

Bartłomiej Jasiński

Instytut Nafty i Gazu, Oddział Krosno

Wpływ oksydantów na wielkość sedymentacji fazy stałej w zasolonych płuczkach wiertniczych

Wprowadzenie

Jednym ze sposobów upłynnienia płuczki wiertniczej przed zabiegiem cementowania jest zastosowanie środków chemicznych o działaniu utleniającym, tzw. oksydantów. W wyniku ich działania łańcuchy polimerów są rozrywane na małe fragmenty, co w konsekwencji prowadzi do spadku ich masy molekularnej. Takie oddziaływanie utleniaczy na płuczkę powoduje obniżenie wartości parametrów reologicznych. Dzięki upłynnieniu płuczka staje się o wiele łatwiejsza do wypłukania przez ciecz przemawiającą, płynącą przed zaczynem cementowym. Ponadto, można zastosować zaczyn o niskiej lepkości, dzięki czemu otwór zostanie dokładniej wypełniony. Zastosowanie utleniaczy pozwala również na dokładniejsze usunięcie osadu filtracyjnego ze ściany otworu. Ma to duży wpływ na późniejszą jakość zacementowania, a co za tym idzie – na ograniczenie ekshalacji mediów złożowych poprzez zacementowaną przestrzeń pierścieniową. Dodatkowym atutem jest penetracja porów skalnych przez środki utleniające, umożliwiającą zniszczenie polimerów, które wcześniej wniknęły w głąb skały. Dzięki temu możliwa jest poprawa przepuszczalności w strefie przyodwiertowej skały przepuszczalnej [1].

Niestety obniżenie parametrów reologicznych wpływa negatywnie na zdolność zawieszania fazy stałej w płuczce. Jedną z podstawowych kwestii podczas procesu wiercenia jest ciągła kontrola ciśnienia, jakie płuczka wiertnicza wywiera na ścianę otworu. W normalnych warunkach ciężar wody i zwiercin podnoszonych z dna otworu jest wystarczający, aby zrównoważyć ciśnienia złożowe. Wyższe ciśnienia złożowe wymuszają zastosowanie płuczki z dodatkiem materiałów obciążających. Do regulacji masy właściwej płuczek wiertniczych używa się minerałów

o różnej gęstości. Skład płuczki (w tym zawartość fazy stałej) decyduje o jej właściwościach reologicznych. Obniżenie parametrów reologicznych płuczki sprawia, że cząsteczki materiałów obciążających pod wpływem siły grawitacji opadają na dno otworu. Zjawisko to jest szczególnie intensywne podczas wiercenia otworów kierunkowych i poziomych. Może ono prowadzić do poważnych problemów w trakcie wiercenia, takich jak: utrata cyrkulacji płuczki, przechwytywanie przewodu wiertniczego czy trudności z zacementowaniem otworu. Od dłuższego czasu trwają badania nad tym zjawiskiem oraz nad sposobami zminimalizowania jego wpływu.

Fakt wzmożonej sedymentacji w otworach kierunkowych można wytłumaczyć tak zwanym efektem Boycotta. Pracując w londyńskim laboratorium, Boycott zauważył, że krew pacjentów klarowała się znacznie szybciej w próbkach pochyłonych niż w tych ustawionych pionowo. Zjawisko to tłumaczy się wzrostem powierzchni sedymentacji w pochyłonych przewodach. W takim przypadku powierzchnia sedymentacyjna zawarta jest zarówno w rzucie prostokątnym na powierzchnię poziomą dna przewodu, jak również w rzucie prostokątnym dolnej powierzchni przewodu [5]. Oprócz efektu Boycotta, w otworach kierunkowych pojawiają się jeszcze inne niekorzystne dla wynoszenia urobku zjawiska. Jeżeli kąt odchylenia osi otworu od pionu znajduje się w krytycznym ze względu na wynoszenie zwiercin zakresie $35\div 60^\circ$, rozkład prędkości przepływu płuczki staje się niesymetryczny z powodu ułożenia przewodu wiertniczego na ścianie otworu. Oprócz tego zachodzi zjawisko nazywane *cuttings bed effect*, polegające na gromadzeniu się coraz grubszej warstwy zwiercin na dolnej części ściany. Utworzona warstwa

osadu ma tendencję do lawinowego zsuwania się w dół otworu, co z kolei powoduje lokalny wzrost ilości zwiercin, a w wyniku tego – wzrost gęstości płuczki [4].

W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki badań laboratoryjnych wpływu oddziaływania wybranych środków utleniających na wielkość sedimentacji fazy stałej w płuczках o różnym stopniu zasolenia, ze szczególnym uwzględnieniem warunków panujących w otworach kierunkowych. Płuczki te, szczególnie odporne na działanie klasycznych

środków upłynniających, takich jak: taniny, lignosulfoniany czy lignity, są powszechnie wykorzystywane przy przewiercaniu utworów dolomitu głównego. Warstwy cechsztyńskie są obecnie coraz częściej udostępniane otworami o dużym kącie odchylenia. Z uwagi na to, że rozcieńczanie płuczki za pomocą nasyconej solanki z barytem pochłaniałoby bardzo duże ilości zarówno soli, jak i barytu, ciągle poszukiwane są nowe metody i środki umożliwiające upłynnienie płuczek zasolonych przed zabiegiem cementowania.

Metodyka doboru środków utleniających do płuczek o różnym stopniu zasolenia

Badania nad doбором utleniaczy (oksydantów) przeprowadzono w dwóch etapach. W pierwszej fazie badań określony został wpływ środków utleniających na właściwości reologiczne zawiesin koloidalnych polimerów stosowanych powszechnie w technologii płuczek wiertniczych. Do badań laboratoryjnych zastosowano osiem próbek

organicznych polimerów naturalnych, półsyntetycznych i syntetycznych, takich jak:

- środki celulozowe i skrobiowe o różnym stopniu modyfikacji,
- biopolimer,
- częściowo hydrolizowany poliakryloamid.

Tablica 1. Składy i właściwości reologiczne płuczek wiertniczych użytych podczas badań

Skład płuczki		Lepkość plastyczna PV	Lepkość pozorna AV	Granica płynięcia YP	Gęstość ρ	pH
		[mPa · s]		[lb/100 ft ²]	[kg/m ³]	
Płuczka 1						
Biocyd	0,1%	29 ± 1	41 ± 0,25	24 ± 1,5	1010	9,2
Odpieniacz	0,1%					
XCD	0,15%					
KMC	2,0%					
PHPA	0,3%					
+ NaCl	10%	28 ± 1	38,5 ± 0,25	21 ± 1,5	1070	9,2
+ blokator węglanowy	5%	28 ± 1	38,5 ± 0,25	21 ± 1,5	1110	9,2
+ baryt	130 g/l	31 ± 1	45 ± 0,25	28 ± 1,5	1190	8,9
Płuczka 2						
Biocyd	0,1%	29 ± 1	41 ± 0,25	24 ± 1,5	1010	9,2
Odpieniacz	0,1%					
XCD	0,15%					
KMC	2,0%					
PHPA	0,3%					
+ NaCl	26%	29 ± 1	40,5 ± 0,25	23 ± 1,5	1190	9,1
+ blokator węglanowy	5%	30 ± 1	42 ± 0,25	24 ± 1,5	1220	9,1
+ baryt	130 g/l	38 ± 1	53 ± 0,25	30 ± 1,5	1270	8,8
Płuczka 3						
HCOOK	650 g/l	13 ± 1	19 ± 0,25	12 ± 1,5	1250	10,1
Biocyd	0,1%					
Odpieniacz	0,1%					
XCD	0,2%					
Skrobia HPHT	0,5%					
PAC LV	0,3%					
+ blokator węglanowy	3,0%	13 ± 1	19,5 ± 0,25	13 ± 1,5	1265	10,1
+ zwierciny	5,0%	14 ± 1	21 ± 0,25	14 ± 1,5	1300	10,0
+ zwierciny	5,0%	16 ± 1	23 ± 0,25	14 ± 1,5	1325	9,6

Do sporządzonych zawiesin polimerowych dodawano środki chemiczne odznaczające się właściwościami utleniającymi. Pierwszy test przeprowadzano przy stężeniach środków utleniających równych 1,0% i 2,0%. Oceny działania danego utleniacza dokonywano po 24 godzinach na podstawie zmian parametrów reologicznych tych zawiesin (lepkość plastyczna, lepkość pozorna i granica płynięcia). Środki, które wykazały się najsilniejszym działaniem, poddane zostały ponownemu badaniu przy stężeniach 0,1%, 0,2% oraz 0,3%. Uzyskane wyniki pozwoliły wyselekcjonować cztery najlepiej działające utleniacze oraz umożliwiły dobór ich najbardziej optymalnych stężeń. Wybrane utleniacze to: nadmocznik, podchloryn wapnia, nadsiarcezan amonu i nadsiarcezan sodu.

W etapie drugim określony został wpływ wybranych utleniaczy na właściwości reologiczne płuczek zasolonych. Do badań laboratoryjnych zastosowano trzy płuczki, do sporządzenia których użyto różne rodzaje i stężenia soli (sól nieorganiczna – chlorek sodu oraz sól organiczna – mrówczan potasu) oraz różne zestawy polimerów strukturotwórczych. W płuczках zasolonych NaCl funkcję materiału ob-

ciążającego i fazy stałej spełniał baryt. Natomiast w płuczce sporządzonej na osnowie soli organicznej mrówczan potasu spełniał jednocześnie rolę środka obciążającego. Ponieważ płuczka mrówczanowa jest układem biopolimeru oraz koloidów ochronnych tworzących koloidalną zawiesinę polimerową obciążoną mrówczanem potasu, jako fazę stałą zastosowano CaCO₃ oraz rozdrobniony łupek mioceński imitujący zwierzciny. Składy i właściwości sporządzonych płuczek przedstawiono w tabelicy 1. Niepewność pomiarowa dla gęstości i pH wynosiła odpowiednio 1% i 0,1%.

Niepewność pomiaru gęstości oszacowano jako 5 kg/m³ na podstawie klasy dokładności wagi płuczkowej, oraz pH jako 0,05 na podstawie klasy dokładności użytego pH-metru.

Przeprowadzone badania laboratoryjne wykazały, że spośród wytypowanych oksydantów wysoką efektywnością działania w środowisku płuczek wiertniczych zasolonych NaCl charakteryzowały się podchloryn wapnia i nadmocznik (wodoronadtlenek mocznika), które powodowały znaczne obniżenie parametrów reologicznych. Z kolei płuczka zawierająca mrówczan potasu charakteryzowała

Tablica 2. Wpływ środków utleniających na parametry reologiczne badanych płuczek

Rodzaj utleniacza	Stężenie [%]	Czas [min]	Płuczka 1			Płuczka 2			Płuczka 3		
			PV	AV	YP	PV	AV	YP	PV	AV	YP
			[mPa·s]	[lb/100 ft ²]	[mPa·s]	[lb/100 ft ²]	[mPa·s]	[lb/100 ft ²]			
Nadsiarcezan amonu	1,0	0	31 ± 1	45 ± 0,25	28 ± 1,5	38 ± 1	53 ± 0,25	30 ± 1,5	16 ± 1	23 ± 0,25	14 ± 1,5
		30	31 ± 1	43,5 ± 0,25	25 ± 1,5	39 ± 1	53 ± 0,25	28 ± 1,5	16 ± 1	23 ± 0,25	14 ± 1,5
		120	30 ± 1	41,5 ± 0,25	23 ± 1,5	38 ± 1	52 ± 0,25	28 ± 1,5	16 ± 1	23 ± 0,25	14 ± 1,5
		1440	29 ± 1	39,5 ± 0,25	21 ± 1,5	35 ± 1	46,5 ± 0,25	23 ± 1,5	17 ± 1	23,5 ± 0,25	13 ± 1,5
Nadsiarcezan sodu	1,0	0	31 ± 1	45 ± 0,25	28 ± 1,5	38 ± 1	53 ± 0,25	30 ± 1,5	16 ± 1	23 ± 0,25	14 ± 1,5
		30	31 ± 1	43 ± 0,25	24 ± 1,5	38 ± 1	52,5 ± 0,25	29 ± 1,5	16 ± 1	23 ± 0,25	14 ± 1,5
		120	31 ± 1	42 ± 0,25	22 ± 1,5	37 ± 1	50,5 ± 0,25	27 ± 1,5	16 ± 1	23,5 ± 0,25	15 ± 1,5
		1440	29 ± 1	38,5 ± 0,25	19 ± 1,5	35 ± 1	47 ± 0,25	24 ± 1,5	16 ± 1	23,5 ± 0,25	15 ± 1,5
Podchloryn wapnia	1,0	0	31 ± 1	45 ± 0,25	28 ± 1,5	38 ± 1	53 ± 0,25	30 ± 1,5	16 ± 1	23 ± 0,25	14 ± 1,5
		30	14 ± 1	20 ± 0,25	12 ± 1,5	28 ± 1	38 ± 0,25	20 ± 1,5	16 ± 1	22,5 ± 0,25	13 ± 1,5
		120	10 ± 1	14 ± 0,25	8 ± 1,5	25 ± 1	35 ± 0,25	20 ± 1,5	16 ± 1	22,5 ± 0,25	13 ± 1,5
		1440	10 ± 1	13,5 ± 0,25	7 ± 1,5	21 ± 1	27 ± 0,25	12 ± 1,5	16 ± 1	21,5 ± 0,25	11 ± 1,5
Nadmocznik	1,0	0	31 ± 1	45 ± 0,25	28 ± 1,5	38 ± 1	53 ± 0,25	30 ± 1,5	16 ± 1	23 ± 0,25	14 ± 1,5
		30	15 ± 1	21 ± 0,25	12 ± 1,5	11 ± 1	14,5 ± 0,25	7 ± 1,5	16 ± 1	23,5 ± 0,25	15 ± 1,5
		120	7 ± 1	10 ± 0,25	6 ± 1,5	5 ± 1	7,5 ± 0,25	5 ± 1,5	17 ± 1	24 ± 0,25	14 ± 1,5
		1440	4 ± 1	4,5 ± 0,25	1 ± 1,5	4 ± 1	5 ± 0,25	2 ± 1,5	15 ± 1	22 ± 0,25	14 ± 1,5

PV – lepkość plastyczna, AV – lepkość pozorna, YP – granica płynięcia

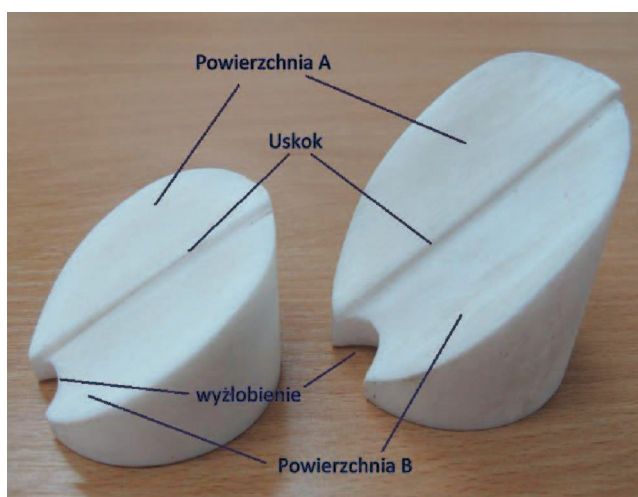
się dużą odpornością na działanie wyżej wymienionych środków utleniających. Jak wykazały badania, jedynie podchloryn wapnia w ilości 1,0% spowodował po czasie

24 godzin niewielkie obniżenie parametrów reologicznych płuczki mrówczanowej. Wyniki tych badań przedstawiono w tablicy 2.

Ocena działania wybranych środków utleniających na sedymentację fazy stałej w płuczkach zasolonych

Podstawowym etapem badań laboratoryjnych było określenie wpływu podchlorynu wapnia i nadmocznika na stopień sedymentacji fazy stałej w badanych płuczkach zasolonych. Do badań tych wykorzystano nowy, niestosowany w dotychczasowych badaniach INiG, sposób oznaczania ilości wytrąconej fazy stałej z płuczki wiertniczej w zależności od kąta nachylenia. W celu dokonania pomiaru ilości wysedymentowanej fazy stałej posłużono się opracowaną przez Mario Zamorę metodą pomiarową o nazwie *Viscometer Sag Shoe Test* – VSST [6]. Metoda ta jest prostym i wygodnym sposobem na przeprowadzenie pomiaru sedymentacji materiałów obciążających w cieczach wiertniczych. Pomiaru można dokonać zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i na wiertni. Do przeprowadzenia pomiaru metodą VSST potrzebna jest następująca aparatura:

- wiskozymetr obrotowy typu Fann,
- kubek z zamocowanym w środku butem (ang. *Shoe*),
- podgrzewacz utrzymujący zadaną temperaturę płuczki w trakcie badania,
- strzykawka do pobierania próbek płuczki,
- stoper i waga laboratoryjna o dokładności 0,01 g.



Rys. 1. Buty teflonowe wykorzystane do pomiaru sedymentacji fazy stałej

Buty o kątach nachylenia 30° oraz 45° zostały wykonane z materiału odpornego na działanie wysokiej temperatury (do około 100°C), wody, oleju i materiałów stosowanych w płuczkach wiertniczych. Kształt buta zaprojektowano w ten sposób, aby sedymentujący materiał obciążający zsuwał się na dno kubka. Górna część składa się z dwóch nachylonych, półkolistych powierzchni, oddzielonych od siebie uskokiem o wysokości 3 mm. W najniższej części buta zlokalizowane jest wyźłobienie, w którym gromadzi się wysedymentowany materiał obciążający. Wykonanie dwóch różnych butów umożliwiło zasymulowanie warunków panujących w otworach o różnym kącie nachylenia.

Kubek, w którym mocowany jest but, wykonany został z przezroczystego pleksiglasu, dzięki czemu łatwo można zaobserwować warstwę gromadzącą się fazy stałej.

Wartość sedymentacji S oblicza się według wzoru (1):

$$S = \frac{m_2 - m_1}{10} \text{ [g/c}^3\text{]} \quad (1)$$

gdzie:

m_1 – masa 10 ml płuczki wyjściowej [g],

m_2 – masa 10 ml płuczki pobranej z wyźłobienia w butcie po 30 minutach [g].

Pomiaru sedymentacji fazy stałej dokonano z użyciem dwóch butów, pierwszy był nachylony pod kątem 30°, drugi pod kątem 45°. Zbadano też wpływ temperatury na wielkość sedymentacji, dlatego pomiary przeprowadzono w dwóch temperaturach: 20 oraz 40°C. Sporządzone płuczki zasolone były poddane pomiarom przed obróbką środkami utleniającymi, a następnie po zastosowaniu podchlorynu wapnia oraz nadmocznika w stężeniach 1,0%. Utleniacze były dodawane do płuczek na 30 minut przed rozpoczęciem testu. Czas trwania testu również wynosił 30 minut. Pomiaru sedymentacji fazy stałej w płuczce mrówczanowej dokonano jedynie po dodaniu podchlorynu wapnia, ponieważ tylko ten środek ze wszystkich sprawdzonych spowodował zauważalną zmianę parametrów reologicznych tej płuczki.

Pomiar sedymentacji fazy stałej w płuczce solnej zawierającej 10% chlorku sodu (płuczka 1)

Wyniki pomiaru sedymentacji płuczki nr 1 przedstawiono w tablicach 3 i 4. Uzyskane rezultaty wyraźnie

wykazały, że wielkość sedymentacji fazy stałej w płuczce wzrosła po obróbce oksydantami. Tendencja ta widoczna

była zarówno w temperaturze 20 i 40°C, przy zastosowaniu obu rodzajów butów. W przypadku buta nachylonego pod kątem 30° (tablica 3) sedymentacja w płuczce nieobrobionej utleniaczami wynosiła 0,051 g/cm³ oraz 0,137 g/cm³, odpowiednio dla temperatur 20 i 40°C. Po zastosowaniu podchlorynu wapnia wielkość sedymentacji wzrosła do 0,078 g/cm³ w temperaturze 20°C oraz 0,253 g/cm³ w temperaturze 40°C. W przypadku obrobienia płuczki za pomocą nadmocznika wartości te wzrosły do 0,058 g/cm³ w temperaturze 20°C oraz do 0,667 g/cm³ w temperaturze 40°C.

Pomiar przy zastosowaniu buta o kącie nachylenia równym 45° (tablica 4) wykazał sedymentację w płuczce nieobrobionej równą 0,075 g/cm³ oraz 0,148 g/cm³, odpowiednio w temperaturze 20 oraz 40°C. Obróbka płuczki za pomocą podchlorynu wapnia sprawiła, że wielkość sedymentacji wzrosła do 0,22 g/cm³ w przypadku płuczki o temperaturze 20°C oraz do 0,283 g/cm³ przy temperaturze płuczki równej 40°C. Z kolei po zastosowaniu nadmocznika wartości sedymentacji wyniosły odpowiednio 0,13 g/cm³ oraz 0,767 g/cm³.

Tablica 3. Sedymentacja fazy stałej w płuczce nr 1 dla kąta nachylenia buta równego 30°

Środek utleniający	Temperatura	m_1	m_2	$(m_2 - m_1)/10$
	[°C]	[g]	[g]	[g/cm ³]
Płuczka nieobrobiona utleniaczem	20	19,39	19,90	0,051 ± 0,002
	40	19,39	20,76	0,137 ± 0,002
Podchloryn wapnia (1,0%)	20	19,39	20,17	0,078 ± 0,002
	40	19,39	21,92	0,253 ± 0,002
Nadmocznik (1,0%)	20	19,39	19,97	0,058 ± 0,002
	40	19,39	26,06	0,667 ± 0,002

Tablica 4. Sedymentacja fazy stałej w płuczce nr 1 dla kąta nachylenia buta równego 45°

Środek utleniający	Temperatura	m_1	m_2	$(m_2 - m_1)/10$
	[°C]	[g]	[g]	[g/cm ³]
Płuczka nieobrobiona utleniaczem	20	19,39	20,14	0,075 ± 0,002
	40	19,39	20,87	0,148 ± 0,002
Podchloryn wapnia (1,0%)	20	19,39	21,59	0,22 ± 0,002
	40	19,39	22,22	0,283 ± 0,002
Nadmocznik (1,0%)	20	19,39	2,69	0,13 ± 0,002
	40	19,39	27,06	0,767 ± 0,002

Pomiar sedymentacji fazy stałej w płuczce o pełnym zasoleniu chlorkiem sodu (płuczka 2)

Wyniki pomiaru sedymentacji płuczki nr 2 przedstawiono w tablicach 5 i 6. Pomiary wykonane z użyciem buta o kącie nachylenia 30° wykazały, że płuczka nie-

obrobiona charakteryzuje się sedymentacją o wielkości 0,046 g/cm³ w temperaturze 20°C oraz 0,071 g/cm³ w temperaturze 40°C. Po zastosowaniu 1,0% podchlorynu

Tablica 5. Sedymentacja fazy stałej w płuczce nr 2 dla kąta nachylenia buta równego 30°

Środek utleniający	Temperatura	m_1	m_2	$(m_2 - m_1)/10$
	[°C]	[g]	[g]	[g/cm ³]
Płuczka nieobrobiona utleniaczem	20	20,34	20,80	0,046 ± 0,002
	40	20,34	21,05	0,071 ± 0,002
Podchloryn wapnia (1,0%)	20	20,34	20,92	0,058 ± 0,002
	40	20,34	21,90	0,156 ± 0,002
Nadmocznik (1,0%)	20	20,34	21,11	0,077 ± 0,002
	40	20,34	26,66	0,588 ± 0,002

Tablica 6. Sedymentacja fazy stałej w płuczce nr 2 dla kąta nachylenia buta równego 45°

Środek utleniający	Temperatura	m_1	m_2	$(m_2 - m_1)/10$
	[°C]	[g]	[g]	[g/cm ³]
Płuczka nieobrobiona utleniaczem	20	20,34	20,89	0,055 ± 0,002
	40	20,34	21,99	0,165 ± 0,002
Podchloryn wapnia (1,0%)	20	20,34	21,56	0,122 ± 0,002
	40	20,34	22,64	0,23 ± 0,002
Nadmocznik (1,0%)	20	20,34	21,67	0,133 ± 0,002
	40	20,34	27,75	0,741 ± 0,002

wapnia otrzymano wyniki: 0,058 oraz 0,156 g/cm³. Po obróbce tej płuczki podchlorynem wapnia oznaczono nieco niższe wartości sedymentacji (0,02 g/cm³ – 20°C oraz 0,097 g/cm³ – 40°C) niż dla płuczki nr 1. Obróbka płuczki nr 2 nadmocznikiem spowodowała wzrost sedymentacji do poziomu 0,077 g/cm³ w temperaturze 20°C oraz 0,588 g/cm³ w temperaturze 40°C.

Po przeprowadzeniu pomiarów z zastosowaniem buta

o nachyleniu równym 45° otrzymano następujące rezultaty: dla płuczki nieobrobionej sedymentacja wynosiła 0,055 g/cm³ w temperaturze 20°C oraz 0,165 g/cm³ w temperaturze 40°C. Zastosowanie podchlorynu wapnia spowodowało wzrost sedymentacji do wartości odpowiednio 0,122 g/cm³ i 0,23 g/cm³. Natomiast po obróbce nadmocznikiem wielkość sedymentacji wyniosła 0,133 g/cm³ w temperaturze 20°C oraz 0,741 w temperaturze 40°C.

Pomiar sedymentacji fazy stałej w płuczce mrówczanowej (płuczka 3)

Wyniki pomiaru sedymentacji fazy stałej w płuczce nr 3 przedstawiono w tablicach 7 i 8. Płuczka na osnowie solanki mrówczanowej charakteryzowała się bardzo niewielką sedymentacją – zarówno przed obróbką, jak i po obróbce utleniaczem. Na uzyskane wartości S miała wpływ jej unikatowa charakterystyka reologiczna, która tylko w niewielkim stopniu była podatna na działanie zastosowanego utleniacza i temperatury. W związku z tym, bez względu na kąt nachylenia otworu, właściwości re-

ologiczno-strukturalne tej płuczki zapobiegają sedymentacji fazy stałej. Wpływ na ilość wysedymentowanej fazy stałej miała również jej zawartość w badanej płuczce. Należy zaznaczyć, że dodatek blokatora węglanowego w płuczkach mrówczanowych pełni przede wszystkim rolę składnika ograniczającego filtrację fazy ciekłej do strefy przyodwiertowej.

Niepewność pomiaru wielkości m_1 oraz m_2 zamieszczonych w tablicach 3–8 wynosiła 0,05%.

Tablica 7. Sedymentacja fazy stałej w płuczce nr 3 dla kąta nachylenia buta równego 30°

Środek utleniający	Temperatura	m_1	m_2	$(m_2 - m_1)/10$
	[°C]	[g]	[g]	[g/cm ³]
Płuczka nieobrobiona utleniaczem	20	20,88	20,89	0,001 ± 0,002
	40	20,88	20,97	0,009 ± 0,002
Podchloryn wapnia (1,0%)	20	20,88	20,90	0,002 ± 0,002
	40	20,88	21,05	0,017 ± 0,002

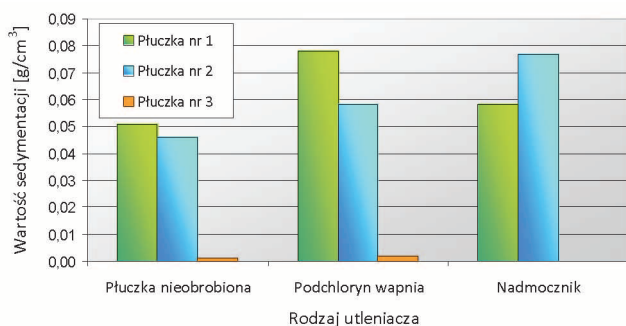
Tablica 8. Sedymentacja fazy stałej w płuczce nr 3 dla kąta nachylenia buta równego 45°

Środek utleniający	Temperatura	m_1	m_2	$(m_2 - m_1)/10$
	[°C]	[g]	[g]	[g/cm ³]
Płuczka nieobrobiona utleniaczem	20	20,88	20,90	0,002 ± 0,002
	40	20,88	21,05	0,017 ± 0,002
Podchloryn wapnia (1,0%)	20	20,88	20,95	0,007 ± 0,002
	40	20,88	21,09	0,021 ± 0,002

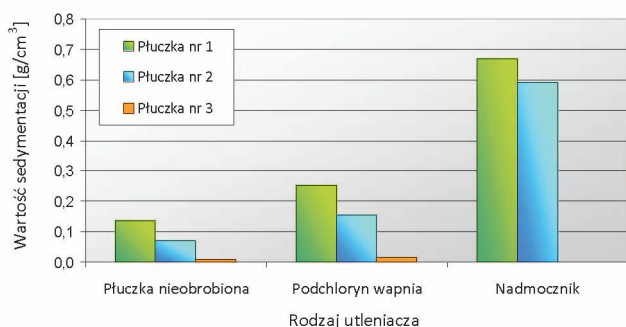
Analiza wyników pomiaru sedymentacji fazy stałej w płuczkach zasolonych

Na rysunkach 2–5 przedstawiono zebrane wyniki pomiarów wielkości sedymentacji fazy stałej w zastosowanych do badań płuczkach zasolonych.

Przy kącie nachylenia 30° i temperaturze 20°C wszystkie nieobrobione płuczki wykazały najmniejszą sedymentację fazy stałej. W płuczce nr 1 największą wartość sedymentacji oznaczono po obróbce podchlorynem wapnia. W przypadku płuczki nr 2, w której stężenie chlorku sodu było większe niż w płuczce nr 1, wartość *S* była najwyższa po zastosowaniu nadmocznika. W płuczce nr 3 wielkość sedymentacji była minimalna, zarówno w przypadku płuczki nieobrobionej utleniaczem, jak i po dodaniu podchlorynu wapnia.



Rys. 2. Wielkość sedymentacji fazy stałej zmierzona przy użyciu buta nachylonego pod kątem 30° w temperaturze płuczki 20°C

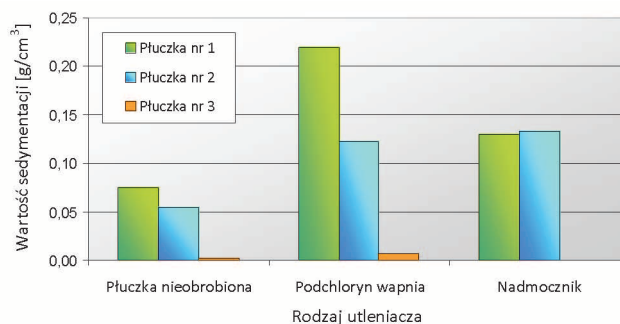


Rys. 3. Wielkość sedymentacji fazy stałej zmierzona przy użyciu buta nachylonego pod kątem 30° w temperaturze płuczki 40°C

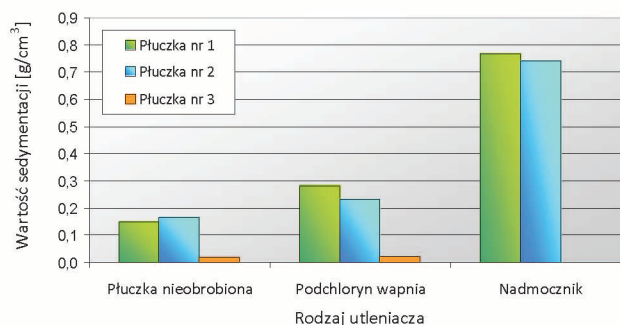
Na rysunku 3 przedstawiono wyniki testu przeprowadzonego z użyciem buta nachylonego pod kątem 30°, przy temperaturze 40°C. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że:

- we wszystkich płuczkach wielkość sedymentacji fazy stałej była większa niż w temperaturze 20°C, a najmniej fazy stałej ulegało wytrąceniu w płuczkach nieobrobio-

nych utleniaczem. Z kolei najwięcej materiału sedymentowało w płuczkach z dodatkiem 1,0% nadmocznika, dodanie nadmocznika do płuczek zasolonych NaCl spowodowało wytrącenie większej ilości fazy stałej niż po dodaniu podchlorynu wapnia.



Rys. 4. Wielkość sedymentacji fazy stałej zmierzona przy użyciu buta nachylonego pod kątem 45° w temperaturze płuczki 20°C



Rys. 4. Wielkość sedymentacji fazy stałej zmierzona przy użyciu buta nachylonego pod kątem 45° w temperaturze płuczki 40°C

Na rysunku 4 przedstawiono wyniki pomiaru sedymentacji fazy stałej przeprowadzonego w temperaturze 20°C, z użyciem buta o kącie nachylenia 45°. Porównując wyniki uzyskane przy użyciu buta o kącie nachylenia 30°, należy stwierdzić, że stopień nachylenia buta ma duży wpływ na ilość wysedymentowanego materiału. Potwierdza to tezę, że kąt nachylenia równy 45° jest najbardziej krytyczny ze względu na ilość opadającej fazy stałej.

Na rysunku 5 przedstawiono zmierzoną wielkość sedymentacji fazy stałej przy użyciu buta nachylonego pod kątem 45°, przy temperaturze 40°C. Wyniki wszystkich pomiarów są w tym przypadku najwyższe: zarówno płuczek nieobrobionych, jak i płuczek z dodatkiem utleniaczy. Najwyższą sedymentacją fazy stałej odznaczyła się płuczka nr 1 z dodatkiem nadmocznika. Nieco niższy wynik zanotowano

w pomiarze sedymentacji płuczki nr 2. Analizując wyniki pomiarów można wnioskować, że sedymentacja fazy stałej w płuczkach nr 1 i nr 2, w temperaturze 20°C, jest porównywalna zarówno po obróbce podchlorynem wapnia, jak

i nadmocznikiem. Po ogrzaniu płuczek do temperatury 40°C zdecydowanie wzrasta wielkość sedymentacji w płuczce obrobionej nadmocznikiem i jest ona ponad dwukrotnie wyższa niż w płuczce obrobionej podchlorynem wapnia.

Podsumowanie

Dokładne wyparcie płuczki wiertniczej przez ciecz przemywającą lub bufor jest tym łatwiejsze, im jej lepkość i wytrzymałość są niższe. Stopień upłynnienia jest jednak ograniczony przez dopuszczalną wartość sedymentacji fazy stałej. W otworach pionowych sedymentację ogranicza się głównie z powodu osiadania fazy stałej w zbiornikach płuczkowych, przy czym tendencja do gromadzenia się osadu zależy w dużej mierze od skuteczności pracy mieszadeł. W przypadku otworów nachylonych, droga, jaką musi przebyć faza stała, aby osadzić się na dolnej ścianie otworu, jest niewielka, stąd też dopuszczalna wartość sedymentacji powinna być niższa niż w przypadku otworów pionowych.

Wymagana zdolność zawieszania fazy stałej przez płuczkę wiertniczą jest różna w zależności od rodzaju prac prowadzonych aktualnie w otworze. Podczas wiercenia skuteczność wynoszenia zwiercin powinna być wystarczająca, aby koncentracja objętościowa zwiercin nie przekraczała 4%. Duża koncentracja zwiercin powoduje wzrost gęstości płuczki i – tym samym – zwiększenie ciśnienia hydrostatycznego oddziałującego na ścianę otworu. Podczas przerwy w wierceniu płuczka powinna mieć na tyle wysokie parametry reologiczne, aby faza stała w niej zawarta pozostawała w zawieszeniu, szczególnie w odcinkach poziomych i nachylonych otworu.

W trakcie zapuszczania rur okładzinowych do otworu zaleca się, aby lepkość plastyczna płuczki wynosiła przynajmniej 30 mPa·s, natomiast wytrzymałość strukturalna – co najmniej 5 Pa. Wartości te przedstawia w swojej pracy T. Smith [3].

Po zapuszczeniu rur okładzinowych płuczka podlega procesowi upłynnienia, jednak nadal powinna mieć ona zdolność do zawieszania materiału obciążającego, aby przeciwdziałać jego osadaniu na dolnej ścianie otworu, w części nachylonej i poziomej. W czasie wypierania płuczki przez ciecz przemywającą zdolność do zawieszania fazy stałej może być znacznie zredukowana. Warunkiem jest zapewnienie nieprzerwanej cyrkulacji, aż do całkowitego usunięcia płuczki z otworu. W tym przypadku głównym czynnikiem mającym wpływ na wielkość sedymentacji jest prędkość przepływu płuczki w przestrzeni pierścieniowej otworu, która powinna przewyższać prędkość opadania fazy stałej [2].

Literatura nie podaje zakresu wartości sedymentacji, która nie powinna zostać przekroczona. W rzeczywistości dopuszczalna wartość sedymentacji zależy od wielu czynników, indywidualnych dla każdego otworu, tj.: jego długości, kąta odchylenia od pionu, prędkości przepływu oraz gęstości płuczki.

Celem badań laboratoryjnych był dobór odpowiednich środków utleniających oraz ustalenie ich wpływu na parametry reologiczne i wielkość sedymentacji fazy stałej w badanych płuczkach. W pierwszym etapie pracy sprawdzono wpływ działania siedmiu utleniaczy na parametry reologiczne zawiesin koloidalnych ośmiu różnych polimerów organicznych. Największą efektywnością obniżania parametrów reologicznych tych zawiesin odznaczyły się: podchloryn wapnia, nadmocznik, nadsiarczan amonu oraz nadsiarczan sodu. Środki te zostały wytypowane do przeprowadzenia badań w kolejnym etapie realizacji pracy. Etap ten dotyczył badań oddziaływania wybranych utleniaczy na płuczki polimerowe o różnym stopniu zasolenia. Przeprowadzone badania pozwoliły sformułować następujące wnioski:

- Do obróbki płuczek zasolonych NaCl najbardziej efektywnym środkiem był nadmocznik, który niezależnie od stężenia chlorku sodu w płuczce wykazywał największą zdolność utleniającą. Mniejszą skutecznością odznaczał się podchloryn wapnia, którego działanie było zależne od zawartości chlorku sodu w płuczce.
- Płuczka sporządzona na podstawie solanki mrówczanu potasu była odporna na działanie utleniaczy. Z czterech użytych do badań środków jedynie podchloryn wapnia w stężeniu 1,0% powodował po czasie 24 godzin niewielkie obniżenie parametrów reologicznych płuczki mrówczanowej.

W kolejnej fazie realizacji badań określono wpływ utleniaczy na wielkość sedymentacji fazy stałej płuczek zasolonych. Do badań wybrano podchloryn wapnia oraz nadmocznik – jako środki o najwyższej skuteczności działania na płuczki solne użyte we wcześniejszym etapie. Pomiaru sedymentacji dokonano z użyciem metody nazywanej *Viscometer Sag Shoe Test*, która wykorzystuje viskozometr obrotowy typu Fann. Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły wysunąć następujące wnioski:

- Sedymentacja fazy stałej w płuczkach zasolonych NaCl zależała przede wszystkim od kąta nachylenia oraz temperatury płuczki. Wraz ze wzrostem kąta nachylenia buta (zastosowanego w pomiarze) oraz temperatury wzrastała wielkość sedymentacji. W temp. 40°C sedymentacja fazy stałej była znacznie wyższa niż w temp. 20°C.
- W temperaturze płuczki 20°C wpływ działania nadmocznika i podchlorynu wapnia na wielkość sedymentacji był porównywalny. W temp. 40°C sedymentacja fazy stałej była znacznie większa w płuczkach obrobionych nadmocznikiem niż w płuczkach obrobionych z użyciem podchlorynu wapnia.

Literatura

- [1] Nowotarski I. i in.: *Dostosowanie reologii płuczki polimerowej do zabiegów cementowania w otworach na Niżu Polskim*. Praca niepublikowana. Kraków 2009.
- [2] Nowotarski I.: *Obróbka płuczki przed cementowaniem rur w otworze*. Prace INiG nr 130. Kraków 2004, s. 397–402.
- [3] Smith T.: *Cementing Displacement Practices; Application in the Field*. SPE 18617, maj 1990.
- [4] Uliasz M.: *Płuczki wiertnicze w technologii wiercenia otworów kierunkowych i poziomych*. Prace INiG nr 152. Kraków 2008.
- [5] Zaczyński M.: *Badania nad zastosowaniem sedymentacji wielostrumieniowej w procesie oczyszczania zawieszin komunalnych*. Rozprawa doktorska, AGH. Kraków 2010.
- [6] Zamora M., Bell R.: *Improved wellsite test for monitoring barite sag*. AADE-04-DF-HO-19, 2004.



Mgr inż. Bartłomiej JASIŃSKI – absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej oraz Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Od 2011 r. pracownik Zakładu Technologii Wiercenia Instytutu Nafty i Gazu Oddział Krosno. Zajmuje się tematyką związaną z technologią płuczek wiertniczych.

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 cieczy wiertniczych na przewiercane skały;
- dobór płuczek wiertniczych, zaczynów cementowych i 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, sedymentacji materiału obciążającego, efektywności wynoszenia zwiercin w otworach kierunkowych i poziomych oraz wypłukiwania osadów ilowych ze skał przed zabiegiem cementowania, odporności na migrację gazu w wiążącym zaczynie cementowym w warunkach otworopodobnych, odporności korozyjnej kamienia cementowego w różnym środowisku złożowym, porowatości 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

Telefon: 13 436-89-41 w. 219

Adres: ul. Armii Krajowej 3, 38-400 Krosno

Faks: 13 436-79-71

E-mail: malgorzata.uliasz@inig.pl