

Marcin Kremieniewski

Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Poprawa stabilności sedymentacyjnej zaczynu cementowego

Prawidłowy dobór parametrów zaczynu cementowego w dużej mierze decyduje o skuteczności zaizolowania przestrzeni międzyrurowej i pozarurowej. Należy mieć na uwadze fakt, że wymagania dotyczące parametrów zaczynów uszczelniających są zróżnicowane w zależności od wielu czynników, do których należy także konstrukcja i przeznaczenie otworu wiertniczego. Jednolita struktura płynnego zaczynu oraz powstałego po związaniu płaszcza cementowego jest istotna z punktu widzenia szczelności otworu wiertniczego. W artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w celu poprawy stabilności sedymentacyjnej zaczynów cementowych przeznaczonych do uszczelniania kolumn rur okładzinowych w kierunkowych i poziomych otworach wiertniczych. Podczas badań laboratoryjnych wykorzystywano stosowane dotychczas oraz nowe środki zapobiegające segregacji ziaren zaczynu cementowego. Zrealizowane prace badawcze mające na celu określenie możliwości poprawy stabilności sedymentacyjnej zaczynu skutkowały wytypowaniem grupy środków przeznaczonych do zaczynów mających tendencję do segregacji drobnych frakcji. Opracowane składy charakteryzują się homogeniczną strukturą płynnego zaczynu cementowego, który nie wykazuje tendencji do segregowania ziaren pod wpływem sił grawitacji. Powstały z takiego zaczynu płaszcz cementowy posiada izotropową mikrostrukturę o jednakowych parametrach mechanicznych i fizyko mechanicznych w całym odcinku uszczelnianego interwału.

Słowa kluczowe: stabilność sedymentacyjna, zaczyn cementowy, struktura izotropowa.

Improvement of the sedimentation stability of cement slurry

Appropriate selection of cement slurries properties largely determines the effectiveness of the insulate of inter-tubular and annular space. It is important to bear in mind that the requirements of cement slurries parameters vary, depending on many factors, which also include the construction and purpose of the borehole. Uniform texture, of both fresh cement slurry and cement sheath after setting, is important for tightness of the well. The article presents the laboratory test results that were conducted with the purpose of improving the sedimentation stability of cement slurries for sealing off casing for directional and horizontal drilling. During the laboratory tests, previously used and novel additives to prevent segregation of cement slurries grains were applied. Accomplished research for determined opportunities to improve the sedimentation stability of cement slurries, resulted in the selection of the additives dosed to cement slurries, which tend to segregate fine fractions. Developed recipes were characterized by the homogeneous structure of fresh cement slurries, which do not tend to segregate the grains due to the gravitational forces. Obtained cement sheath was characterized by isotropic microstructure of the same mechanical and physiomechanical parameters throughout the whole sealing intervals.

Key words: sedimentation stability, cement slurry, isotropic microstructure.

Wprowadzenie

W ostatnich latach coraz częściej realizowane są wiercenia kierunkowe i poziome. Uwarunkowane jest to wieloma czynnikami, np.: możliwością osiągnięcia znacznie większego stopnia wydobywania w porównaniu z otworami pionowymi, możliwością udostępnienia obszarów słabiej zdrenowanych czy też eksploatacją złoża już zagospoda-

rowanego, które wymaga jedynie podłączenia nowego odwiertu do sieci [15].

Uszczelnienie kolumn rur okładzinowych w otworach kierunkowych i horyzontalnych stanowi wyzwanie dla inżynierów ze względu na restrykcyjne wymagania dla zaczynów przeznaczonych do uszczelniania otworów poziomych. Spełnienie na-

rzuconych warunków jest możliwe poprzez odpowiedni dobór domieszek i dodatków, co przekłada się na uzyskanie jednolitej homogenicznej struktury zarówno zaczynu, jak i płaszczu cementowego. W związku z tym przed zaprojektowaniem receptury zaczynu przeznaczonych do uszczelniania kolumn rur

okładzinowych otworu kierunkowego bądź horyzontalnego niezbędne jest przeprowadzenie analizy możliwości poprawy stabilności sedymentacyjnej zaczynu cementowego, a następnie opracowanie składu wykazującego stabilność sedymentacyjną i jednorodność powstałego płaszczu cementowego [8, 16].

Stabilność sedymentacyjna dyspersyjnego układu zaczynu cementowego

Aby zrozumieć pojęcie stabilności sedymentacyjnej dyspersyjnego układu zaczynu cementowego, trzeba zapoznać się ze znaczeniem wyrażen opisujących to zjawisko. Należą do nich dyspersja lub układ dyspersyjny (zaczynu cementowego) oraz sedymentacja (stabilność sedymentacyjna zaczynu).

Układ dyspersyjny to zwykle układ koloidalny, składający się z co najmniej dwóch faz, z których przynajmniej jedną stanowi materiał mocno rozdrobniony (np. cement, mikrocement itp.), rozproszony w drugiej fazie o charakterze ciągłym (ciecz, woda zarobowa). Fazy te mogą być dowolne, jednakże muszą się różnić między sobą składem lub stanem skupienia [1, 4]. Dyspersje, w których ośrodkiem rozpraszającym jest ciecz lub gaz, noszą nazwę zoli [4, 17].

Stabilność sedymentacyjna zaczynu to jego zdolność do zachowania wzajemnego układu cząstek cementu w niezmiennej postaci bez względu na działające siły zewnętrzne. Efektem braku stabilności jest segregacja cząstek zaczynu cementowego (rozdzielenie dyspersji do układu pierwotnego), sedymentacja (osiadanie cząstek cementu pod wpływem siły grawitacji) i odstój wody, czyli wydzielanie się jej nadmiernej ilości na powierzchni zaczynu [3, 14].

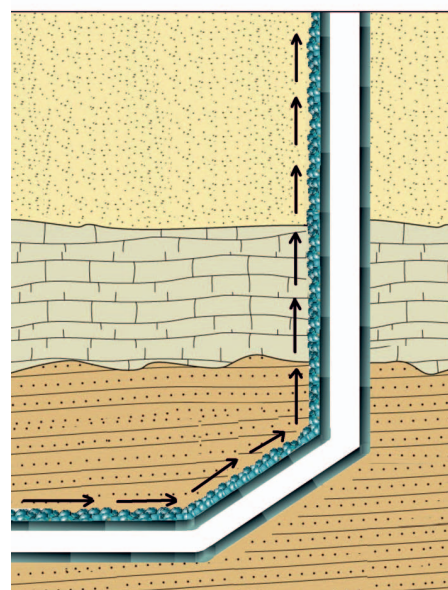
Zachowanie stabilności sedymentacyjnej zaczynu cementowego jest podstawowym warunkiem skutecznego uszczelnienia przestrzeni pierścieniowej i pozarurowej otworu wiertniczego. W przypadku zastosowania zaczynu sedymentującego zachodzi możliwość wystąpienia szeregu niekorzystnych zjawisk. Źle zaprojektowany zaczyn cementowy wykazuje skłonność do rozwarstwiania się i wydzielania nadmiernej ilości wody. Część wody wolnej absorbowana jest przez formacje skalne, skutkiem czego może być np.: zakolmatowanie strefy przyodwiertowej, miejscowe osłabienie płaszczu cementowego po związaniu, wystąpienie pustek umożliwiających kanały przepływu gazu (migrację gazu), a w ostateczności – słabe zacementowanie lub nawet brak zacementowania uwiadczenia się po przeprowadzeniu pomiarów CBL oraz RBT.

Ponadto niestabilny pod kątem sedymentacyjnym zaczyn cementowy posiada w górnej części otworu wiertniczego obniżoną gęstość i w związku z tym powstająca z takiego zaczynu struktura płaszczu cementowego wykazuje znaczną anizotropię (rysunek 1). Płaszcz cementowy powstały z niehomogenicznego zaczynu będzie posiadał różne (w zależno-

ści od punktu pomiaru) wartości wytrzymałości mechanicznej, przyczepności do rur stalowych, porowatości oraz przepuszczalności [9, 11, 12]. Jeżeli dodatkowo uwzględnimy podwyższone wartości odstojów wody w zaczynie pod górną częścią ściany otworu poziomego lub silnie odchylnego od pionu, to z dużym prawdopodobieństwem można przyjąć, iż po związaniu cementu w przestrzeni tej może wytworzyć się kanał (rysunek 2) wzdłuż kolumny rur, powodując nieszczelność płaszczu cementowego.



Rys. 1. Efekt anizotropii struktury płaszczu cementowego w funkcji głębokości otworu wiertniczego



Rys. 2. Brak szczelności płaszczu cementowego i przepływ gazu na skutek wysokiego odstojów wody

Największy wpływ na segregację składników zaczynu cementowego wykazuje współczynnik wodno-cementowy

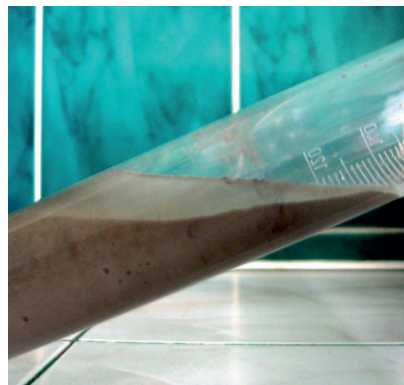
oraz rodzaj i ilość dodatku upłynniającego. Poprawę stabilności sedymentacyjnej dyspersyjnego układu zaczynu cementowego można uzyskać, stosując mocno rozdrobnione frakcje dodatków i domieszek bądź polimerów, które powodują wzrost lepkości układu dyspersyjnego [18, 19]. Zachodzi jednak pewnego rodzaju sprzeczność pomiędzy dążeniem do uzyskania zaczynu stabilnego sedymentacyjnie, jednocześnie na tyle upłynnionego, żeby możliwe było tłoczenie przy przepływie turbulentnym ($Re > 2000$) i przy niewielkim ciśnieniu w taki sposób, aby nie nastąpiło rozszczelinowanie strefy złożowej. Sprzeczność ta wynika z faktu, iż redukcja międzycząsteczkowych sił przyciągania, prowadząca do poprawy płynności zaczynu, wiąże się ze wzrostem możliwości swobodnego przemieszczania się ziaren cementu wskutek sił zewnętrznych [5, 7]. W konsekwencji zaczyn mocniej upłynniony wykazuje większą tendencję do rozsegregowywania składników i osiadania cząstek, czyli sedymentacji i wydzielania wody wolnej. W przypadku uszczelniania otworów kierunkowych i poziomych zwraca się szczególną uwagę na takie własności jak: stabilność sedymentacyjna, odstój wody (woda wolna) oraz filtracja zaczynu. Należy zaznaczyć, iż są to konstytutywne parametry decydujące o przydatności zaczynu do uszczelniania otworów kierunkowych [2, 10, 13].

Obecnie znanych jest wiele różnych metod badawczych stosowanych do określenia stabilności sedymentacyjnej zaczynu cementowego. Najbardziej wyrafinowane techniki polegają na laserowym pomiarze rozkładu ilości cząstek w objętości danej cieczy kolumny badawczej [6, 7]. Jednak najczęściej stosuje się pomiar ilości wydzielającej się wody nad badanym układem dyspersyjnym, co w technologii zaczynów cementowych określane jest mianem odstępu wody (fotografia 1). Może się jednak zdarzyć, że zaczyn cementowy będzie wykazywał niewielką sedymentację, wówczas ziarna cementu opadną wskutek działania sił grawitacji, lecz zaczyn nie będzie posiadał odstępu wody. Dlatego też do pomiaru sedymentacji w technologii zaczynów stosuje się kolumnę sedymentacyjną (fotografia 2) umożliwiającą określenie gęstości zaczynu w poszczególnych punktach (górze, środku, dołu). Pomiar stabilności sedymentacyjnej jest głównym badaniem określającym jednorodność struktury płynnego zaczynu, jednakże na parametr ten wpływa szereg dodatkowych czynników tj.:

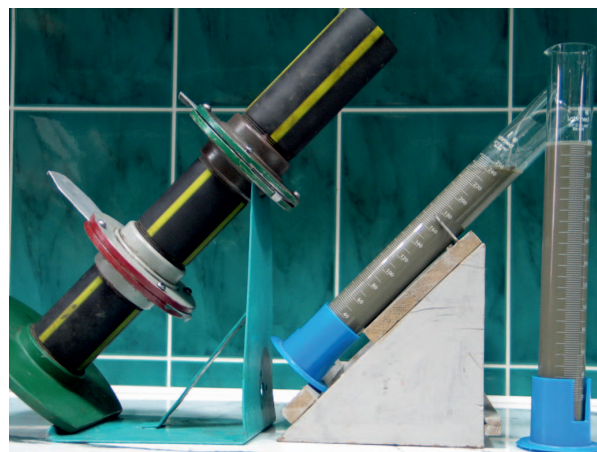
- odstój wody (woda wolna),
- gęstość zaczynu cementowego,
- parametry reologiczne zaczynu cementowego (rozlewność,

granica płynięcia, wytrzymałość strukturalna, wskaźnik konsystencji, wskaźnik charakterystyczny przepływu),

- filtracja zaczynu cementowego,
- czas gęstnienia i wiązania zaczynu cementowego [8, 16].



Fot. 1. Odstój wody w zaczynie o niskiej stabilności sedymentacyjnej



Fot. 2. Stanowisko do oznaczania stabilności sedymentacyjnej zaczynu cementowego i odstępu wody (po lewej – kolumna sedymentacyjna, po prawej – cylindry do pomiaru odstępu wody)

Analizując kompleksowo ww. własności zaczynu, można stwierdzić, iż zachodzi pewnego rodzaju interakcja pomiędzy wymienionymi jego własnościami. Dzieje się tak, ponieważ – jak już wspomniano – zaczyn cementowy jest układem dyspersyjnym zawierającym w swoim składzie szereg dodatków i domieszek wykazujących zróżnicowane działanie. W związku z powyższym każdy zaczyn cementowy należy traktować indywidualnie, w zależności od przeznaczenia dla konkretnych warunków geologiczno-technicznych.

Przebieg prac badawczych

Badania mające na celu przeprowadzenie analizy możliwości poprawy stabilności sedymentacyjnej zaczynu cementowego zostały wykonane w Laboratorium Zaczy-

nów Uszczelniających INiG – PIB w oparciu o normy: PN-85/G-02320 *Cementy i zaczyny cementowe do cementowania w otworach wiertniczych*, PN-EN 10426-2 *Przemysł*

naftowy i gazowniczy. *Cementy i materiały do cementowania otworów. Część 2: Badania cementów wiertniczych oraz API SPEC 10 Specification for materials and testing for well cements.*

Zaprezentowany w niniejszej publikacji cykl badawczy polegał na wykazaniu działania różnego rodzaju dodatków przeciwsedymentacyjnych. Określono wpływ wytypowanych dodatków na poprawę stabilności sedymentacyjnej poprzez wytworzenie jednorodnej zawiesiny w zacczynie wskutek wzrostu lepkości cieczy zarobowej. Porównane zostały receptury zacczynów sporządzone przy użyciu cementu portlandzkiego klasy CEM I 32,5R oraz cementu wiertniczego G HSR. Działanie takie uwarunkowane było różnicą w uziarnieniu i powierzchni właściwej tych cementów.

Badania wykonane w celu przeprowadzenia analizy możliwości poprawy stabilności sedymentacyjnej polegały przede wszystkim na określeniu odstoju wody oraz pomiarze sedymentacji fazy stałej w zacczynie.

W celu określenia wartości odstoju wody zacczyn sporządzony zgodnie z punktem 15.6 normy PN-EN ISO 10426-4 poddano mieszaniu w konsystometrze przez okres 20 minut w temperaturze przyjętej dla zacczynu przeznaczonego do określonych warunków otworowych. Następnie zacczyn przelano do cylindra miarowego o pojemności 250 cm³ (fotografia 2) i uszczelniono w celu wyeliminowania parowania cieczy. Po upływie 2 godzin zmierzono wydzieloną z zacczynu wodę, określaną mianem odstoju wody.

Pomiar stabilności sedymentacyjnej zacczynu wykonano w skonstruowanej specjalnie do tego celu kolumnie sedymentacyjnej. Zacczyn sporządzono analogicznie do przypadku pomiaru odstoju wody. Następnie zacczyn umieszczono w kolumnie sedymentacyjnej (fotografia 2) i po upływie 2 godzin zamknięto zasuwę odcinającą jego poszczególne partie zacczynu (kolumna podzielona na trzy części). Zacczyn z każdej części cylindra pomiarowego wymieszano i za pomocą wagi Ba-roid wykonano pomiary gęstości. Na podstawie otrzymanych

Tablica 1. Wpływ wytypowanych środków na stabilność sedymentacyjną i odstój wody zacczynów na bazie cementu CEM I 32,5R

Próbka nr	Skład zacczynu [%]		Rozlewność [mm]	Odstój wody [%]		Gęstość [kg/m ³]	Kąt	Sedymentacja fazy stałej [kg/m ³]			Różnica gęstości [kg/m ³]	
				kąt 90°	kąt 45°			góra	środek	dół	góra-środek	środek-dół
1.	Woda wodoc. w/c Dod. odpieniający CEM I 32,5R	0,46 0,10 100	195	0,4	1,9	1880	90°	1800	1880	1920	80	40
							45°	1780	1885	1920	105	35
2.	Woda wodoc. w/c Dod. odpieniający Dod. dyspergujący CEM I 32,5R	0,46 0,10 0,25 100	220	1,2	3,6	1780	90°	1620	1780	1840	160	60
							45°	1600	1760	1820	160	60
3.	Woda wodoc. w/c Bentonit Dod. odpieniający Dod. dyspergujący CEM I 32,5R	0,46 1,00 0,10 0,25 100	160	0,2	0,3	1880	90°	1870	1880	1890	10	10
							45°	1870	1880	1890	10	10
4.	Woda wodoc. w/c Mikrosfera Dod. odpieniający Dod. dyspergujący CEM I 32,5R	0,50 10,0 0,10 0,25 100	230	1,9	4,4	1620	90°	1540	1610	1730	70	120
							45°	1510	1590	1700	80	110
5.	Woda wodoc. w/c Bentonit Mikrosfera Dod. odpieniający Dod. dyspergujący CEM I 32,5R	0,50 1,00 10,0 0,10 0,25 100	200	0,3	1,2	1560	90°	1550	1560	1560	10	0
							45°	1540	1550	1570	10	20
6.	Woda wodoc. w/c Polimer wielkocząst. Mikrosfera Dod. odpieniający Dod. dyspergujący CEM I 32,5R	0,50 4,00 10,0 0,10 0,25 100	235	0,1	1,6	1600	90°	1590	1600	1610	10	10
							45°	1580	1600	1620	20	20

* Niepewność pomiaru stabilności sedymentacyjnej zacczynu oszacowano na poziomie 0,25%.

wartości gęstości określona została stabilność sedymentacyjna. Zaczyn stabilny sedymentacyjnie powinien posiadać równe wartości gęstości we wszystkich częściach kolumny pomiarowej. Jeżeli różnica gęstości byłaby większa od 60 kg/m³, świadczyłoby to o nadmiernej sedymentacji zaczynu cementowego.

Do badań wytypowany został zaczyn bazowy, a następnie recepturę tę poddano modyfikacjom, które polegały na zastosowaniu dodatków wspomagających utrzymanie fazy stałej w zaczynie poprzez wzrost lepkości cieczy zarobowej. Receptury zaczynów, ilościowe zawartości poszczególnych dodatków i domieszek, a także główne parametry zaczynów zestawiono w tablicach 1 i 2.

Pierwsza grupa zaczynów jest reprezentowana przez składy sporządzone na bazie cementu portlandzkiego klasy CEM I 32,5R. Wszystkie zaczyny zawierają 0,1% dodatku odpieniającego. Posiadają one porównywalne pod względem ilościowym i jakościowym składniki. Główną różnicą jest zastosowanie wytypowanych dodatków poprawiających

stabilność sedymentacyjną. W tej grupie receptur zastosowano następujące dodatki:

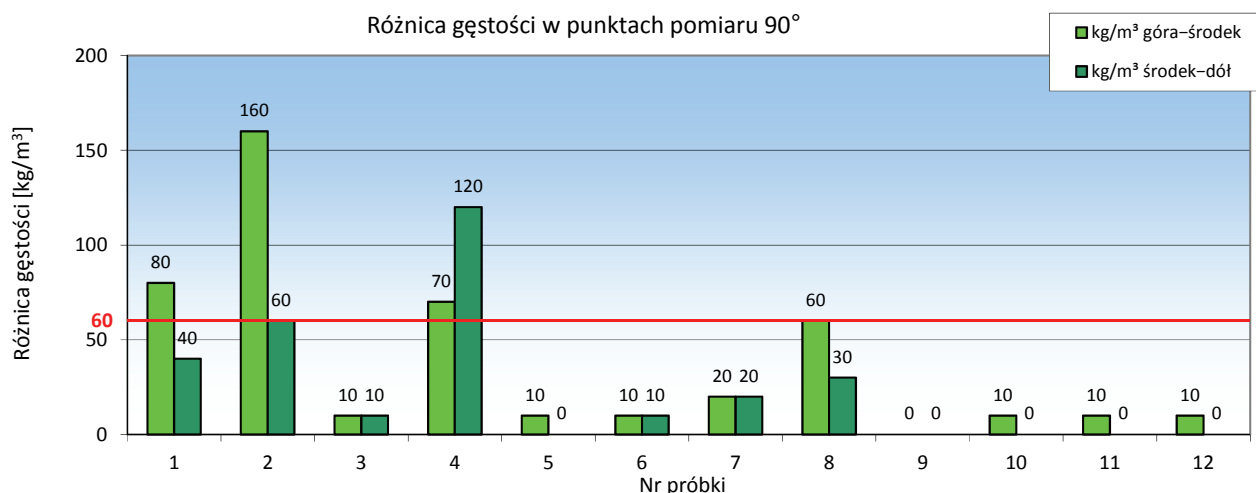
- środek dyspergujący,
- bentonit,
- mikrosfera,
- mikrosfera + bentonit,
- polimer wielkocząsteczkowy.

Analizując wyniki badań zestawione w tablicy 1 oraz na rysunkach 3 i 4, zaobserwowano wyraźne frakcjonowanie receptury bazowej (nr 1). Różnice gęstości pomiędzy górną a środkową częścią kolumny sedymentacyjnej zawarte są w zakresie od 80 kg/m³ do 105 kg/m³. Są to wartości znacznie przekraczające dopuszczalną normę (60 kg/m³). Zastosowanie dodatku dyspergującego (zaczyn nr 2) powodowało jeszcze mocniejsze frakcjonowanie i różnica gęstości pomiędzy górnym i środkowym punktem pomiaru w kolumnie sedymentacyjnej wynosiła 160 kg/m³ (pomiar pod kątem 90° i 45°). Również dodatek mikrosfery w recepturze nr 4 (bez wstępnej

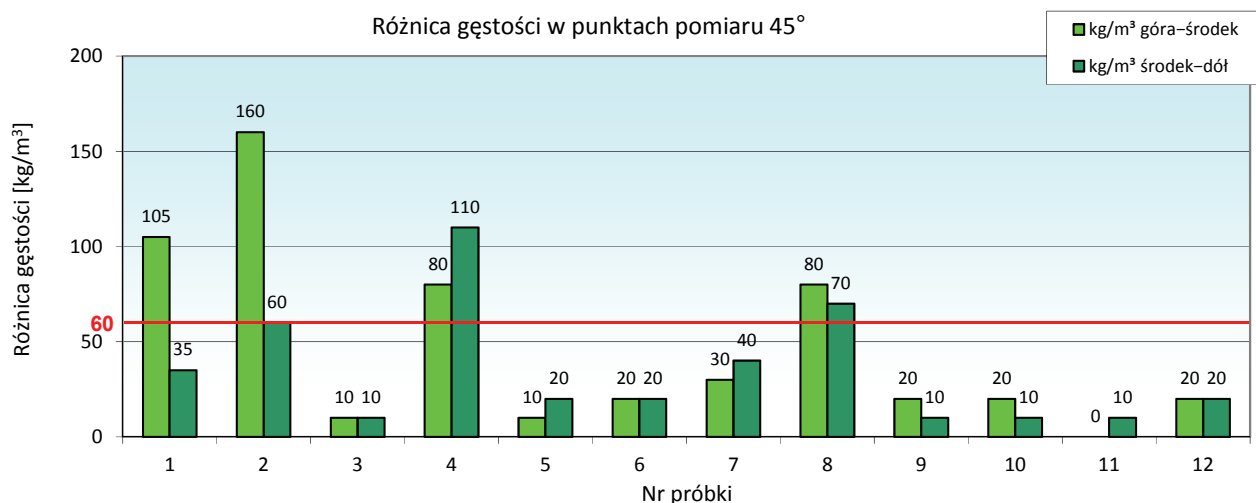
Tablica 2. Wpływ wytypowanych środków na stabilność sedymentacyjną i odstój wody zaczynów na bazie cementu G HSR

Próbka nr	Skład zaczynu [%]		Rozlewność [mm]	Odstój wody [%]		Gęstość [kg/m ³]	Kąt	Sedymentacja fazy stałej [kg/m ³]			Różnica gęstości [kg/m ³]	
				kąt 90°	kąt 45°			góra	środek	dół	góra-środek	środek-dół
7.	Woda wodoc. w/c Dod. odpieniający CEM G	0,44 0,10 100	240	1,2	3,6	1900	90°	1880	1900	1920	20	20
							45°	1860	1890	1930	30	40
8.	woda wodoc. w/c Dod. odpieniający Dod. dyspergujący CEM G	0,44 0,10 0,25 100	275	4,8	5,4	1910	90°	1810	1870	1900	60	30
							45°	1760	1840	1910	80	70
9.	Woda wodoc. w/c Bentonit Dod. odpieniający Dod. dyspergujący CEM G	0,44 1,00 0,10 0,25 100	215	0,1	1,8	1910	90°	1910	1910	1910	0	0
							45°	1890	1910	1920	20	10
10.	Woda wodoc. w/c Dod. odpieniający Dod. dyspergujący Szkło wodne sodowe CEM G	0,50 0,10 0,25 3,00 100	180	0,4	1,4	1810	90°	1800	1810	1810	10	0
							45°	1790	1810	1820	20	10
11.	Woda wodoc. w/c Dod. odpieniający Dod. dyspergujący Żywica ksantanowa CEM G	0,50 0,10 0,25 0,15 100	200	2,5	5,0	1840	90°	1830	1840	1840	10	0
							45°	1840	1840	1850	0	10
12.	Woda wodoc. w/c Dod. odpieniający Dod. dyspergujący Perlit pylisty CEM G	0,50 0,10 0,25 2,00 100	260	0,1	1,8	1740	90°	1730	1740	1740	10	0
							45°	1700	1720	1740	20	20

* Niepewność pomiaru stabilności sedymentacyjnej zaczynu oszacowano na poziomie 0,25%.



Rys. 3. Różnica gęstości pomiędzy analizowanymi częściami kolumny pomiarowej (górną część – środkową część oraz środkową część – dolną część); pomiar pod kątem 90°



Rys. 4. Różnica gęstości pomiędzy analizowanymi częściami kolumny pomiarowej (górną część – środkową część oraz środkową część – dolną część); pomiar pod kątem 45°

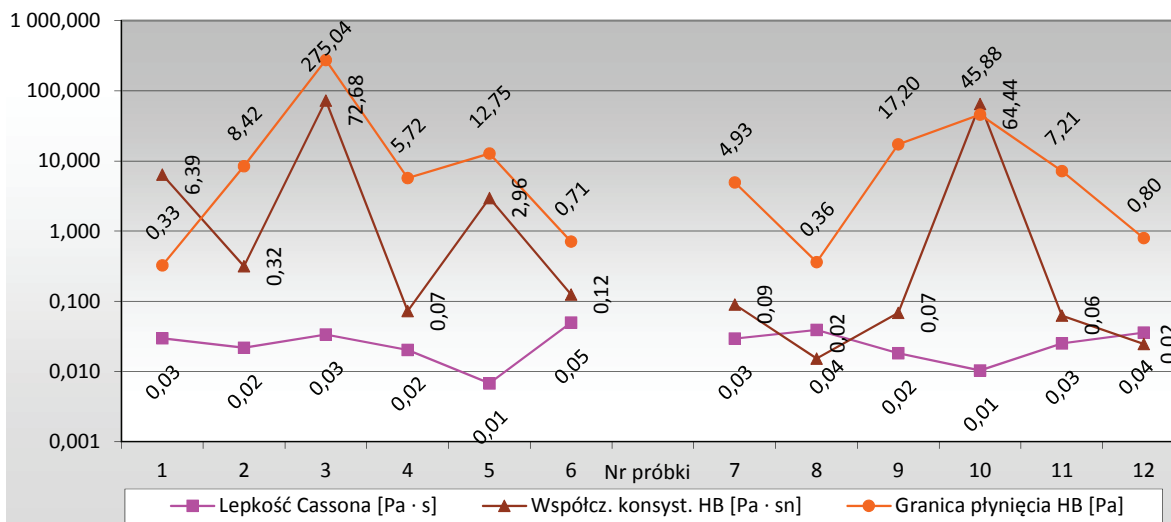
obróbki lepkości wody zarobowej poprzez zastosowanie dodatku bentonitu) skutkowało ponadnormatywnym frakcjonowaniem płynnego zaczynu (kolor czerwony w tabelicy 1). Z wytypowanych do badań środków mających przeciwdziałać sedimentacji zaczynu najlepsze działanie zapobiegające frakcjonowaniu wykazywał dodatek bentonitu oraz polimeru wielkocząsteczkowego (składy nr 3 i 6). Należy jednak zaznaczyć, iż dodatek bentonitu powodował znaczne podwyższenie parametrów reologicznych: rozlewność wynosiła 160 mm, współczynnik konsystencji_{HB} 275 Pa · sⁿ, a granica płynięcia_{HB} 72,68 Pa (rysunek 5). Działanie takie nie jest korzystne z punktu widzenia technologii tłoczenia zaczynu. Znacznie podwyższone wartości lepkości plastycznej i granicy płynięcia mogą skutkować wzrostem ciśnienia tłoczenia, wskutek czego zachodzi ryzyko rozszczelinowania strefy złożowej. Bentonit, co prawda, niweluje frakcjonowanie zaczynu, jednak mimo to powoduje dość mocne zagęszczenie świeżego zaczynu. W związku

z tym znacznie lepszym środkiem przeciwsedymentacyjnym wydaje się być zastosowanie polimeru wielkocząsteczkowego, po którego użyciu parametry reologiczne utrzymane są na dobrym poziomie, natomiast sedimentacja fazy stałej jest bardzo niska (różnica gęstości w zakresie od 10 kg/m³ do 20 kg/m³).

Zestawione w tabelicy 2 zaczyny należące do drugiej grupy sporządzone zostały na bazie cementu wiertniczego G HSR. Analogicznie do poprzedniego przypadku wszystkie składy zawierały 0,1% dodatku odpieniającego. W tej grupie zaczynów zastosowano następujące dodatki:

- środek dyspergujący,
- bentonit,
- szkło wodne sodowe,
- żywica ksantanowa,
- perlit pylisty.

Na podstawie zestawionych w tabelicy 2 oraz na rysunkach 3 i 4 wyników badań można zaobserwować niewielkie frakcjonowanie



Rys. 5. Zestawienie wyników badań parametrów reologicznych dla próbek wzorcowych zaczynów cementowych

składników zaczynu w recepturze bazowej (nr 7). Różnice w gęstości zaczynów w poszczególnych częściach kolumny zawierały się w dopuszczalnym przez normę zakresie (nieprzekraczającym wartości 60 kg/m³). Zastosowanie środka dyspergującego w zaczynie nr 8 skutkowało znacznie mocniejszym frakcjonowaniem. W badaniu uzyskano różnice w gęstościach w zakresie od 70 kg/m³ (górną – środkową część kolumny) do 80 kg/m³ (środkowa – dolna część kolumny) dla pomiaru sedymentacji pod kątem 45°. Wartości te nieznacznie przekraczały dopuszczalne normą, co wskazuje, iż środek dyspergujący nie wykazywał wpływu na poprawę stabilności zaczynu. Stosowanie pozostałych dodatków skutkowało uzyskaniem niewielkich różnic gęstości w poszczególnych częściach kolumny sedymentacyjnej. Otrzymano wartości nieprzekraczające 20 kg/m³. Analizując parametry reologiczne zaczynów w tej grupie, zaobserwowano znaczny wzrost współczynnika konsystencji_{HB} oraz granicy płynięcia_{HB} (rysunek 5) po zastosowaniu dodatku wodnej dyspersji krzemianu sodu (szkła wodnego – skład 10). Z tego względu, podobnie jak w przypadku dodatku bentonitu, należałoby zachować ostrożność w dozowaniu szkła wodnego w celu poprawy stabilności sedymentacyjnej lub zastosować niewielką ilość środka dyspergującego. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono korzystne działanie dodatku żywicy ksantanowej – zaczyn nr 10, a także perlitu pylistego – zaczyn nr 12. Warunkowo (po modyfikacji receptury zaczynu w celu obniżenia parametrów reologicznych) można zastosować dodatek szkła wodnego sodowego.

Porównując wartości stabilności sedymentacyjnej zaczynów bazowych (składy nr 1 i 7), stwierdzono, że znacznie od-

porniejszym na osiadanie fazy stałej jest zaczyn sporządzony przy użyciu cementu wiertniczego klasy G HSR niż zaczyn sporządzony na bazie cementu portlandzkiego CEM I 32,5R. Może to być spowodowane mniejszym normowym¹ współczynnikiem wodno-cementowym. Poddane badaniom środki, mające za zadanie poprawienie stabilności sedymentacyjnej zaczynów cementowych, powodowały wzrost parametrów reologicznych. Takie działanie umożliwiałoby utrzymanie drobnych frakcji w całej objętości zaczynu cementowego, a tym samym – brak jego rozwarstwiania. Jednakże zbyt mocne podwyższenie współczynnika konsystencji i granicy płynięcia nie jest korzystne, co należy uwzględnić podczas projektowania receptury zaczynu. Stosowane dodatki przeciwsedymentacyjne skutkowały również obniżeniem wartości odstoju wody. Takie działanie jest tłumaczone interakcją sedymentacji i wydzielania się wody wolnej z zaczynu. Wzrost wartości odstoju wody powodował dodatek mikrosfery (która de facto nie została zaklasyfikowana do dodatków przeciwsedymentacyjnych) oraz dodatek żywicy ksantanowej. Środki przeciwsedymentacyjne wykazujące zdolność utrzymywania fazy stałej w objętości zaczynu cementowego mają wpływ na poprawę skuteczności uszczelniania kolumn rur okładzinowych. Związane jest to z wyeliminowaniem ewentualności miejscowego osłabienia struktury płaszcza cementowego wskutek osiadania drobnych frakcji zaczynu.

¹Według normy PN-EN ISO 10426-2 w/c dla cementu klasy A (CEM I 32,5R) = 0,46; w/c dla cementu klasy G (G HSR) = 0,44.

Podsumowanie

Na podstawie uzyskanych wyników badań wyciągnięto następujące wnioski:

1. Ze względu na możliwość wystąpienia zróżnicowanego działania dodatków przeciwsedymentacyjnych zaczynu

- z tego rodzaju środkami należy bezwzględnie poddać badaniom w laboratorium na specjalistycznej aparaturze.
2. Dodatek bentonitu powoduje ograniczenie frakcjonowania zaczynu, ale jednocześnie wywołuje znaczny wzrost parametrów reologicznych.
 3. Zastosowanie szkła wodnego również przyczynia się do poprawy stabilności sedymentacyjnej, jednak z uwagi na silne zagęszczenie wody zarobowej należy dodatkowo uwzględnić potrzebę użycia środka upłynniającego.
 4. Zastosowany środek dyspergujący wskutek obniżenia parametrów reologicznych i tym samym zmniejszenia sił międzycząsteczkowych skutkowało wzrostem frakcjonowania zaczynu (obniżenie stabilności sedymentacyjnej).
 5. Ze względu na niższy (określony w normie) współczynnik wodno-cementowy zaczynu sporządzone na bazie cementu wiertniczego G HSR wykazują większą stabilność sedymentacyjną.
 6. Dodatek żywicy ksantanowej powodował znaczną poprawę stabilności sedymentacyjnej zaczynu cementowego przy niewielkim wzroście parametrów reologicznych.
 7. Bardzo dobre właściwości przeciwsedymentacyjne wykazywał dodatek drobnych frakcji perlitu. Uzyskano jednolitą strukturę płynnego zaczynu przy jednoczesnym zachowaniu niskich współczynników konsystencji i granicy płynięcia.
 8. Stosowanie dodatków przeciwsedymentacyjnych powoduje wzrost parametrów reologicznych, a przy tym obniżenie odstoju wody. Może być to tłumaczone występowaniem współzależności pomiędzy sedymentacją fazy stałej i wydzielaniem wody wolnej z płynnego zaczynu.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2017, nr 4, s. 242–249, DOI: 10.18668/NG.2017.04.04

Artykuł nadesłano do Redakcji 8.12.2016 r. Zatwierdzono do druku 14.02.2016 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy badawczej pt.: *Analiza możliwości poprawy stabilności sedymentacyjnej zaczynów cementowych* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW, nr zlecenia: 36/KW/16, nr archiwalny: DK-4100/36/16.

Literatura

- [1] Aguilera R., Cordell G., Ng M.G., Nicholl G.W., Runions G.A.: *Horizontal Wells*. Gulf publishing Company, Houston 1991.
- [2] Armessen P., Jourdan A.P., Mariotti Ch.: *Horizontal drilling gas negative and positive factors*. PennWell Publishing Comp. 1988.
- [3] Bandrowski J., Merta H., Ziolo J.: *Sedymentacja zawiesin. Zasady i projektowanie*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1995.
- [4] Barron A.R.: *Hydratation of Portland Cement*; <http://cnx.org/content/m16447/latest/> (dostęp: 26.01.2010).
- [5] Bhatti J.I., Banfill P.F.G.: *Sedimentation behaviour in cement pastes subjected to continuous shear in rotational viscometers*. Cement and Concrete Research 1982.
- [6] Carpenter R.B.: *Matrix Control Cementing Slurry*. U.S. Patent No. 4.569.395, 1986.
- [7] Chatterji S.: *On the properties of freshly made Portland cement paste. Part 2. Sedimentation and strength of flocculation*. Cement and Concrete Research 1988.
- [8] Dębińska E.: *Ocena działania dodatków opóźniających czas wiązania zaczynów cementowych na podstawie badań laboratoryjnych*. Nafta-Gaz 2012, nr 4, s. 225–232.
- [9] Dohnalik M., Zalewska J.: *Korelacja wyników laboratoryjnych uzyskanych metodą rentgenowskiej mikrotomografii, jądrowego rezonansu magnetycznego i porozymetrii rtęciowej*. Nafta-Gaz 2013, nr 10, s. 735–743.
- [10] Kątna Z. i in.: *Badania modelowe wpływu odstoju wody, sedymentacji i początkowego skurczu zaczynu cementowego na jakość uszczelniania rur w otworach odchylonych od pionu i poziomych w temperaturach do 85°C*. Praca naukowo-badawcza INiG, Kraków 1997.
- [11] Kremieniewski M., Rzepka M., Stryczek S., Wiśniowski R., Kotwica Ł., Złotkowski A.: *Korelacja przepuszczalności i parametrów opisujących strukturę stwardniałych zaczynów cementowych stosowanych do uszczelniania otworów w rejonie Basenu Pomorskiego*. Nafta-Gaz 2015, nr 10, s. 737–746, 10.18668/NG2015.10.04.
- [12] Kremieniewski M., Stryczek S., Kotwica Ł.: *Zmiany w mikrostrukturze płaszczki cementowego w zależności od warunków hydratacji zaczynu*. Nafta-Gaz 2014, nr 12, s. 918–926.
- [13] McNaught A.D., Wilkinson A.: *IUPAC. Compendium of Chemical Terminology* (Gold Book). Wyd. 2. Oksford: Blackwell Scientific Publications, 1997. Wersja internetowa: Nic M., Jirat J., Kosata B.: *Colloidal dispersion* (ang.), aktualizowana przez Jenkins A. DOI: 10.1351/goldbook.C01174.
- [14] Parcevaux P.: *Gas Migration and GASBLOCK Technology*. Drilling & Pumping, Aug. 1987, s. 11–22.
- [15] Praca zbiorowa: *Rzeczpospolita łupkowa. Studium wiedzy o gazie z formacji łupkowych*. Prace Naukowe INiG 2012, nr 183.
- [16] Rzepka M., Stryczek S.: *Laboratoryjne metody określania parametrów technologicznych świeżych zaczynów uszczelniających przed zabiegiem związanym z procesem uszczelniania kolumn rur okładzinowych w otworach wiertniczych*. Wiertnictwo, Nafta, Gaz 2008, t. 25, z. 2, s. 625–636.
- [17] Slomkowski S., Alemán J.V., Gilbert R.G., Hess M., Horie K., Jones R.G., Kubisa P., Meisel I., Mormann W., Penczek S., Stepto R.F.T.: *Terminology of polymers and polymerization processes in dispersed systems (IUPAC Recommendations 2011)*. Pure Appl. Chem. 2011, vol. 83, nr 12, s. 2229–2259.
- [18] Stryczek S., Wiśniowski R., Gonet A., Złotkowski A.: *The influence of time of rheological parameters of fresh cement slurries*. AGH Drilling, Oil, Gas 2014, vol. 31, s. 123–133.
- [19] Zima G.: *Nowy rozkład płuczki wiertniczej do zastosowania w warunkach HTHP*. Nafta-Gaz 2015, nr 8, s. 556–564.



Dr inż. Marcin KREMIEŃEWSKI
Adiunkt w Zakładzie Technologii Wiercenia.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: marcin.kremieniewski@inig.pl