

Sławomir Błaż

*Instytut Nafty i Gazu, Oddział Krosno*

## Dobór środków chemicznych do degradacji polimerów i koloidów ochronnych w płuczkach wiertniczych

W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych nad doborem środków chemicznych do degradacji polimerów i koloidów ochronnych w płuczkach wiertniczych, określenia optymalnych ich stężeń oraz wpływu tych środków na parametry płuczek wiertniczych i na właściwości osadów filtracyjnych. W wyniku przeprowadzonych badań wybrano trzy środki utleniające, które można stosować do upłynniania płuczek wiertniczych i dekompozycji osadów filtracyjnych.

### Selection of chemicals for degrading polymers and protective colloids in drilling muds

This publication presents laboratory test results, which were conducted with the purpose to select chemical reagents that will degrade polymers and protective colloids in drilling muds, to define optimum oxidizer concentration and their effect on drilling mud parameters as well as filtration cake parameters. As a result of laboratory study, we have selected three oxidizers that may be used for viscosity reduction in drilling muds, and filtration cake removal.

## Wprowadzenie

Przygotowanie płuczki przed zabiegiem cementowania polega na jej oczyszczeniu i maksymalnym upłynnieniu. Upłynnienie płuczki ułatwia jej usuwanie przez ciecz przemywającą, płynącą przed zaczynem, a ponadto pozwala na zastosowanie zaczynu o obniżonej lepkości, który lepiej wypełnia otwór i daje niższe opory płynięcia, co pozwala na zwiększenie wydatku w końcowej fazie tłoczenia.

Upłynnianie płuczki osiąga się przez usunięcie fazy stałej, dodawanie wody lub obróbkę chemiczną. Do obniżania parametrów reologicznych stosowane są środki rozrzedzające, dyspergatory i upłynniacze. Istotą procesu upłynniania płuczki jest zapobieganie łączeniu się cząstek fazy stałej w większe agregaty, przez adsorpcję środków rozrzedzających na ich powierzchni. Substancje te wysycają wartościowości rozerwanych wiązań na powierzchni cząstek ilastych, uniemożliwiając ich wzajemne przyciąganie.

Większość z wymienionych sposobów upłynnienia płuczek wiertniczych powoduje zmiany parametrów reologicznych, nie wpływając przy tym znacząco na zmiany właściwości osadu płuczki. Wytrzymałość osadowi płuczki nadają głównie koloidy ochronne i minerały ilaste. Zarówno koloidy ochronne,

jak i minerały ilaste powinny występować w osadzie w na tyle małej koncentracji, aby nie nadawać mu nadmiernej wytrzymałości i przyczepności do skał otworu wiertniczego. Przeciwdziałając temu zjawisku można poprzez pozbycie się koloidalnej fazy ilastej z płuczki lub poprzez modyfikowanie składu płuczki wiertniczej (głównie poprzez rozcieńczanie). Rozcieńczanie wykonuje się dodając do płuczki partię o tej samej gęstości, ale z obniżoną zawartością koloidów ochronnych.

Innym sposobem upłynnienia płuczki i osłabienia osadu filtracyjnego jest przeprowadzenie chemicznej degradacji polimerów, nadających płuczce lepkość i wytrzymałość strukturalną, np. poprzez reakcje utleniania. Zastosowanie w płuczkach wiertniczych oksydantów powoduje nie tylko upłynnienie płuczki, lecz także wpływa na zmniejszenie wytrzymałości osadu płuczki, powodując jego częściowe rozkonsolidowanie, na frakcje łatwe do usunięcia w procesie płukania.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych nad możliwością zastosowania środków chemicznych do degradacji polimerów w bezilo- wych płuczkach wiertniczych oraz o ich wpływie na strukturę i właściwości osadów płuczki.

## Metodyka badań

Właściwości utleniające związków chemicznych sprawdzano na wodnych roztworach polimerów. Zśród dużej gamy środków stosowanych w technologii płuczkowej do regulowania parametrów reologicznych, do badań wybrano cztery środki, które są powszechnie stosowane. Są to:

- żywica ksantanowa (XCD),
- karboksymetyloceluloza (CMC LV),
- skrobia kleikowana,
- częściowo hydrolizowany poliakryloamid.

Z wymienionych środków sporządzano wodne roztwory polimerów, określano ich właściwości reologiczne, a następnie w różnych stężeniach zadawano do nich środki chemiczne o działaniu utleniającym. Końcowy efekt działania środka degradującego mierzono po upływie 24 godz. i oceniano go na podstawie zmian parametrów reologicznych i wartości pH. W czasie trwania testu 24-godzinnego sprawdzano również ich aktywność działania w krótszych, określonych interwałach czasowych, tj. po 1, 3 i 24 godz. Aktywność środków utleniających w roztworach wodnych polimerów badano w różnych warunkach temperaturowych i wartości pH.

W oparciu o przeprowadzone badania ustalono rodzaj i optymalne stężenia oksydantów do rozkładu danego rodzaju polimeru oraz optymalne warunki, przy których efekt degradacji zachodził w największym stopniu.

W drugim etapie badań sporządzono cztery rodzaje beziłowych płuczek wiertniczych, zawierających w swoim składzie różne kombinacje naturalnych polimerów strukturotwórczych, koloidów ochronnych oraz polimerów syntetycznych, zasolonych 3% lub 5% KCl i dociążonych do żądanych gęstości węglanem wapnia lub węglanem wapnia i barytem. Składy płuczek przedstawiono w tabelicy 1. Jako materiał imitujący zwierciny wprowadzano do płuczek zmielony il mioceniński, a w przypadku płuczki solno-polimerowej dodatkowo skażano ją jonami wapnia i magnezu. Składy i właściwości płuczek ustalano w taki sposób, aby można było sprawdzić skuteczność działania oksydantów na różne rodzaje polimerów, w środowisku płuczek wiertniczych zawierających fazę stałą i skażenia chemiczne.

Skuteczność działania oksydantów w środowisku płuczek wiertniczych oceniono w taki sam sposób jak badania na roztworach koloidalnych. Określono

optymalne stężenie środków utleniających w temp. pokojowej, czas po którym następuje proces obniżania parametrów reologicznych oraz wpływ temperatury na proces rozkładu polimeru. Płuczki badano w temperaturze 20, 40 i 60°C za pomocą wiskozymetru Fann 35 S.A po czasie 1, 3 i 24 godz.

Kolejne próby doboru oksydantów do płuczek wiertniczych prowadzono w oparciu o skuteczność usuwania wytworzonych osadów filtracyjnych z płuczek wiertniczych. Osady filtracyjne z płuczek wiertniczych tworzone na rdzeniach ceglanych. Przygotowane rdzenie umieszczano w standardowej prasie filtracyjnej, jako zamiennik bibuły filtracyjnej i pod ciśnieniem 7 atm przez okres 30 min tworzone osady płuczkowy. Tak wytworzony osad przemywano wodą, a następnie umieszczano w aparacie do erodowania i zalewano wodą tak, aby górna powierzchnia wody była ok. 3,5 cm powyżej górnej powierzchni wirnika. Proces erodowania prowadzono przy ok. 1000 obr./min. Próbkę okresowo wyciągano i sprawdzano stopień wypłukania osadu. Na podstawie prowadzonych badań określano czas potrzebny do usunięcia osadu płuczkowego z rdzenia.

Przeprowadzono również badania wpływu dodatku oksydantów na właściwości i strukturę osadu płuczkowego. Określano grubość wytworzonego osadu, jego strukturę, zawartość wody w osadzie oraz jego gęstość. Uwodnienie osadu badano metodą wagową, a gęstość osadu metodą piknometryczną.

W badaniach laboratoryjnych zastosowano następujące środki chemiczne o działaniu utleniającym:

- podchloryn wapnia, ok. 35% czynnego chloru,  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ,
- API – środek chemiczny do łamania struktury guaru,
- nadmocznik (wodoronadtlenek mocznika) – środek chemiczny o działaniu utleniającym.

Badania skuteczności działania oksydantów w środowisku beziłowych płuczek wiertniczych prowadzono w oparciu o badania wstępne rozkładu koloidów ochronnych. Badania prowadzono na czterech rodzajach płuczek wiertniczych, różniących się między sobą gęstością oraz zestawem koloidów ochronnych i polimerów użytych do ich sporządzenia. Efekt działania środków utleniających oceniano na podstawie zmian parametrów reologicznych, objętości filtratu oraz właściwości osadu filtracyjnego.

Tablica 1. Składy płuczek wiertniczych

Skład płuczek [%]							
Płuczka nr 1		Płuczka nr 2		Płuczka nr 3		Płuczka nr 4	
Biocyd	0,1	Biocyd	0,1	Biocyd	0,1	Biocyd	0,1
XCD	0,05	XCD	0,2	XCD	0,2	NaCl	31
CMC HV	0,9	Skrobia	3,0	CMC LV	2,0	XCD	0,2
Skrobia	1,5	Inhibitor jonowy	3	Inhibitor jonowy	5	CMC LV	2,0
Inhibitor jonowy	5	Blokator	10	PHPA	0,2	Blokator	5
PHPA	0,1	Zwierciny (miocen)	5,0	Blokator M25	5	Baryt do 1,5 g/cm <sup>3</sup>	
Blokator	5,0			Baryt do 1,3 g/cm <sup>3</sup>		CaCl <sub>2</sub>	1,0
Baryt do 1,2 g/cm <sup>3</sup>				Zwierciny (miocen)	5,0	MgCl <sub>2</sub>	0,5
Zwierciny (miocen)	5,0						

### Wpływ oksydantów na płuczki oraz na właściwości osadów filtracyjnych

Płuczka nr 1 na osnowie biopolimeru i koloidów ochronnych typu celulozowego i skrobiowego, dociążona barytem do gęstości 1200 kg/m<sup>3</sup>, charakteryzuje się dobrymi parametrami reologicznymi, lepkością plastyczną 28 mPas oraz granicą płynięcia 23 lb/100 ft<sup>2</sup>. Osad filtracyjny, wytworzony na rdzeniach za pomocą prasy filtracyjnej pod ciśnieniem 7 atm., jest dość cienki (ok. 0,8 mm), zwięzły i mało przepuszczalny (filtracja API 2,0 cm<sup>3</sup>), o uwodnieniu 46,28% wag. i o gęstości ok. 2361 kg/m<sup>3</sup> (tablica 3, fot. 1 i 2). Zawartość osadu filtracyjnego to w większości materiał obciążający, baryt i blokator oraz ił mioceni – imitujący zwierconą fazę stałą. Do usunięcia tego osadu za pomocą erodowania wirowego wodą (1000 obr./min.) potrzeba ok. 17 min.

Wpływ działania oksydantów na parametry reologiczne płuczki nr 1 w temperaturze 20°C przedstawiono w tablicy 2. Po dodaniu podchlorynu wapnia w ilości 0,5% obj. można zauważyć zdecydowany spadek parametrów reologicznych płuczki. Lepkość plastyczna ulega obniżeniu do 15 mPas, a granica płynięcia do 8 lb/100 ft<sup>2</sup>. Filtracja płuczki ulega zwiększeniu do 3,4 cm<sup>3</sup>, a pH spada do ok. 8,0. Przebieg reakcji utleniania w temperaturze 40°C (rysunek 1) zaznacza się większym spadkiem lepkości płuczki oraz wpływa na przyspieszenie procesu rozkładu zawartych w niej polimerów. Jest on o ok. 25% bardziej efektywny niż w temp. 20°C. Szybkość przebiegu reakcji w zależności od czasu jest zdecydowanie mniej zależna niż od temperatury. Największy spadek lepkości płuczki następuje po upływie ok. 1 godz., a dalsze oddziaływanie podchlorynu wapnia nie wpływa znacząco na dalszy spadek parametrów reologicznych (rysunek 2). Struktura i właściwości osadu filtracyjnego płuczki z dodatkiem podchlorynu wapnia również ulegają zmianom. Osad charakteryzuje

się większą gęstością i znacznie mniejszym uwodnieniem (26,68% wag.) w stosunku do osadu z płuczki nr 1 (czystej) i jest mniej zwięzły, a przez to łatwiej usuwalny. Czas potrzebny na wymycie osadu przy erodowaniu wirowym wodą wynosi ok. 4 min (tablica 3, fot. 5 i 6). Na podstawie przeprowadzonych badań, do rozkładu polimerów zawartych w płuczce nr 1 zaleca się stosować podchloryn wapnia w ilości 0,5% obj. Czas oddziaływania oksydanta: od 1 do 3 godz. Zalecana temperatura przebiegu reakcji: 40°C.

Proces rozkładu płuczki za pomocą środka API jest bardziej zależny od temperatury i czasu jego oddziaływania. Do skutecznego przebiegu procesu utleniania za pomocą tego rodzaju środka należy wydłużyć czas jego oddziaływania do 24 godz. w temp. pokojowej (tablica 2), lub w przypadku wyższej temperatury środowiska reakcji, tj. ok. 60°C (rysunek 3) – do 3 godz. Działanie temperatury w tym przypadku jest czynnikiem katalizującym przebieg reakcji. Osad płuczkowy po oddziaływaniu oksydanta API zwiększa gęstość do ok. 2689 kg/m<sup>3</sup>, zmniejsza uwodnienie do 25,52% wag. i skraca czas potrzebny do usunięcia osadu z rdzenia do 3 min (tablica 3, fot. 3 i 4).

Najbardziej efektywnym środkiem do rozkładu polimerów zawartych w płuczce nr 1 w temp. 20°C okazał się nadmocznik, który przy dodatku 10 g/dm<sup>3</sup> spowodował trzykrotny spadek parametrów reologicznych płuczki. Wzrost temperatury i czasu oddziaływania (rysunki 5 i 6) również wpływa na zwiększenie efektywności działania oksydanta w środowisku płuczki. Osad filtracyjny po oddziaływaniu nadmocznika na płuczke nr 1 nie różni się zasadniczo od pozostałych osadów (tablica 3, fot. 7 i 8), jest cienki (0,5 mm), zawiera znacznie mniej wody (o ok. 24,93%) w stosunku do osadu z płuczki wyjściowej oraz można go usunąć

**Tablica 2.** Właściwości reologiczne beziłowych płuczek wiertniczych z dodatkiem środków utleniających

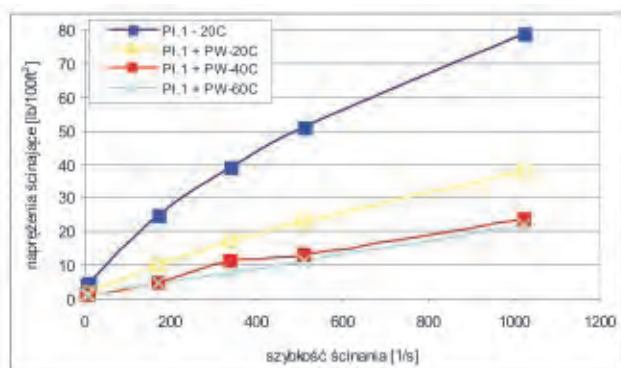
Lp.	Płuczka [%]	Odczyty wisk. Fann [lb/100 ft <sup>2</sup> ]						PV	AV	YP	Filtracja	pH	
		600	300	200	100	6	3	[mPas]	[lb/100 ft <sup>2</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]			
1.	Płuczka nr 1	79	51	39	25	5	4	28	39,5	23	2,0	8,9	
2.	Płuczka nr 1 + podchloryn wapnia	0,1	68	44	34	21	3	2	24	34	20	2,0	8,6
		0,3	55	35	26	16	3	2	20	27,5	15	2,0	8,2
		0,5	38	23	17	11	2	1	15	19	8	3,4	8,0
3.	Płuczka nr 1 + AP1	0,1	64	41	32	20	3	2	23	32	18	2,4	9,0
		0,3	59	37	28	17	3	2	22	29,5	15	2,8	8,6
		0,5	55	35	26	16	3	2	20	27,5	15	3,2	8,2
4.	Płuczka nr 1 + nadmocznik	0,8	28	17	13	8	1	1	11	14	6	2,4	8,4
		1,0	23	13	10	6	1	1	10	11,5	3	3,0	8,2
		1,5	19	11	8	4	1	1	8	9,5	3	4,2	8,1
5.	Płuczka nr 2	59	42	36	26	9	7	17	29,5	25	2,0	9,0	
6.	Płuczka nr 2 + podchloryn wapnia	0,1	53	38	32	23	7	6	15	26,5	23	2,2	8,5
		0,3	53	38	32	23	7	6	15	26,5	23	2,4	8,3
		0,5	39	28	23	17	5	4	11	19,5	17	3,2	8,1
7.	Płuczka nr 2 + AP1	0,1	46	33	27	20	6	5	13	23	20	2,4	9,0
		0,3	42	30	24	17	6	4	12	21	18	2,8	8,6
		0,5	46	33	27	19	6	5	13	23	20	3,0	8,4
8.	Płuczka nr 2 + nadmocznik	0,8	55	40	34	26	9	8	15	27,5	25	2,2	8,4
		1,0	42	30	24	17	6	4	12	21	18	2,4	8,2
		1,5	48	34	28	20	7	5	14	24	20	2,8	8,4
9.	Płuczka nr 3	93	62	49	31	7	5	31	46,5	31	4,4	9,6	
10.	Płuczka nr 3 + podchloryn wapnia	0,1	91	59	46	30	7	5	32	45,5	27	4,4	8,0
		0,3	75	49	38	24	5	4	26	37,5	23	4,8	7,7
		0,5	57	37	29	19	5	4	20	28,5	17	6,2	7,5
11.	Płuczka nr 3 + AP1	0,1	85	56	44	29	7	5	29	42,5	27	4,6	8,6
		0,3	77	50	39	26	7	5	27	38,5	23	4,8	8,5
		0,5	87	56	44	29	7	5	31	43,5	25	5,0	7,8
12.	Płuczka nr 3 + nadmocznik	0,8	43	28	21	15	4	3	15	21,5	13	4,8	7,5
		1,0	38	25	19	13	3	2	13	19	12	5,2	8,2
		1,5	28	18	15	10	3	2	10	14	8	5,8	8,1
13.	Płuczka nr 4	104	66	5	33	6	4	38	52	28	1,6	9,1	
14.	Płuczka nr 4 + podchloryn wapnia	0,1	87	54	41	25	5	4	33	43,5	21	1,6	9,0
		0,3	78	49	37	23	5	3	29	39	20	1,6	7,1
		0,5	67	41	31	19	4	3	26	33,5	15	2,4	6,9
15.	Płuczka nr 4 + AP1	0,1	91	58	44	28	6	4	33	45,5	25	1,8	7,6
		0,3	87	55	42	26	6	4	32	43,5	23	2,0	6,5
		0,5	86	54	41	25	6	4	32	43	22	2,2	6,3
16.	Płuczka nr 4 + nadmocznik	0,8	19	11	7	4	1	1	8	9,5	3	58	7,2
		1,0	14	8	5	3	1	1	6	7	2	64	6,9
		1,5	13	8	5	3	1	1	5	6,5	3	66	6,3

Oznaczenia:

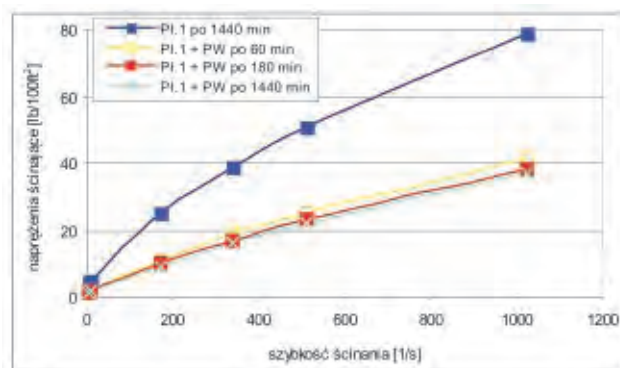
PV – lepkość plastyczna płuczki [mPas],

AV – lepkość pozorna płuczki [mPas],

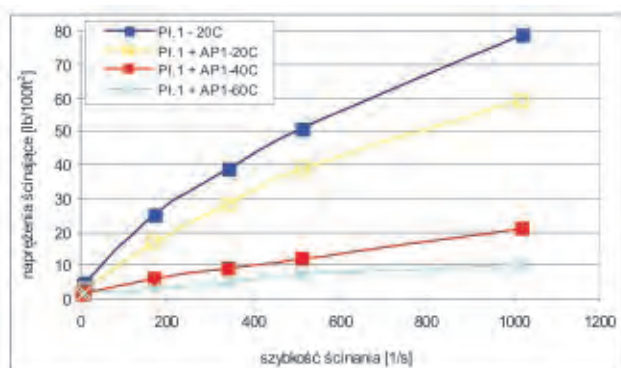
YP – granica płynięcia [lb/100 ft<sup>2</sup>].



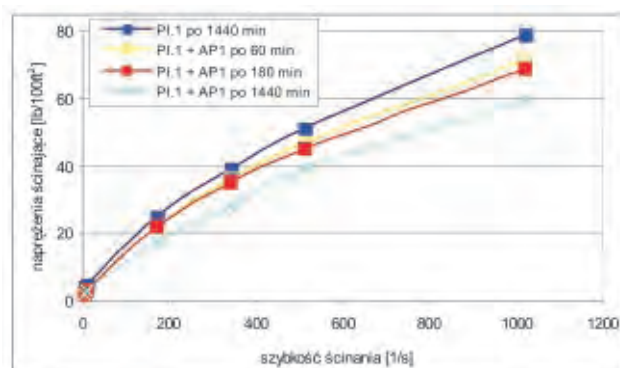
Rys. 1. Krzywe płynięcia płuczki nr 1 z dodatkiem 5 g/dm<sup>3</sup> podchlorynu wapnia, w funkcji temperatury



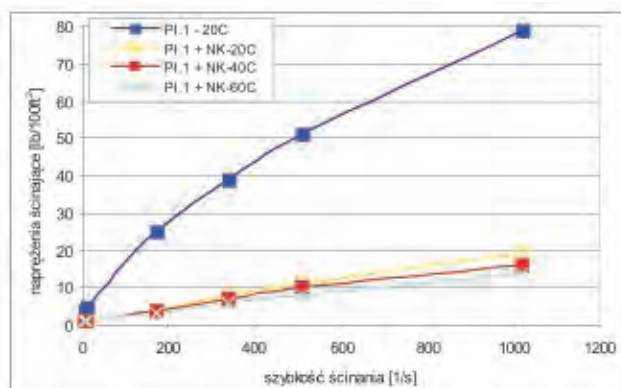
Rys. 2. Krzywe płynięcia płuczki nr 1 z dodatkiem 5 g/dm<sup>3</sup> podchlorynu wapnia, w funkcji czasu



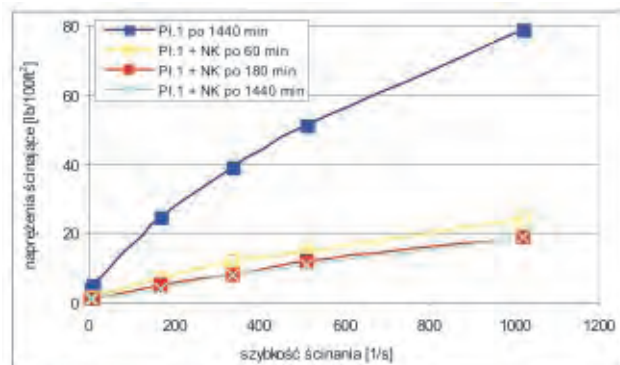
Rys. 3. Krzywe płynięcia płuczki nr 1 z dodatkiem 3 g/dm<sup>3</sup> API, w funkcji temperatury



Rys. 4. Krzywe płynięcia płuczki nr 1 z dodatkiem 3 g/dm<sup>3</sup> API, w funkcji czasu



Rys. 5. Krzywe płynięcia płuczki nr 1 z dodatkiem 10 g/dm<sup>3</sup> nadmocznika, w funkcji temperatury



Rys. 6. Krzywe płynięcia płuczki nr 1 z dodatkiem 10 g/dm<sup>3</sup> nadmocznika, w funkcji czasu









z rdzenia za pomocą wody (erodowanie wirowe 1000 obr./min) już po ok. 1 min.

Do sporządzenia płuczki nr 2 wykorzystano polimery naturalne. W celu zwiększenia gęstości do 1110 kg/m<sup>3</sup> wprowadzono do niej blokator węglanowy w ilości 10% obj. i zasolono 3% KCl. Płuczka charakteryzuje się lepkością plastyczną 17 mPas i granicą płynięcia 25 lb/100 ft<sup>2</sup> (tablica 2). Osad z płuczki nr 2 o gęstości 1355 kg/m<sup>3</sup> i uwodnieniu 63,44% wag. jest trudny do usunięcia w procesie erozji. Usunięcie osadu przy erodowaniu wirowym wodą następuje po czasie 18 min (tablica 4, fot. 9 i 10).

Badania wpływu oksydantów na właściwości płuczki nr 2 przedstawiono w tablicy 2. Do płuczki zadawano różne ilości oksydantów, celem wyboru optymalnej dawki, przy której można osiągnąć największy efekt upłynnienia płuczki.

Płuczka nr 2 w temp. pokojowej jest odporna na działanie oksydantów. Wprowadzenie do płuczki podchlorynu wapnia w ilości 5 g/dm<sup>3</sup> powoduje obniżenie jej lepkości plastycznej z 17 do 11 mPas i granicy płynięcia z 25 do 17 lb/100 ft<sup>2</sup> oraz zwiększenie jej filtracji z 2,0 do 3,2 cm<sup>3</sup> (tablica 2). Szybkość przebiegu reakcji utleniania w czasie nie ulega większym

**Tablica 3.** Struktura i właściwości osadów filtracyjnych wytworzonych z płuczki nr 1 z dodatkiem środków utleniających

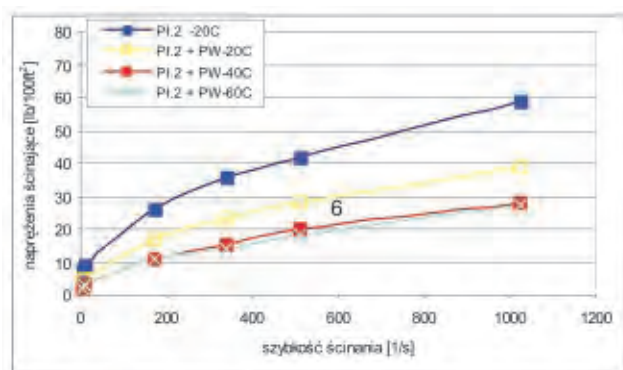
			
<b>Fot. 1.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 1	<b>Fot. 3.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 1 + 0,3% API	<b>Fot. 5.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 1 + 0,5% podchloryn wapnia	<b>Fot. 7.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 1 + 1,0% nadmocznik
<b>Właściwości osadów filtracyjnych</b> A – czas potrzebny do wymycia osadu [min] B – grubość osadu [mm] C – gęstość osadu [kg/m <sup>3</sup> ] D – uwodnienie osadu [% wag.]			
A – 17 min B – 0,8 mm C – 2361 D – 46,23%	A – 3 min B – 0,8 mm C – 2869 D – 25,52%	A – 4 min B – 0,6 mm C – 2841 D – 26,68%	A – 1 min B – 0,5 mm C – 2884 D – 24,93%
			
<b>Fot. 2.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 1 po erodowaniu wirowym	<b>Fot. 4.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 1 + 0,3% API po erodowaniu wirowym	<b>Fot. 6.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 1 + 0,5% podchloryn wapnia po erodowaniu wirowym	<b>Fot. 8.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 1 + 1% nadmocznik po erodowaniu wirowym

zmianom (rysunek 8); największy spadek lepkości płuczki następuje po upływie ok. 1 godz., a dalsze oddziaływanie podchlorynu wapnia nie wpływa znacząco na spadek parametrów reologicznych. Zwiększenie temperatury środowiska reakcji do 40°C (rysunek 7) wpływa na przyspieszenie procesu rozkładu płuczki o ok. 30%. W temp. 60°C proces utleniania przebiega podobnie – maksymalne upłynnienie płuczki zachodzi już po 1 godz. oddziaływania oksydanta. Wpływ podchlorynu wapnia na właściwości osadu filtracyjnego z płuczki nr 2 przedstawiono w tablicy 4 i na fot. 13 i 14. Osad o gęstości 1452 kg/m<sup>3</sup> zawiera ok. 52,6% wag. wody, jest cienki (0,6 mm) i można go stosunkowo łatwo usunąć za pomocą erodowania wirowego wodą.

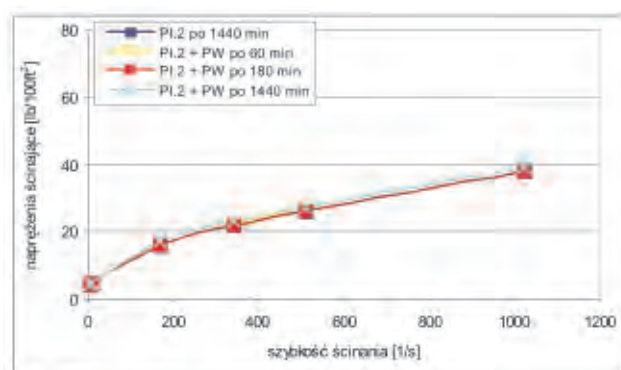
Do skutecznego przebiegu procesu utleniania płuczki za pomocą środka API niezbędnym jest zwiększenie temperatury środowiska reakcji do ok. 60°C (rysunek 9).

Proces rozkładu płuczki w temp. 60°C przebiega znacznie szybciej i jest bardziej efektywny. Po oddziaływaniu środka API przez ok. 24 godz. lepkość plastyczna płuczki obniża się do 8 mPas, a granica płynięcia do 2 lb/100 ft<sup>2</sup>. Osad filtracyjny jest dwukrotnie łatwiej usuwalny niż z płuczki wyjściowej, charakteryzuje się przy tym mniejszym uwodnieniem i większą gęstością (tablica 4, fot. 11, 12).

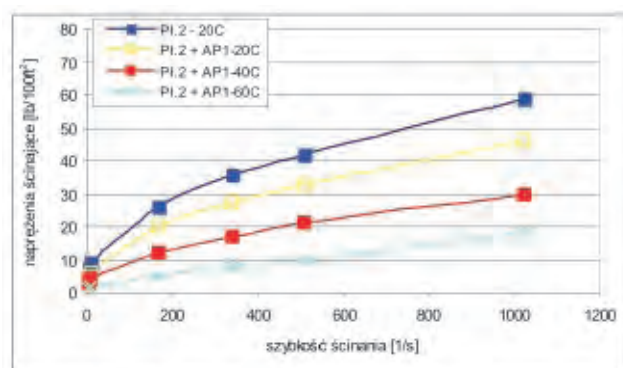
Wpływ nadmocznika na właściwości płuczki nr 2 znacząco się obniżeniem lepkości plastycznej do 12 mPas i granicy płynięcia do 18 lb/100 ft<sup>2</sup> (tablica 2). Czas potrzebny do przebiegu procesu upłynniania płuczki w temp. pokojowej wynosi ok. 24 godz., a taki sam efekt upłynnienia można osiągnąć po czasie 1 godz. w temperaturze 40°C (rysunek 11). Na podstawie uzyskanych wyników zaleca się, by proces utleniania płuczki nr 2 za pomocą nadmocznika prowadzić w temp. 40°C



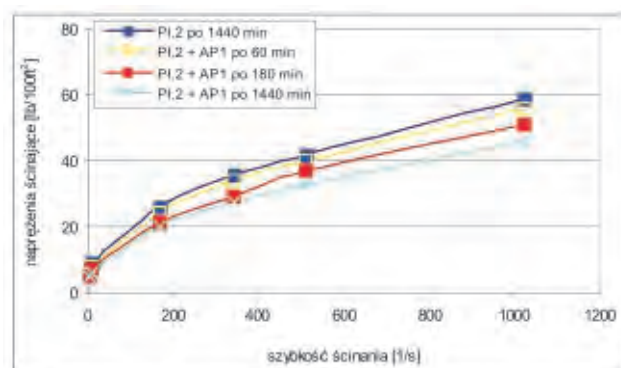
Rys. 7. Krzywe płynięcia płuczki nr 2 z dodatkiem 5 g/dm<sup>3</sup> podchlorynu wapnia, w funkcji temperatury



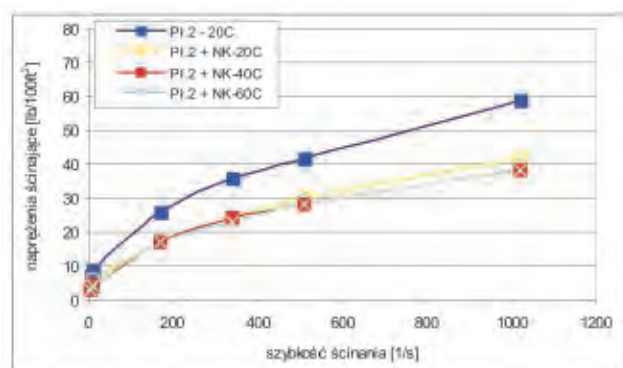
Rys. 8. Krzywe płynięcia płuczki nr 2 z dodatkiem 5 g/dm<sup>3</sup> podchlorynu wapnia, w funkcji czasu



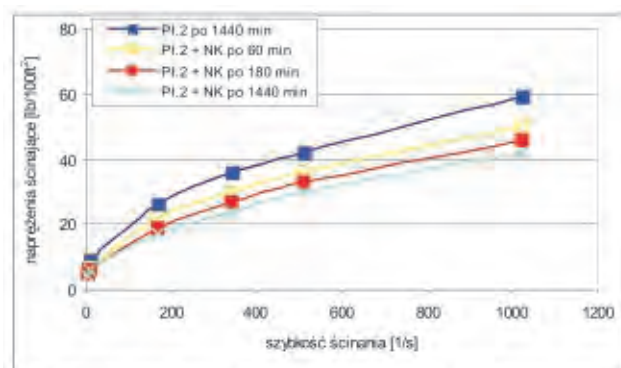
Rys. 9. Krzywe płynięcia płuczki nr 2 z dodatkiem 3 g/dm<sup>3</sup> API, w funkcji temperatury



Rys. 10. Krzywe płynięcia płuczki nr 2 z dodatkiem 3 g/dm<sup>3</sup> API, w funkcji czasu



Rys. 11. Krzywe płynięcia płuczki nr 2 z dodatkiem 10 g/dm<sup>3</sup> nadmocznika, w funkcji temperatury



Rys. 12. Krzywe płynięcia płuczki nr 2 z dodatkiem 10 g/dm<sup>3</sup> nadmocznika, w funkcji czasu









przez okres od 1 do 3 godz. Osad filtracyjny z płuczki nr 2 jest wypłukiwalny przez wodę przy erodowaniu wirowym, przy dodatku 1% obj. nadmocznika, po ok. 10 min (tablica 4, fot. 15 i 16).

Płuczka nr 3 na osnowie biopolimeru i koloidu ochronnego typu celulozowego CMC LV, dociążona barytem do gęstości 1300 kg/m<sup>3</sup>, charakteryzuje się lepkością plastyczną 31 mPas, granicą płynięcia 31 lb/100 ft<sup>2</sup> i filtracją 4,4 cm<sup>3</sup> (tablica 2). Osad filtracyjny z płuczki nr 3 jest cienki (ok. 0,8 mm), zwięzły, o dość dużym uwodnieniu (72,42% wag.) i o gęstości ok. 1776 kg/m<sup>3</sup> (tablica 5, fot. 17 i 18). Do usunięcia

tego osadu za pomocą erodowania wirowego wodą (1000 obr./min) potrzeba ok. 16 min.

Wpływ działania oksydantów na parametry reologiczne płuczki nr 3 w temperaturze 20°C przedstawiono w tablicy 2. Największy stopień upłynnienia płuczki uzyskano stosując 5 g/dm<sup>3</sup> podchlorynu wapnia. Przy takiej koncentracji podchlorynu wapnia w płuczce, lepkość plastyczna ulega obniżeniu z 31 do 20 mPas, a granica płynięcia z 31 do 17 lb/100 ft<sup>2</sup>. Filtracja płuczki zwiększyła się z 4,4 do 6,2 cm<sup>3</sup>, a wartość pH spadła do poziomu 7,5. W warunkach podwyższonej temperatury, tj. 40 i 60°C, proces utleniania zachodzi

**Tablica 4.** Struktura i właściwości osadów filtracyjnych wytworzonych z płuczki nr 2 z dodatkiem środków utleniających

			
<b>Fot. 9.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 2	<b>Fot. 11.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 2 + 0,3% AP1	<b>Fot. 13.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 2 + 0,5% podchloryn wapnia	<b>Fot. 15.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 2 + 1,0% nadmocznik
<b>Właściwości osadów filtracyjnych</b>			
A – czas potrzebny do wymycia osadu [min]			
B – grubość osadu [mm]			
C – gęstość osadu [kg/m <sup>3</sup> ]			
D – uwodnienie osadu [% wag.]			
A – 18 min B – 0,8 mm C – 1355 D – 63,44%	A – 9 min B – 0,6 mm C – 1398 D – 59,11%	A – 4,0 min B – 0,6 mm C – 1452 D – 52,60%	A – 10 min B – 0,6 mm C – 1563 D – 40,78%
			
<b>Fot. 10.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 2 po erodowaniu wirowym	<b>Fot. 12.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 2 + 0,3% AP1 po erodowaniu wirowym	<b>Fot. 14.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 2 + 0,5% podchloryn wapnia po erodowaniu wirowym	<b>Fot. 16.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 2 + 1% nadmocznik po erodowaniu wirowym

w większym stopniu. Najlepsze efekty upłynniania płuczki uzyskano prowadząc proces utleniania w temp. 60°C przez okres 24 godz. – lepkość plastyczna płuczki obniżyła się do 6 mPas, a granica płynięcia do 8 lb/100 ft<sup>2</sup> (rysunek 13).

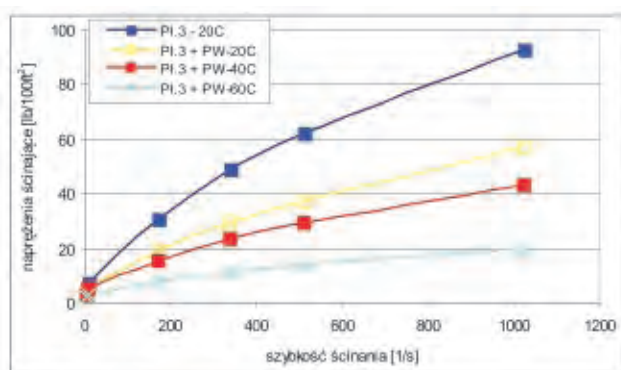
Osad z płuczki z dodatkiem podchlorynu wapnia charakteryzuje się większą gęstością i nieznacznie mniejszym uwodnieniem (68,66% wag.) w stosunku do osadu z płuczki wyjściowej. Czas potrzebny na wymycie osadu przy erodowaniu wirowym wodą wynosi ok. 3,5 min (tablica 5, fot. 21 i 22).

Proces utleniania płuczki w temperaturze pokojowej za pomocą środka AP1 nie wpływa znacząco na zmianę jej parametrów reologicznych. Wprowadzenie 3 g/dm<sup>3</sup> AP1 powoduje obniżenie lepkości plastycznej płuczki z wartości 31 do 27 mPas i granicy płynięcia z 31 do 23 lb/100 ft<sup>2</sup> (tablica 2).

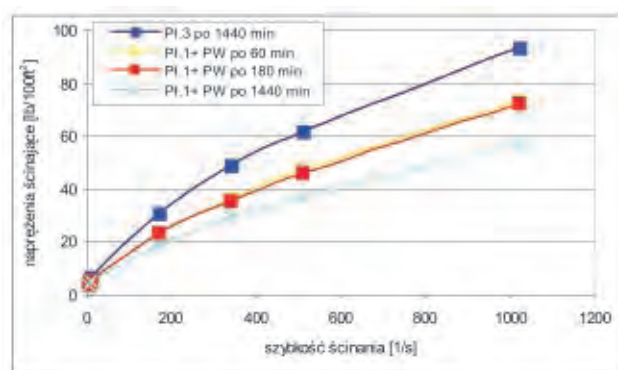
W celu zwiększenia efektu upłynniania płuczki należy prowadzić proces utleniania w wyższej temperaturze, tj. ok. 40°C i wydłużyć czas jego oddziaływania na płuczkę do 24 godz. (rysunek 15). Osad płuczkowy po oddziaływaniu oksydanta AP1 zwiększa gęstość do ok. 1782 kg/m<sup>3</sup>, zmniejsza uwodnienie do 68,83% wag. i skraca czas potrzebny do usunięcia osadu z rdzenia do 2 min (tablica 5, fot. 19 i 20).

Znacznie lepszym efektem utleniającym, w stosunku do płuczki nr 3 w temperaturze pokojowej, wykazał się nadmocznik, który przy dodatku 10 g/dm<sup>3</sup>, po czasie oddziaływania 24 godz., obniżył lepkość plastyczną płuczki do 13 mPas i granicę płynięcia do 12 lb/100 ft<sup>2</sup> (tablica 2). Powiększenie temperatury do 40°C zwiększa efektywność działania środka o około 35% (rysunek 17), w stosunku do zabiegu prowadzonego w temperaturze pokojowej.

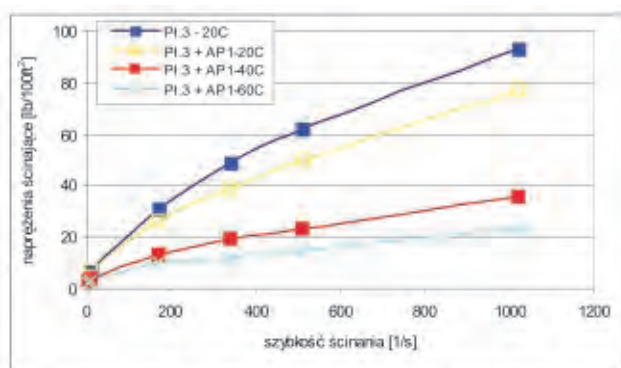




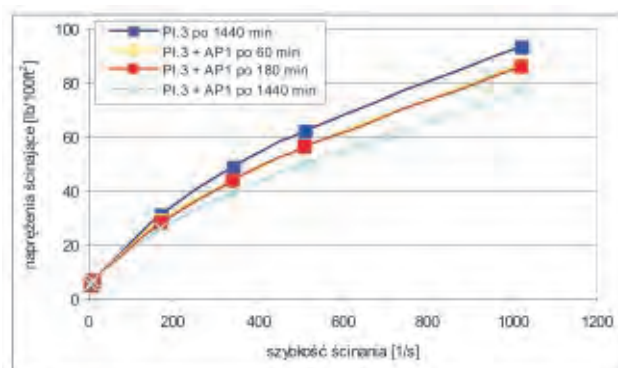
Rys. 13. Krzywe płynięcia płuczki nr 3 z dodatkiem 5 g/dm<sup>3</sup> podchlorynu wapnia, w funkcji temperatury



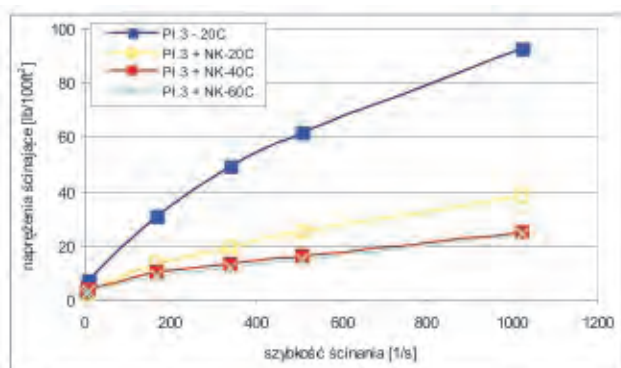
Rys. 14. Krzywe płynięcia płuczki nr 3 z dodatkiem 5 g/dm<sup>3</sup> podchlorynu wapnia, w funkcji czasu



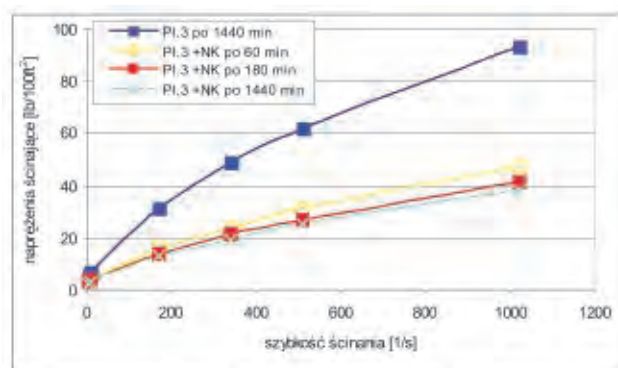
Rys. 15. Krzywe płynięcia płuczki nr 3 z dodatkiem 3 g/dm<sup>3</sup> API, w funkcji temperatury



Rys. 16. Krzywe płynięcia płuczki nr 3 z dodatkiem 3 g/dm<sup>3</sup> API, w funkcji czasu



Rys. 17. Krzywe płynięcia płuczki nr 3 z dodatkiem 10 g/dm<sup>3</sup> nadmocznika, w funkcji temperatury



Rys. 18. Krzywe płynięcia płuczki nr 3 z dodatkiem 10 g/dm<sup>3</sup> nadmocznika, w funkcji czasu









Osad filtracyjny po oddziaływaniu nadmocznika staje się bardziej kruchy i mniej kleisty, przez co łatwiej usunąć go z rdzenia za pomocą wody. Usunięcie osadu następuje już po ok. 2 min; osad cechuje się także mniejszym uwodnieniem (68,50%) i większą gęstością (tablica 5, fot. 23 i 24).

Płuczka solno-polimerowa nr 4, na osnowie biopolimeru i koloidu celulozowego CMC LV, została zasolona NaCl w ilości 31% obj., dociążona barytem do ciężaru 1500 kg/dm<sup>3</sup> i skażona jonami wapnia i magnezu. Płuczka charakteryzuje się stabilnymi parametrami reologiczno-strukturalnymi; lepkość plastyczna płucz-

ki wynosi 38 mPas, a granica płynięcia 28 lb/100 ft<sup>2</sup> (tablica 2). Osad wytworzony z płuczki nr 4, o gęstości 2269 kg/dm<sup>3</sup> i uwodnieniu 61,20% wag., jest trudny usunięcia w procesie erodowania. Usunięcie osadu przy erodowaniu wirowym wodą następuje po czasie ok. 23 min (tablica 6, fot. 25 i 26).

Płuczka nr 4 w temp. pokojowej jest odporna na działanie podchlorynu wapnia. Optymalne stężenie podchlorynu wapnia, przy którym następuje wyraźny spadek parametrów reologicznych płuczki, wynosi 5 g/dm<sup>3</sup>. Po wprowadzeniu takiej ilości oksydanta lepkość plastyczna płuczki ulega obniżeniu z wartości 38 do 26 mPas,

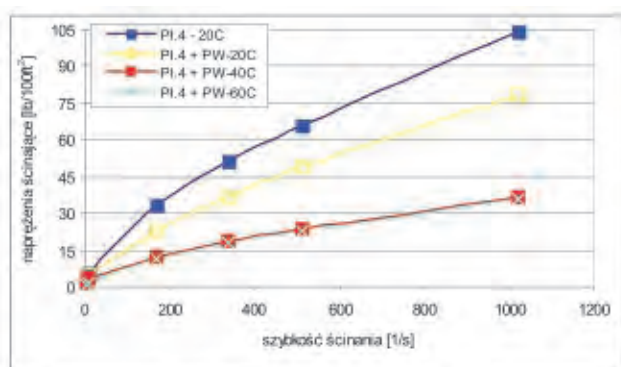
**Tablica 5.** Struktura i właściwości osadów filtracyjnych wytworzonych z płuczki nr 3 z dodatkiem środków utleniających

			
<b>Fot. 17.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 3	<b>Fot. 19.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 3 + 0,3% AP1	<b>Fot. 21.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 3 + 0,5% podchloryn wapnia	<b>Fot. 23.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 3 + 1,0% nadmocznik
<b>Właściwości osadów filtracyjnych</b>			
A – czas potrzebny do wymycia osadu [min]			
B – grubość osadu [mm]			
C – gęstość osadu [kg/m <sup>3</sup> ]			
D – uwodnienie osadu [% wag.]			
A – 16 min B – 0,8 mm C – 1776 D – 72,42%	A – 2 min B – 0,4 mm C – 1872 D – 68,83%	A – 3,5 min B – 0,6 mm C – 1877 D – 68,66%	A – 2 min B – 0,6 mm C – 1881 D – 68,50%
			
<b>Fot. 18.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 3 po erodowaniu wirowym	<b>Fot. 20.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 3 + 0,3% AP1 po erodowaniu wirowym	<b>Fot. 22.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 3 + 0,5% podchloryn wapnia po erodowaniu wirowym	<b>Fot. 24.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 3 + 1% nadmocznik po erodowaniu wirowym

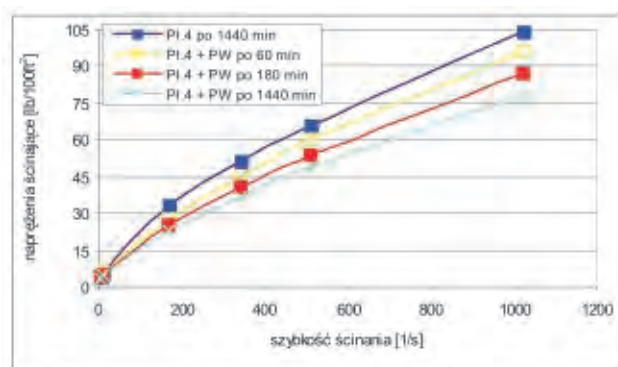
a granicy płynięcia – z 28 do 15 lb/100 ft<sup>2</sup> (tablica 2). Zwiększenie temperatury płuczki do 40°C wpływa na zwiększenie efektu rozkładu polimerów zawartych w płuczce. Oddziaływanie oksydanta w temperaturze 40°C (rysunek 19) przez trzy godziny powoduje zmniejszenie lepkości plastycznej płuczki do 13 mPas, a granicy płynięcia do 11 lb/100 ft<sup>2</sup>. Szybkość przebiegu reakcji utleniania w czasie nie ulega większym zmianom (rysunek 20); największy spadek lepkości płuczki następuje po upływie ok. 3 godz., a dalsze oddziaływanie podchlorynu wapnia nie wpływa znacząco na dalszy spadek parametrów reologicznych. Zmiany we właściwościach osadu filtracyjnego po oddziaływaniu podchlorynu wapnia polegają głównie na zmianie jego struktury, zmniejszeniu kleistości osadu, zwiększeniu gęstości oraz zmniejszeniu uwodnienia (tablica 6, fot. 29 i 30).

Zastosowanie środka AP1 do degradacji polimerów zawartych w płuczce nr 4 wymaga prowadzenia zabiegu w temperaturze 40 lub 60°C. Utlenianie płuczki w temperaturze pokojowej jest nieskuteczne i przebiega bardzo powoli (rysunek 21). Temperatura, jako czynnik katalizujący działanie tego środka, umożliwia zwiększenie jego efektywności, a tym samym wpływa na zmniejszenie parametrów reologicznych płuczki.

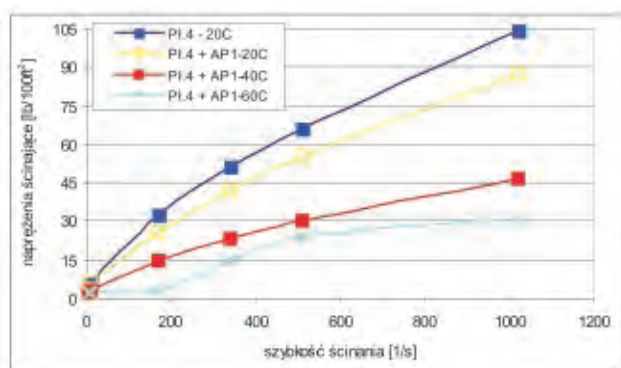
Osad filtracyjny po oddziaływaniu środka AP1 zmienia swoją konsystencję poprzez zwiększenie gęstości do 2406 kg/m<sup>3</sup>, zmniejszenia uwodnienia do wartości 56,23%, a także staje się mniej kleisty, przez co staje się łatwiej zmywalny wodą niż osad z płuczki wyjściowej. Czas potrzebny do usunięcia osadu wodą przy erodowaniu wirowym wynosi 4 min (tablica 6, fot. 27 i 28).



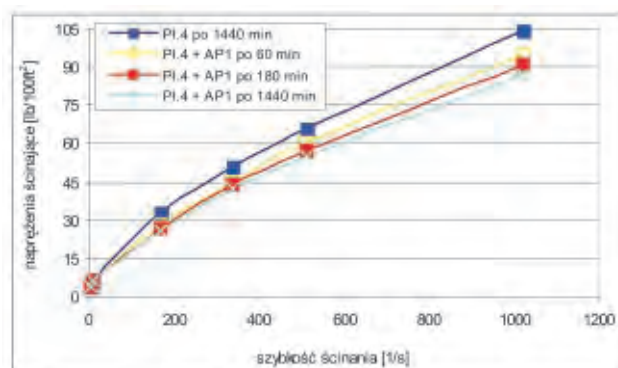
Rys. 19. Krzywe płynięcia płuczki nr 4 z dodatkiem 5 g/dm<sup>3</sup> podchlorynu wapnia, w funkcji temperatury



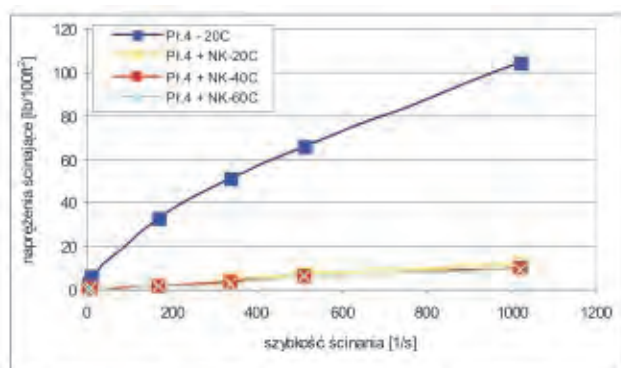
Rys. 20. Krzywe płynięcia płuczki nr 4 z dodatkiem 5 g/dm<sup>3</sup> podchlorynu wapnia, w funkcji czasu



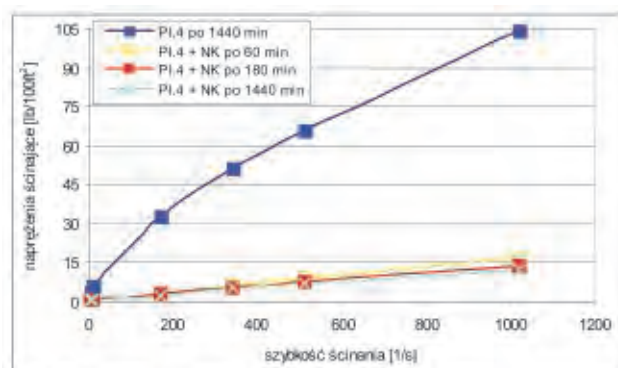
Rys. 21. Krzywe płynięcia płuczki nr 4 z dodatkiem 3 g/dm<sup>3</sup> API, w funkcji temperatury



Rys. 22. Krzywe płynięcia płuczki nr 4 z dodatkiem 3 g/dm<sup>3</sup> API, w funkcji czasu



Rys. 23. Krzywe płynięcia płuczki nr 4 z dodatkiem 10 g/dm<sup>3</sup> nadmocznika, w funkcji temperatury











Rys. 24. Krzywe płynięcia płuczki nr 4 z dodatkiem 10 g/dm<sup>3</sup> nadmocznika, w funkcji czasu

Bardzo skutecznym środkiem do rozkładu polimerów występujących w środowisku pełnego zasolenia jest nadmocznik, który przy dodatku 10 g/dm<sup>3</sup> do płuczki nr 4 zaledwie po upływie 1 godz. (tablica 2) oddziaływania powoduje obniżenie jej parametrów reologicznych, tj. lepkości plastycznej – z wartości 38 do 6 mPas, i granicy płynięcia – z 28 do 2 lb/100 ft<sup>2</sup>. Prowadzenie procesu rozkładu płuczki w wyższych temperaturach nieznacznie zwiększa efektywność jego działania (rysunek 23), nie mniej jednak stosowanie nadmocznika w środowisku pełnego zasolenia nie wymaga podnoszenia temperatury lub wydłużania czasu

oddziaływania. Niekorzystnym zjawiskiem upłynniania płuczki nadmocznikiem jest to, że powoduje on znaczny wzrost filtracji. Po oddziaływaniu środka na płuczkę ulega ona całkowitej degradacji, przez co wartość filtracji wzrasta z poziomu 1,6 do 66 cm<sup>3</sup> (tablica 2).

Struktura i właściwości osadu filtracyjnego płuczki z dodatkiem nadmocznika również ulegają zmianom. Osad charakteryzuje się większą gęstością (ok. 2806 kg/m<sup>3</sup>), znacznie mniejszym uwodnieniem (41,72% wag.) w stosunku do osadu z płuczki nr 4 i jest mniej zwięzły, przez co staje się łatwiej usuwalny. Czas erodowania wynosi poniżej 1 min (tablica 6, fot. 31 i 32).

**Tablica 6.** Struktura i właściwości osadów filtracyjnych wytworzonych z płuczki nr 4 z dodatkiem środków utleniających

			
<b>Fot. 25.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 4	<b>Fot. 27.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 4 + 0,3% API	<b>Fot. 29.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 4 + 0,5% podchloryn wapnia	<b>Fot. 31.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 4 + 1,0% nadmocznik
<b>Właściwości osadów filtracyjnych</b> A – czas potrzebny do wymycia osadu [min] B – grubość osadu [mm] C – gęstość osadu [kg/m <sup>3</sup> ] D – uwodnienie osadu [% wag.]			
A – 23 min B – 1,0 mm C – 61,20% D – 2269	A – 4 min B – 0,8 mm C – 56,23% D – 2406	A – 3,0 min B – 0,8 mm C – 54,13% D – 2455	A – 1 min B – 0,6 mm C – 41,72% D – 2806
			
<b>Fot. 26.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 4 po erodowaniu wirowym	<b>Fot. 28.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 4 + 0,3% API po erodowaniu wirowym	<b>Fot. 30.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 4 + 0,5% podchloryn wapnia po erodowaniu wirowym	<b>Fot. 32.</b> Osad filtracyjny wytworzony z płuczki nr 4 + 1% nadmocznik po erodowaniu wirowym

### Podsumowanie i wnioski końcowe

- Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych, za najbardziej efektywne środki do degradacji polimerów strukturotwórczych i koloidów ochronnych w płuczках wiertniczych uznano podchloryn wapnia, API i nadmocznik.
  - Podchloryn wapnia należy stosować w ilości od 3 do 5 g/dm<sup>3</sup>. Reakcja utleniania za pomocą podchlorynu wapnia przebiega szybko i nie wymaga stosowania aktywatorów reakcji. Czas oddziaływania oksydanta: od 1 do 3 godz.
  - Proces rozkładu płuczek za pomocą środka API jest zależny od temperatury i czasu oddziaływania. Do skutecznego przebiegu procesu rozkładu płuczek wiertniczych należy stosować aktywatory reakcji lub prowadzić proces w temperaturze co najmniej 40°C. Działanie temperatury w tym przypadku jest czynnikiem katalizującym przebieg reakcji utleniania.
  - Do rozkładu polimerów, występujących w środowisku pełnego zasolenia, skutecznym środkiem jest nadmocznik, który przy dodatku 10 g/dm<sup>3</sup> powoduje całkowitą degradację płuczki solnopolimerowej. Reakcja utleniania prowadzona w środowisku pełnego zasolenia nie wymaga podnoszenia temperatury i wydłużania czasu oddziaływania oksydanta.
- Efektywność działania środków utleniających w płuczках wiertniczych nie zależy od wartości pH.

3. Środki utleniające wpływają na właściwości osadów filtracyjnych. Osady płuczkowe po oddziaływaniu oksydantów charakteryzują się znacznie większą gęstością, mniejszym uwodnieniem, są mniej zwięzłe i łatwiej usuwalne.
4. Temperatura i czas są czynnikami, które mają decydujący wpływ na przebieg procesu utleniania. Wzrost temperatury i wydłużenie czasu oddziaływa-

nia wpływa na zwiększenie efektywności działania oksydantów.

5. Środki utleniające do rozkładu płuczek wiertniczych i degradacji osadów filtracyjnych powinny być dobierane na podstawie badań laboratoryjnych. Należy także ustalić najbardziej optymalne i zbilansowane warunki do ich rozkładu, do rodzaju zastosowanych w płuczkach polimerów i koloidów ochronnych.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Józef Raczkowski

#### Literatura

- [1] Beall B.B., Brannon H.D., Tjon-Joe-Pin R.M., Driscoll K.: BJ Services Company, *Evaluation of a New Technique For Removing Horizontal Wellborn Damage Attributable to Grill-In Filter Cake.*, SPE, 36429, 1996.
- [2] Bielewicz D., Kraj Ł.: *Badania laboratoryjne efektywności działania środków chemicznych degradujących płuczkę i osad filtracyjny.* Kraków 1997.
- [3] Dobson J.W., Kayga P.D. of TBC-Brinadd: *Unique Breaker system Treatment for open Hole Horizontal Completions.* Houston, Texas 1995.
- [4] Micheal D., Economides J., Kenneth G. Nolte: *Reservoir Stimulation.* Houston 1989.
- [5] Nasr H.A.-El-Din, Al-Otaibi M.B., Al-Qahtani A.A., Aramco S., Samuel M.: *An Effective Fluid Formulation to Remove Drilling-Fluid Mudcake in Horizontal and Multi-lateral Wells.* SPE 87960-PA-P, 2007.
- [6] Nowotarski I., Guzik J.: *Zwiększenie wypukiwalności płuczki wiertniczej przed zabiegiem cementowania i opracowanie nowej cieczy przemylawajacej.*
- [7] Nowotarski I.: *Modyfikacja składu frakcji ilowej płuczek pod kątem łatwiejszego usuwania osadów ilowych przed cementowaniem w miocenie.* INiG, Kraków 2004.
- [8] Raczkowski J., Pólchłopek T.: *Materiały i środki chemiczne do sporządzania płuczek wiertniczych.* IGNiG, Kraków 1998.



Mgr inż. Sławomir BŁAŻ – absolwent Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Pracownik Zakładu Technologii Wiercenia Instytutu Nafty i Gazu Oddział Krosno. Zajmuje się tematyką związaną z technologią płuczek wiertniczych.

→ Oferta ←



## ZAKŁAD TECHNOLOGII WIERCENIA

**Kierownik: dr inż. Małgorzata Uliasz**

38-400 Krosno, ul. Armii Krajowej 3 tel.: +48 013 436 89 41 wew. 219

---

### LABORATORIUM ZACZYNÓW USZCZELNIAJĄCYCH

OFERUJEMY:

- Dobór i opracowywanie składów zaczynów cementowych o zróżnicowanych gęstościach dla różnorodnych warunków otworowych (zaczyny pęczniące, typu antygaz, tiksotropowe, o normalnej gęstości, lekkie lub obciążone);
- Pomiary parametrów zaczynów i kamieni cementowych w warunkach otworopodobnych;
- Badania odporności korozyjnej kamienia cementowego;
- Testy odporności na migrację gazu w wiążącym zaczynie cementowym w warunkach otworopodobnych;
- Badania testujące materiałów wiążących i dodatków modyfikujących parametry zaczynów i tworzyw cementowych.



Prasa filtracyjna (Stirred Fluid Loss Cell)  
Model 7120 firmy Chandler.

**INSTYTUT NAFTY I GAZU**  
 ul. Lubicz 25 A, 31-503 Kraków  
 tel.: +48 12 421 00 33 fax: +48 12 430 38 85  
 www.inig.pl office@inig.pl

KRS 0000075478, REGON 000007104, NIP 671-00012077