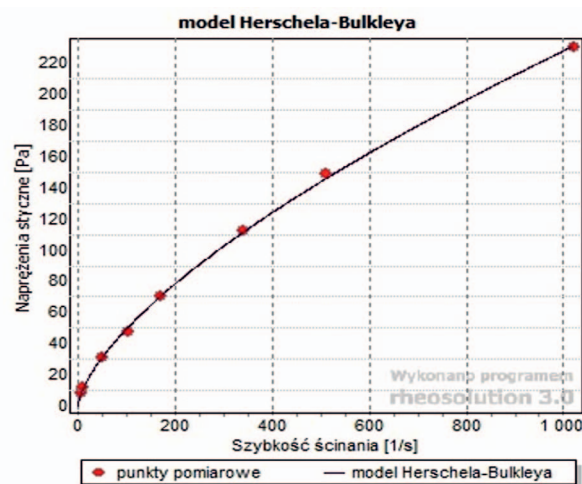
Tabela 3. Parametry reologiczne wybranych zaczynów cementowych

Table 3. Rheological parameters of selected cement slurries

Skład	Odczyty z aparatu FANN typ 900								Lepkość plastyczna [mPa · s]	Granica płynięcia [Pa]
	[obr/min]	600	300	200	100	60	30	6		
7	>350	278	213	120	87	54	21	12	237,0	19,7
8	>350	291	220	137	93	60	23	15	231,0	28,8
9	>350	296	224	142	99	65	25	17	231,0	31,2
10	>350	307	228	139	97	61	22	15	252,0	26,4
11	>350	321	239	149	106	68	25	18	258,0	30,2
12	>350	300	228	142	101	66	25	17	237,0	30,2
13	>350	298	227	143	104	68	26	18	232,5	31,4
14	>350	311	240	152	109	71	25	15	238,5	34,8
15	>350	305	232	148	106	69	26	16	235,5	33,4
16	>350	297	226	144	104	67	26	17	229,5	32,4



Rys. 1. Model Herschela–Bulkleya dla zaczynu cementowego nr 7
Fig. 1. Herschel–Bulkley model for cement slurry no. 7

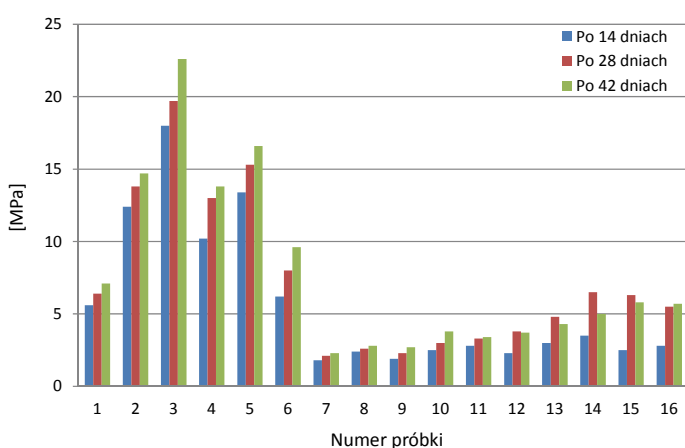


Rys. 2. Model Herschela–Bulkleya dla zaczynu cementowego nr 8
Fig. 2. Herschel–Bulkley model for cement slurry no. 8

Tabela 4. Wytrzymałość kamieni cementowych na ściskanie

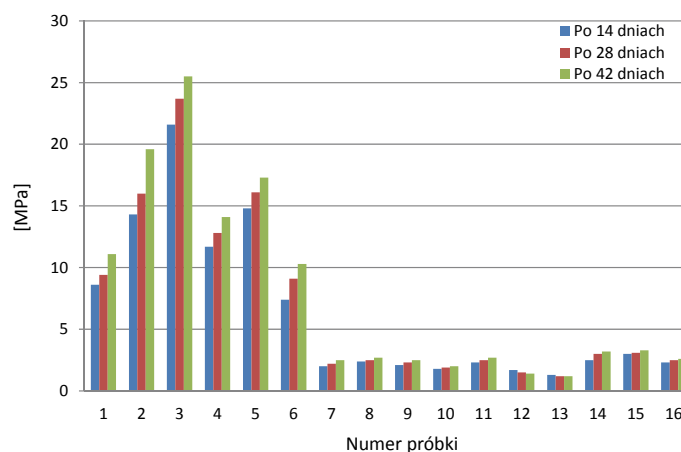
Table 4. Compressive strength of cement stones

Skład	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]					
	Temperatura 25°C			Temperatura 120°C		
	po 14 dniach	po 28 dniach	po 42 dniach	po 14 dniach	po 28 dniach	po 42 dniach
1	5,6	6,4	7,1	8,6	9,4	11,1
2	12,4	13,8	14,7	14,3	16,0	19,6
3	18,0	19,7	22,6	21,6	23,7	25,5
4	1,8	2,1	2,3	2,0	2,2	2,5
5	2,4	2,6	2,8	2,4	2,5	2,7
6	1,9	2,3	2,7	2,1	2,3	2,5
10	2,5	3,0	3,8	1,8	1,9	2,0
11	2,8	3,3	3,4	2,3	2,5	2,7
12	2,3	3,8	3,7	1,7	1,5	1,4
13	3,0	4,8	4,3	1,3	1,2	1,2
14	3,5	6,5	5,0	2,5	3,0	3,2
15	2,5	6,3	5,8	3,0	3,1	3,3
16	2,8	5,5	5,7	2,3	2,5	2,6



Rys. 3. Wytrzymałość kamieni cementowych na ściskanie w temperaturze 25°C

Fig. 3. Compressive strength of cement stones at 25°C



Rys. 4. Wytrzymałość kamieni cementowych na ściskanie w temperaturze 120°C

Fig. 4. Compressive strength of cement stones at 120°C

przedstawiono modele reologiczne Herschela–Bulkleya dla wybranych receptur. Parametry zaczynów cementowych były do siebie zbliżone, dlatego wybrano tylko dwa z nich dla przykładu (składy 7 i 8). Współczynnik korelacji wahał się od 0,991 do 1,000, a więc były to korelacje bardzo wysokie lub pełne.

Otrzymane wyniki badań laboratoryjnych wytrzymałości na ściskanie przedstawiono w tabeli 4 oraz zobrazowano graficznie na wykresach 3 i 4. Przeprowadzone badania wykazały, że wyższą wytrzymałość na ściskanie posiadały próbki kamieni cementowych wykonane na bazie cementów portlandzkich CEM I 32,5 R oraz 42,5 R. Wynikać to może z faktu, że te zaczyny cementowe w większości przypadków oddawały

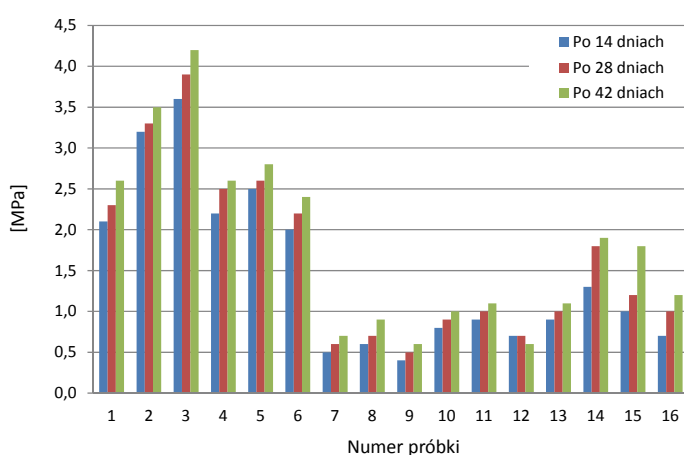
sporą ilość wody lub oleju w postaci odstoju. Najwyższą wytrzymałość po 6 tygodniach dla temperatury 25°C posiadał kamień cementowy wykonany ze składu nr 3, dochodziła ona do 23 MPa, zaś dla temperatury sezonowania próbek 120°C wartość dla tej samej próbki wynosiła 25,5 MPa.

Próbki wykonane z zaczynów zawierających cement glinowy lub jego mieszaninę z innym spoiwem wiążącym po każdym okresie badań posiadały bardzo niską wytrzymałość na ściskanie. Wynika to z faktu, iż np. podczas mieszania tworzyły jednolitą mieszaninę, nie posiadały odstoju i ich elektryczna stabilność emulsyjna była wyższa. Najwyższą wytrzymałość na ściskanie po 6 tygodniach posiadały kamienie cementowe, w których składzie występowała mieszanina cementu

Tabela 5. Przyczepność kamieni cementowych do rur stalowych

Table 5. Adhesion of cement stones to steel pipes

Skład	Przyczepność kamienia do rur stalowych [MPa]					
	Temperatura 25°C			Temperatura 120°C		
	po 14 dniach	po 28 dniach	po 42 dniach	po 14 dniach	po 28 dniach	po 42 dniach
1	2,1	2,3	2,6	2,7	3,0	3,4
2	3,2	3,3	3,5	3,3	3,6	4,1
3	3,6	3,9	4,2	3,7	4,2	4,5
4	0,5	0,6	0,7	0,4	0,5	0,6
5	0,6	0,7	0,9	0,5	0,6	0,8
6	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7
10	0,8	0,9	1,0	0,5	0,6	0,6
11	0,9	1,0	1,1	0,6	0,8	0,9
12	0,7	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4
13	0,9	1,0	1,1	0,5	0,4	0,4
14	1,3	1,8	1,9	0,6	0,9	1,0
15	1,0	1,2	1,8	0,9	1,1	1,3
16	0,7	1,0	1,2	0,6	0,7	0,9

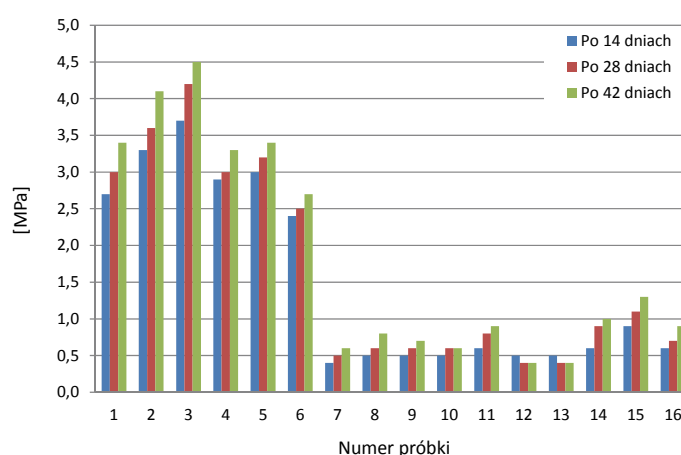


Rys. 5. Przyczepność kamieni cementowych do rur stalowych w temperaturze 25°C

Fig. 5. Adhesion of cement stones to steel pipes at 25°C

glinowo-wapniowego i mikrocementu. Dla temperatury 25°C wartości wytrzymałości na ściskanie dochodziły do 5,8 MPa, a dla 120°C – do 3,3 MPa (próbka nr 15).

Wyniki badań laboratoryjnych przyczepności kamieni cementowych do rur stalowych przedstawiono w tabeli 5 oraz zobrazowano graficznie na rysunkach 5 i 6. Wykonane badania wykazały, że wyższą przyczepność posiadały próbki kamieni cementowych wykonane na bazie cementów portlandzkich CEM I 32,5 R oraz 42,5 R. Na wyższą przyczepność do rur stalowych – podobnie jak było w przypadku wytrzymałości na ściskanie – wpływ mogła mieć również bardzo niska elektryczna stabilność emulsyjna. Najwyższą przyczepność po 6 tygodniach dla temperatury 25°C posiadał kamień



Rys. 6. Przyczepność kamieni cementowych do rur stalowych w temperaturze 120°C

Fig. 6. Adhesion of cement stones to steel pipes at 120°C

cementowy wykonany ze składu nr 3, dochodziła ona do 4,2 MPa, zaś w przypadku temperatury 120°C wartość dla tej samej próbki wynosiła 4,5 MPa.

Próbki wykonane z zaczynów zawierających cement glinowy lub jego mieszaninę z innym spoiwem po każdym okresie badań posiadały znacznie niższą przyczepność od tych na bazie cementów portlandzkich. Wystąpiła tu taka sama zależność jak podczas badań wytrzymałości na ściskanie. Najwyższą przyczepność po 6 tygodniach posiadały kamienie cementowe, w których składzie występowała mieszanina cementu glinowo-wapniowego i mikrocementu. Dla temperatury 25°C wartości przyczepności dochodziły do 1,9 MPa (skład nr 14), a dla 120°C – do 1,3 MPa (skład nr 15).

Wnioski i podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Zaczyny cementowe sporządzone na bazie cementów portlandzkich posiadały gęstość od $1,62 \text{ g/cm}^3$ do $1,63 \text{ g/cm}^3$ oraz wysokie filtracje – od $82,0 \text{ cm}^3/30 \text{ min}$ do nawet $296,0 \text{ cm}^3/30 \text{ min}$ w postaci wody lub mieszaniny wody z olejem.
2. Zastosowanie większej ilości upłynniacza, szczególnie powyżej 0,5%, w zaczynach cementowych z dodatkiem oleju nie miało większego wpływu na ich parametry.
3. Badania wykazały, że w większości przypadków występowały komplikacje podczas sporządzania mieszaniny, m.in. dochodziło do szybkiego żelowania zaczynów, oddawania niewchłoniętej wody, oleju lub ich mieszaniny w postaci odstoju.
4. Ze względu na większe trudności z ujednorodnieniem mieszaniny z dodatkiem cementów portlandzkich stosowano większy stosunek w/c.
5. Zaczyny cementowe na bazie cementów 32,5 R i 42,5 R posiadały niską elektryczną stabilność emulsyjną (ES), w większości przypadków poniżej 10 V. Miało to ewidentny wpływ na krótsze czasy wiązania zaczynów cementowych (przeważnie im niższy wskaźnik ES, tym czas wiązania był krótszy). Ponadto może to świadczyć o ewentualnym braku kompatybilności z płuczką inwersyjną (której ES jest wyższy od 300 V), a co za tym idzie – z osadami pozostawionymi przez nią na ścianach otworu wiertniczego.
6. Zaczyny cementowe sporządzone na bazie cementu glinowego lub jego mieszaniny z innym spoiwem wiążącym posiadały gęstość od $1,65 \text{ g/cm}^3$ do $1,68 \text{ g/cm}^3$ oraz niską filtrację – poniżej $4,0 \text{ cm}^3/30 \text{ min}$.
7. Badania wykazały, że w większości przypadków połączenie składników oraz otrzymanie jednorodnej mieszaniny było łatwiejsze niż z użyciem cementów portlandzkich.
8. Zastosowanie w zaczynach cementowych cementu glinowego wpłynęło na wzrost ich elektrycznej stabilności emulsyjnej. Wyższy wskaźnik ES był jednoznaczny z wydłużeniem się czasu wiązania zaczynów cementowych oraz może wpłynąć na lepszą kompatybilność danego zaczynu cementowego z płuczką olejową i osadami przez nią pozostawianymi.
9. Wyższą wytrzymałość na ściskanie posiadały próbki wykonane na cemencie CEM I 32,5 R oraz 42,5 R. Wynikać to może z faktu, że te zaczyny cementowe w większości przypadków oddawały sporą ilość wody lub oleju w postaci odstoju. Na wyższą wytrzymałość wpływ miała również bardzo niska elektryczna stabilność emulsyjna. Dowodem jest np. fakt, że najniższą wytrzymałość posiadał kamień

wykonany z zaczynu o najwyższym ES (ES = 25 V; maks. 9,6 MPa dla 25°C i 10,3 MPa dla 120°C).

10. Próbkki wykonane z zaczynów zawierających cement glinowo-wapniowy po każdym okresie badań posiadały znacznie niższe parametry wytrzymałościowe w porównaniu do próbek sporządzonych na bazie cementów portlandzkich. Wynika to z faktu, że np. podczas mieszania tworzyły jednolitą mieszaninę, nie posiadały odstoju i ich elektryczna stabilność emulsyjna była wyższa.
11. Spośród kamieni cementowych zawierających w swoim składzie cement glinowo-wapniowy najlepsze parametry mechaniczne posiadały te z samym cementem glinowym lub jego mieszaniną z mikrocementem. Po 28 dniach dla temperatury 25°C wartości wytrzymałości na ściskanie dochodziły do 5,8 MPa (skład nr 15), zaś przyczepności do rur stalowych do 1,9 MPa (skład nr 14). Dla temperatury 120°C wartości wytrzymałości na ściskanie dochodziły do 3,3 MPa, zaś przyczepności do rur stalowych do 1,3 MPa – dla tej temperatury najlepsze parametry posiadały kamienie wykonane ze składu nr 15.

Przeprowadzone badania nad możliwością opracowania składów zaczynów cementowych na bazie wody i oleju wykazały, że pod względem parametrów technologicznych zaczynów cementowych lepszy jest cement glinowo-wapniowy. Zastosowanie tego cementu wpłynęło na obniżenie filtracji oraz znaczny wzrost elektrycznej stabilności emulsyjnej zaczynów cementowych. Ujednorodnienie mieszaniny oraz wspólne łączenie się poszczególnych dodatków nie stwarzało większych trudności. Niestety wytrzymałości otrzymanych kamieni cementowych były bardzo niskie. Prowadzone więc będą dalsze badania nad dobozem odpowiednich dodatków w celu otrzymania jednocześnie jak najwyższego wskaźnika elektrycznej stabilności emulsyjnej, dobrych parametrów reologicznych zaczynów cementowych i kamieni o wyższych parametrach mechanicznych. Możliwe, że zastosowanie innych cementów glinowych oraz cementu G lub jednoczesne mieszanie różnych rodzajów cementów ze sobą oraz innych (niestosowanych w tych badaniach) środków chemicznych wpłynie pozytywnie na uzyskanie zadowalających wyników zarówno dla zaczynów, jak i otrzymanych z nich kamieni cementowych. Na obecnym etapie badań trudno jest jednoznacznie zarekomendować odpowiednią recepturę do zastosowania w praktyce wiertniczej. Prowadzone będą w tym kierunku (w INiG – PIB) dalsze badania w celu poprawy parametrów mechanicznych kamieni cementowych otrzymanych z zaczynów z dodatkiem oleju.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt.: *Badania laboratoryjne nad opracowaniem emulsyjnych zaczynów cementowych typu woda w oleju* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 0013/KW/18/0, nr archiwalny: DK-4100-13/18.

Literatura

- Alford P., Anderson D., Bishop M., Goldwood D., Stouffer C., Watson E., Karonka M., Moore R., 2014. Novel Oil Based Mud Additive Decreases HTHP Fluid Loss and Enhances Stability. *American Association of Drilling Engineers*, AADE-14-FTCE-18.
- Demirdal B., Cunha J.C., 2007. Olefin-Based Synthetic Drilling Fluids Volumetric Behavior Under Downhole Conditions. *Society of Petroleum Engineers*. DOI: 10.2118/108159-PA.
- Dębińska E., 2012. Ocena działania dodatków opóźniających czas wiązania zaczynów cementowych na podstawie badań laboratoryjnych. *Nafta-Gaz*, 4: 225–232.
- Fernandez J., Sharp K., Plummer D., 2014. Enhanced Fluid Viscosity Using Novel Surfactant Chemistry Purposely Designed for Low-Aromatic Mineral and Synthetic Base Fluids. *American Association of Drilling Engineers*, AADE-14-FTCE-15.
- Giergiczny Z. et al., 2003. Cementy w ofercie handlowej Górażdże Cement S.A. Chorula.
- Jasiński B., 2012. Badania nad zastosowaniem emulsji olejowo-wodnych jako cieczy roboczych o obniżonej gęstości. *Nafta-Gaz*, 12: 1155–1164.
- Kirca O., Yaman I.O., Tokyay M., 2013. Compressive strength development of calcium aluminate. *Cement and Concrete Composites*, 35(1): 163–170.
- Kremieniewski M., 2012. Modyfikacja przestrzeni porowej kamieni cementowych. *Nafta-Gaz*, 3: 165–170.
- Kremieniewski M., 2013. Wpływ warunków hydratacji na strukturę przestrzenną kamieni cementowych. *Nafta-Gaz*, 1: 51–56.
- Kurdowski W., 2010. Chemia cementu i betonu. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Kut Ł., 2011. Wpływ mikrocementu na parametry zaczynu i kamienia cementowego. *Nafta-Gaz*, 12: 903–908.
- Li Z., Cheng X., Zhang M., Wu X., Wu S., Wu D., Xiao Y., 2016. The Research and Application about Aluminate Cement Slurry in Heavy Oil Thermal Well. *Society of Petroleum Engineers*. DOI: 10.2118/182514-MS.
- Vipulanandan C., Krishnamoorti R., 2013. Smart cementing materials and drilling muds for real time monitoring of deepwater wellbore enhancement. Center for Innovative Grouting Materials and Technology (CIGMAT), University of Houston.

Akty prawne i normatywne

- Polski Komitet Normalizacyjny, 2006. Przemysł naftowy i gazowniczy. Cementy i materiały do cementowania otworów wiertniczych. Część 2: Badania cementów wiertniczych. PN-EN ISO 10426-2:2006.
- Polski Komitet Normalizacyjny, 2007. Cement glinowo-wapniowy. Skład wymagania i kryteria zgodności. PN-EN-14647:2007.



Mgr inż. Łukasz KUT

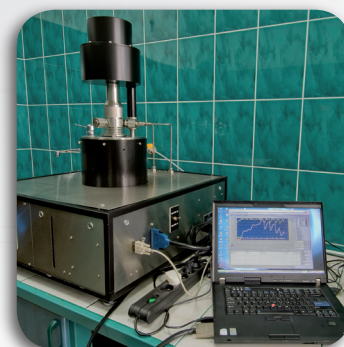
Asystent w Zakładzie Technologii Wiercenia
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: lukasz.kut@inig.pl

OFERTA

ZAKŁAD TECHNOLOGII WIERCENIA

Zakres działania:

- opracowywanie składów i technologii sporządzania płuczek wiertniczych, cieczy do dowiercania, opróbowania i rekonstrukcji odwiertów, zaczynów cementowych i mieszanin wiążących dla różnych warunków geologiczno-technicznych wiercenia;
- kompleksowe badania i ocena nowych rodzajów środków chemicznych, materiałów płuczkowych i wiążących, przeznaczonych do sporządzania i regulowania właściwości płuczek wiertniczych i zaczynów cementowych;
- pomiary parametrów technologicznych cieczy wiertniczych i kamienia cementowego w warunkach normalnej i wysokiej temperatury oraz ciśnienia;
- badania wpływu płuczek wiertniczych na przewiercane skały;
- dobór płuczek wiertniczych, zaczynów cementowych, cieczy buforowych w celu poprawy skuteczności cementowania otworów wiertniczych;
- badania serwisowe dla bieżących zabiegów cementowania;
- specjalistyczne badania laboratoryjne dotyczące oznaczania: współczynnika tarcia cieczy wiertniczych i napięcia powierzchniowego na granicy faz, czystości i temperatury krystalizacji solanek, typu emulsji, sedymentacji fazy stałej, efektywności wynoszenia zwiercin w otworach kierunkowych i poziomych oraz wyplukiwania osadów ilowych ze skał przed zabiegiem cementowania, odporności na migrację gazu w wiążącym zaczynie cementowym w warunkach otworopodobnych, wczesnej wytrzymałości na ściskanie kamienia cementowego, odporności korozyjnej kamienia cementowego w różnym środowisku złożowym, porowatości oraz przepuszczalności dla gazu kamienia cementowego i skał, zawartości związków chemicznych w cieczach wiertniczych, stopnia toksyczności środków chemicznych i cieczy wiertniczych przy użyciu bakterii bioindykatorów;
- badania właściwości fizyczno-mechanicznych skał pod kątem ich zwiercalności.



Kierownik: dr inż. Małgorzata Uliasz
Adres: ul. Armii Krajowej 3, 38-400 Krosno
Telefon: 13 436 89 41 w. 5219
Faks: 13 436 79 71
E-mail: malgorzata.uliasz@inig.pl

