

Sławomir Błaż

*Instytut Nafty i Gazu, Oddział Krosno*

## Nowy rodzaj płuczki zawierającej mikrosfery powietrza do przewiercania warstw o niskim ciśnieniu złożowym

### Wprowadzenie

Wiercenie otworów w trudnych warunkach geologicznych stwarza wiele problemów technicznych, zarówno w fazie projektowania, jak i w czasie wiercenia otworu. Niestabilność otworu, utrata obiegu płuczki, przyklejanie rur płuczkowych, przechwycenie przewodu – to tylko kilka z problemów napotykaných podczas wiercenia w warstwach o niskim ciśnieniu złożowym.

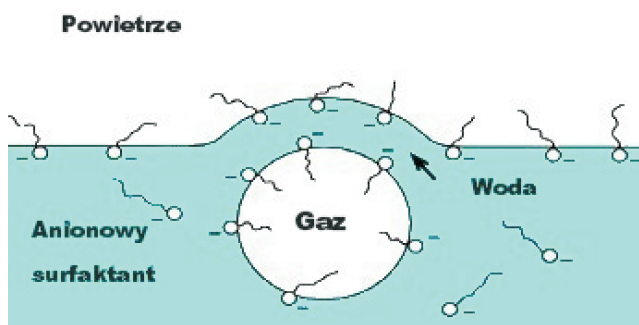
Wiercenie otworów w strefach o niskim ciśnieniu złożowym i w warstwach szcerpanych za pomocą płuczek wiertniczych stosowanych przy wierceniu konwencjonalnym jest niezmiernie trudne, w niektórych przypadkach – praktycznie niemożliwe, ze względu na gęstość cieczy wymaganą do zapewnienia stateczności ścian otworu, przekraczającą gradient ciśnienia szczelinowania. Gęstość płuczki powinna być utrzymywana powyżej ciśnienia formacji, jednak przewaga musi być na tyle niska, by nie przekroczyć ciśnienia szczelinowania formacji. Zastosowanie niewłaściwych płuczek wiertniczych o wyższej gęstości może prowadzić do dużych strat cieczy wiertniczych, niekiedy utraty obiegu i zwiększenia czasu przestoju.

Skutecznym rozwiązaniem w bezawaryjnym wierceniu otworów w pokładach o niskim ciśnieniu złożowym jest możliwość stosowania nowej generacji płuczek wiertniczych zawierających specjalnie zaprojektowane mikropęcherzyki powietrza, określaných jako afrony, mikropiany lub mikrosfery. Podstawowymi ich cechami są unikatowe właściwości reologiczne, wynikające z obecności odpornych na ciśnienie mikropęcherzyków powietrza stabilizowanych za pomocą filmu polimerowego z odpowiednio dobranymi surfaktantami. Płuczki zawierające afrony mogą być stosowane do przewiercania formacji skał o wysokiej przepuszczalności, a także w szcerpanych złożach ropy naftowej i gazu ziemnego; stanowią one tańszą alternatywę dla wiercenia underbalance. Zawarte w płuczce mikropęcherzyki powietrza zmniejszają inwazję płuczki i minimalizują uszkodzenie strefy przyodwiertowej. Płuczki charakteryzują się znacznie większymi lepkościami, przy niskich szybkościach ścinania LSRV, niż tradycyjne płuczki oraz obniżoną gęstością, ponadto nie tworzą mocnych żeli, co pozwala na szybkie wprowadzenie płuczki do strefy zaniku [1, 2, 5, 6, 8].

### Struktura i właściwości afronów

Afrony po raz pierwszy zostały opisane przez Sebba w 1987 roku jako unikatowe mikrosfery o niezwykłych właściwościach. Duża część jego pracy dotyczyła cieczy zawierających mikropęcherzyki powietrza zamknięte w wielowarstwowych powłokach tworzonych i utrzymywanych za pomocą równowagi chemicznej. W 1998 roku Brookey po raz pierwszy przedstawił zastosowanie afro-

nów w wodno-dyspersyjnych płuczках wiertniczych do kontroli utraty obiegu płuczki i zmniejszenia uszkodzenia formacji w warstwach o niskim ciśnieniu złożowym, przy przewiercaniu warstw dolomitu. Te i inne doświadczenia doprowadziły do dalszych badań nad płuczками zawierającymi afrony. Struktura afronu – przedstawiona jeszcze przez Sebba – zakłada, że składa się on z gazowego rdzenia

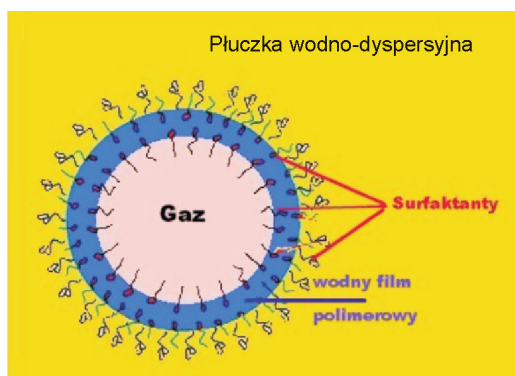


Rys. 1. Struktura konwencjonalnego pęcherzyka powietrza [3]

(powietrza) i warstwy ochronnej. Kluczem do wysokiej stabilności afronów jest ich powłoka ochronna, która chroni rdzeń powietrza. W przeciwieństwie do konwencjonalnych pęcherzyków powietrza, które są stabilizowane przez monowarstwowy surfaktant (rysunek 1 i fotografia 1), uważa się, że powłoka afronów składa się z dużo bardziej rozbudowanej powierzchni trójwarstwowej [1, 4, 6, 8].

Ta trójwarstwowa powierzchnia składa się z wewnętrznej powierzchni surfaktanta oddzielonej filmem polimerowym o wysokiej lepkości i zewnętrznej dwuwarstwowej powłoki środków powierzchniowo czynnych (rysunek 2 i fotografia 2). Warstwa wewnętrzna zawiera środek powierzchniowo czynny, którego hydrofobowa część jest ukierunkowana do rdzenia powietrza, a część hydrofilowa zorientowana w kierunku warstwy wodnej. Natomiast dwuwarstwowa zewnętrzna powłoka surfaktanta jest hydrofilowa, dzięki czemu struktura afronu jest zgodna z charakterem hydrofilowym płuczki wodno-dyspersyjnej [10].

W praktyce afrony generowane są w płuczkach wiertniczych poprzez dodatek środków powierzchniowo czynnych za pomocą konwencjonalnego sprzętu do mieszania.



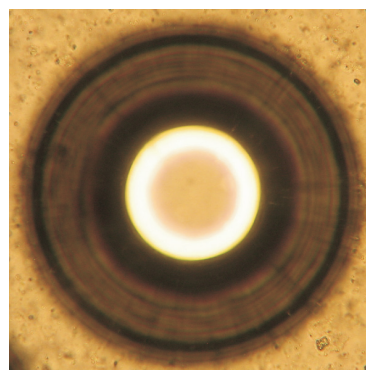
Rys. 2. Struktura afronu w płuczce wiertniczej wodno-dyspersyjnej [3]



Fot. 1. Struktura konwencjonalnego pęcherzyka powietrza w płuczce wiertniczej wodno-dyspersyjnej widziana pod mikroskopem przy powiększeniu 400-krotnym

Zawartość afronów w płuczce wiertniczej wynosi na ogół od 12 do 15% obj. powietrza i określana jest poprzez pomiar gęstości cieczy. W warunkach otoczenia średnie rozmiary afronów wynoszą od 10÷100  $\mu\text{m}$  [3]. Rozmiar afronów jest funkcją energii ścinania wprowadzanej do systemu, rodzaju środka powierzchniowo czynnego i jego koncentracji.

Jedną z głównych właściwości cieczy wiertniczych zawierających afrony jest ich stabilność w czasie. Stabilność afronów zależy od grubości i lepkości powłoki enkapsulacji. Stabilność afronów ulega zmniejszeniu, gdy film polimerowy jest cieńszy niż 4  $\mu\text{m}$  lub grubszy niż 10  $\mu\text{m}$  [6]. Niezależnie od grubości powłoki enkapsulacji, bardzo ważnym kryterium stabilności afronów jest lepkość powłoki. Powłoka musi mieć minimalną graniczną lepkość, aby zapobiegać dyfuzji pęcherzyków powietrza do cieczy. Szybkość dyfuzji jest odwrotnie proporcjonalna do lepkości powłoki. Dlatego płuczki zawierające afrony charakteryzują się wysokimi wartościami lepkości przy niskich szybkościach ścinania.



Fot. 2. Struktura afronu w płuczce wiertniczej wodno-dyspersyjnej widziana pod mikroskopem przy powiększeniu 400-krotnym

### Badania nad opracowaniem składu płuczki zawierającej afrony

Przy opracowywaniu składu płuczki zawierającej afrony, szczególną uwagę zwracano na właściwy dobór środków powierzchniowo czynnych. Odpowiedni dobór surfaktantów ułatwia właściwe rozproszenie powietrza i utworzenie w fazie wodnej mikropęcherzyków o określonej wielkości. Natomiast trwałość wytworzonego układu uzależniona jest od działania dwóch rodzajów sił. Jest to siła napięcia powierzchniowego, która działa w kierunku koalescencji mikropęcherzyków powietrza, oraz siła kohezji błonki powierzchniowej, utworzonej przez odpowiedni surfaktant, który przeciwdziała koalescencji. Stabilność mikropęcherzyków w roztworze uzależniona jest więc w dużym stopniu od rodzaju zastosowanego surfaktanta, który na powierzchni granicznej tworzy stan równowagi, tzw. film ochronny.

Środki powierzchniowo czynne do generowania afronów muszą być zgodne ze składem płuczki oraz kompatybilne z poszczególnymi jej składnikami. Ustalenie optymalnego stężenia środków powierzchniowo czynnych generujących afrony ma decydujące znaczenie, co do ilości tworzonych afronów i ich rozmiarów. Zbyt duży dodatek może spowodować pienienie się płuczek lub nadmierne obniżenie jej gęstości, natomiast zbyt mała ilość środka w układzie może okazać się niewystarczająca, by wytworzyć w płuczce optymalną ilość afronów będących w stanie uszczelnić strefę zaniku. W celu określenia optymalnego stężenia środków powierzchniowo czynnych do generowania afronów, przeprowadzono badania napięcia powierzchniowego wybranych surfaktantów.

Ogólnie przyjmuje się, że optymalne stężenie środków powierzchniowo czynnych powinno być mniejsze niż krytyczne stężenie micelarne. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów napięcia powierzchniowego ustalono, że stężenie substancji powierzchniowo czynnej do generowania afronów powinno wynosić w przypadku K30, RL, i SML 200 od 0,08% do ok. 0,1% obj.

Generowanie afronów w płuczce wiertniczej prowadzono za pomocą mieszadła mechanicznego z prędkością mieszania 2000 obr./min przez okres 6 min. Zawartość afronów określana była poprzez analizę gęstości płuczki, a stabilność oznaczano poprzez czas potrzebny do rozkładu połowy ilości afronów, tzw. „czas połowicznego rozpadu afronów”. Po wygenerowaniu afronów w płuczce wiertniczej określano jej gęstość  $\rho_1$  i na jej podstawie wyliczano zawartość afronów w płuczce  $A_{p1}$ . Następnie płuczkę wlewano do autoklawów i poddawano rolowaniu w piecu obrotowym rolen oven przez okres 24 godz. w temperaturze 50°C. Następnie, po upływie określonego czasu, ponow-

nie przeprowadzano pomiar gęstości  $\rho_2$  celem określenia zawartości afronów  $A_{p2}$ . Na podstawie przeprowadzonego testu obliczano czas połowicznego rozpadu afronów.

Metoda połowicznego rozpadu afronów służy jako prosty sposób określania stabilności nierozpuszczalnych mikropęcherzyków powietrza w cieczach wiertniczych. Wyliczenie zakłada, że stopień utraty nierozpuszczonego powietrza odbywa się według zasady kinetyki, jak w przypadku pian. Chociaż afrony są znacznie bardziej stabilne niż piany i tempo ich rozkładu nie jest ściśle powiązane z rozkładem pian, przeprowadzone badania wskazują, że określenie połowicznego rozpadu może być właściwym wskaźnikiem charakteryzującym stabilność badanych układów. Zawartość nierozpuszczalnego powietrza (afronów) w płuczce wiertniczej można wyliczyć z poniżej przedstawionego wzoru poprzez określenie gęstości płuczki.

Zawartość afronów w płuczce wiertniczej:

$$A_{p1} = [(\rho_t - \rho_i)/\rho_t] \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

gdzie:

$\rho_t$  – teoretyczna gęstość płuczki bez zawartości powietrza  
 $\rho_i$  – początkowa gęstość płuczki po wygenerowaniu afronów.

Czas połowicznego rozpadu afronów to inaczej czas potrzebny do rozpadu połowy ilości zawartych w płuczce mikropęcherzyków powietrza. Zawartość afronów można określać po dowolnym czasie, np. 3, 16, 24 godz.

Zawartość afronów po zakładanym czasie:

$$A_{p2} = [(\rho_t - \rho_f)/\rho_t] \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

gdzie:

$\rho_f$  – gęstość płuczki po zakładanym czasie.

Natomiast współczynnik utraty połowy ilości afronów z płuczki można obliczyć z wyrażenia:

$$K_{Af} = t_f - 1 \ln (A_{p1}/A_{p2}) = t_f^{-1} \ln (\rho_t - \rho_i)/(\rho_t - \rho_f) \quad (3)$$

gdzie:

$\rho_f$  – gęstość płuczki po zakładanym czasie.

Czas połowicznego rozkładu afronów można wyliczyć z wzoru:

$$\tau_{1/2} = 0,693 \cdot t_f \cdot \ln^{-1} (\rho_t - \rho_i)/(\rho_t - \rho_f) [\text{h}] \quad (4)$$

W tabelicy 1 przedstawiono wyniki badań efektywności tworzenia afronów w płuczkach wiertniczych w zależności

Tablica 1. Właściwości płuczek wiertniczych zawierających afrony

Nr płuczki	Skład płuczki [%]		Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	Lepkość [MPa·s]		Granica płynięcia [Ibl/100 ft <sup>2</sup> ]	Wytrzymał. struktural. [Ibl/100 ft <sup>2</sup> ]	Lepkość LSRV [Ibl/100 ft <sup>2</sup> ]	Zawartość afronów w płuczce [%]	Połowiczny czas rozpadu afronów [h]
			$\rho$	$\eta_{pl}$	$\eta_s$	$\tau_y$	I/II			
1	Biostat Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> XCD CMC LV Skrobia kleikowana KCl MgO RL	0,1 0,8 1,0 1,0 0,3 5,0 0,5 0,1	$\rho_1 - 990$ $\rho_2 - 1030$	25	56	62	28/29	91000	$A_{f1} = 4,3$ $A_{f2} = 0,5$	7
2	Biostat Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> XCD CMC LV Skrobia kleikowana MgO KCl Mieszanina gener. A	0,1 0,8 1,0 1,0 0,3 0,5 5,0 0,3	$\rho_1 - 880$ $\rho_2 - 890$	31	66,5	72	31/33	120800	$A_{f1} = 15$ $A_{f2} = 14$	250
3	Biostat Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> XCD CMC LV Skrobia kleikowana MgO KCl Mieszanina gener. B	0,1 0,8 1,0 1,0 0,3 0,5 5,0 0,3	$\rho_1 - 870$ $\rho_2 - 885$	31	68,5	75	31/33	121000	$A_{f1} = 16$ $A_{f2} = 14,5$	175
4	Biostat Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> XCD CMC LV Skrobia kleikowana MgO KCl Mieszanina gener. A Mieszanina stabil.	0,1 0,8 1,0 1,0 0,3 0,5 5,0 0,3 0,15	$\rho_1 - 865$ $\rho_2 - 870$	30	66,5	73	28/30	91800	$A_{f1} = 16,5$ $A_{f2} = 16$	545

od rodzaju zastosowanego zestawu środków do generowania afronów oraz dla porównania właściwości płuczki potasowo-polimerowej z dodatkiem środka powierzchniowo czynnego RL.

Mieszanina generująca afrony „A”, składająca się z: K30, SML 200 i RL, umożliwia wytworzenie afronów w płuczce do poziomu ok. 15% o przybliżonych wymiarach od 100 do 300  $\mu\text{m}$  i obniżeniu jej gęstości do ok. 880 kg/m<sup>3</sup>. Wygenerowane afrony charakteryzują się dużą stabilnością, połowiczny czas rozpadu wynosił ok. 250 godz. (tablica 1, poz. 2, fotografia 3). Zawartość wygenerowanych afronów w płuczce za pomocą mieszaniny „B”, składającej się z SML 200, K30, SDS, charakteryzowała się nie wiele mniejszymi rozmiarami, tj. od 100 do 250  $\mu\text{m}$ , i zawierała ok. 16% obj. afronów o połowicznym czasie rozpadu

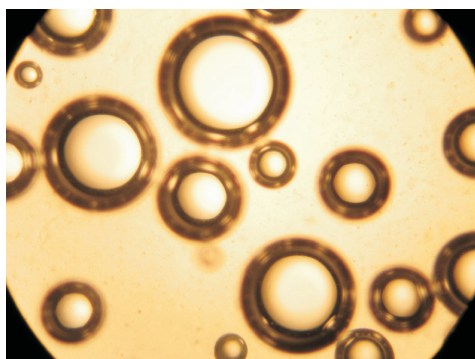
175 godz. (tablica 1, poz. 3, fotografia 4). Dla porównania płuczka z dodatkiem 0,1% środka powierzchniowo czynnego RL zawierała ok. 4% pęcherzyków powietrza, których połowiczny czas rozpadu wynosił ok. 7 godz. (tablica 1, poz. 1).

W kolejnym etapie przeprowadzano badania nad zwiększeniem stabilności afronów wygenerowanych w płuczках wiertniczych. Przeprowadzone badania wykazały, że zwiększenie trwałości afronów w płuczce jest możliwe poprzez wprowadzenie do płuczki APV ze środkiem powierzchniowo czynnym K30. Dodatek ww. mieszaniny stabilizującej wpływa na zwiększenie połowicznego czasu trwałości afronów z 250 godz. do ponad 500 godz. (tablica 1, poz. 4). Mieszanina stabilizująca afrony (APV + K30) powoduje zwiększenie trwałości powłoki ochronnej wy-

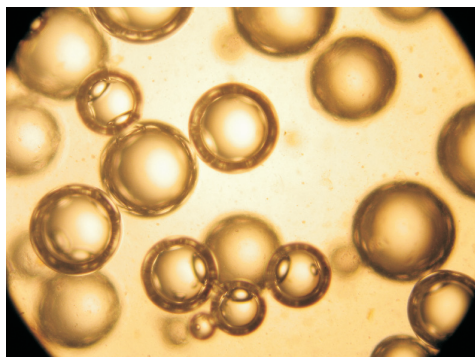


tworzonej wokół afronów i zmniejszenie ich rozmiarów do ok. 170÷180 µm (fotografia 5).

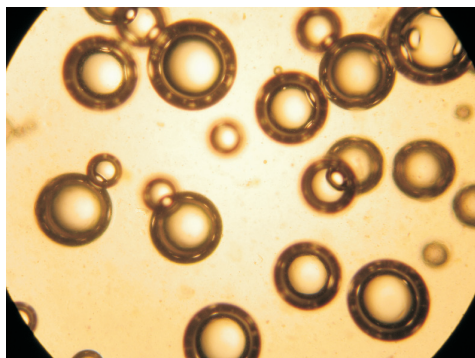
Bardzo ważnym czynnikiem decydującym o trwałości afronów w płuczce wiertniczej jest także lepkość płuczki przy niskich szybkościach ścinania LSRV. Uwzględniając wyniki badań, ustalono, że zwiększenie lepkości roztworu przy niskich szybkościach ścinania wpływa na zwiększenie stabilności afronów w płuczce. Szczególnie zalecanymi środkami do zwiększania lepkości LSRV są biopolimery produkowane przez działanie bakterii, grzybów lub innych



Fot. 3. Obraz mikroskopowy płuczki zawierającej mieszaninę do generowania afronów A przy powiększeniu 100-krotnym



Fot. 4. Obraz mikroskopowy płuczki zawierającej mieszaninę do generowania afronów B przy powiększeniu 100-krotnym



Fot. 5. Obraz mikroskopowy płuczki zawierającej mieszaninę do generowania afronów A i mieszaninę stabilizującą przy powiększeniu 100-krotnym

drobnoustrojów. Optymalne stężenie polimeru w celu podniesienia wartości lepkości przy niskich szybkościach ścinania LSRV może być określone przez badania laboratoryjne. W przedstawionych badaniach do płuczek stosowano biopolimer z grupy polisacharydów, wytwarzany przez działanie bakterii *Xanthomonas Compestris* XCD. Przy zastosowaniu 1,2% biopolimeru XCD możliwe jest uzyskanie wartości lepkości LSRV ok. 165.000 mPas. Dodatek biopolimeru wpływa na zwiększenie lepkości powłoki ochronnej wokół afronów, co zabezpiecza pęcherzyki powietrza przed koalescencją, zwiększając tym samym ich stabilność w czasie. Na podstawie otrzymanych wyników ustalono, że minimalne stężenie biopolimeru do nadania płuczce żądanej lepkości przy niskich szybkościach ścinania LSRV powinno wynosić od 7 kg/m<sup>3</sup> do ok. 12 kg/m<sup>3</sup>.

Płuczki zawierające afiony powinny posiadać pH w zakresie od ok. 7,0 do 11, korzystnie od 9 do 11. Wartość pH można regulować przez dodanie do płuczki zasady, takiej jak np.: KOH, NaOH, MgO, Ca(OH)<sub>2</sub> lub innej. Na podstawie przeprowadzonych badań zauważono, że dodatek tlenku magnezu oprócz zwiększenia wartości pH do 10,8 powoduje również wzrost lepkości LSRV do 108.000 mPas. Przeprowadzone badania potwierdzają, że afiony mogą być generowane zarówno w wodzie słodkiej lub zasolonej.

Woda może zawierać rozpuszczalne sole, takie jak: NaCl, KCl czy K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Jedynym ograniczeniem jest dobór polimerów, które mogą dyspergować w zasolonych roztworach.



Podsumowując, płuczka wiertnicza zawierająca afiony łączy wykorzystanie polimerów, nadających płuczce wysokie wartości lepkości przy niskich szybkościach ścinania LSRV, ze środkami powierzchniowo czynnymi w celu utworzenia afronów. Tylko tak zaprojektowany skład płuczki może być stabilny na działanie czynników zewnętrznych.

#### **Określenie właściwości uszczelniających płuczki zawierającej afiony**

Afiony w płuczce wiertniczej spełniają rolę materiału uszczelniającego. Jak w przypadku każdego materiału uszczelniającego, najważniejszą cechą jest ich zdolność do uszczelniania stref zaniku poprzez odpowiedni dobór rozmiaru i zawartości mikropęcherzyków powietrza. W tabelicy 2 i na fot. 6, 7 przedstawiono wyniki badań nad określeniem właściwości uszczelniających płuczki zawierającej afiony oraz płuczki potasowo-polimerowej. Badania przeprowadzono na złożu o granulacji od 0,5 do 1 mm.

Na podstawie tych badań określano efektywność blokowania porów skały przez wytworzone w płuczce afiony. Efektywność blokowania porów skały oznaczano na

Tablica 2. Inwazja płuczki w złożo w zależności od rodzaju zastosowanej płuczki wiertniczej

Inwazja płuczki w złożo o uziarnieniu $0,5\div 1$ mm	
	
Fot. 6. Płuczka zawierająca afrony	Fot. 7. Płuczka potasowo-polimerowa
Inwazja płuczki w złożo – 2 cm	Inwazja płuczki w złożo – całkowita
Filtracja przez złożo – $0\text{ cm}^3/30\text{ min}$	Filtracja przez złożo – $150\text{ cm}^3/30\text{ min}$

podstawie ilości wypływającej płuczki po czasie 30 min pod ciśnieniem  $0,7\text{ MPa}$ . Przedstawiona płuczka do badań zawierała ok. 15% obj. afronów o rozmiarach rzędu od 10 do  $300\ \mu\text{m}$  (przybliżone rozmiary afronów określono za pomocą metody mikroskopowej). Badania filtracji przez złożo potwierdziły skuteczność afronów w blokowaniu porów i szczelin skały. Inwazja płuczki w złożo wynosiła ok.  $2\text{ cm}^3$ , a filtracja została ograniczona do zera. Dla porównania – filtracja płuczki potasowo-polimerowej wyniosła ok.  $150\text{ cm}^3$ . W czasie przepływu afrony zawarte w płuczce gromadzą się na granicy ze złożem, zmniejszając prędkość przepływu za nimi, zwłaszcza w pierwszych etapach inwazji cieczy, kiedy lepkość cieczy jest najniższa i gradient ciśnienia jest najwyższy. Płuczki wiertnicze zawierające



Fot. 8. Płuczka zawierająca afrony na powierzchni rdzenia piaskowca

afrony są w stanie kontrolować inwazję w przepuszczalne i spękanne formacje skalne głównie ze względu na ich charakterystyczny profil lepkościowy, wspomagany przez mikropęcherzyki powietrza (fotografia 8).

#### **Badania odporności płuczki zawierającej afrony na działanie podwyższonej temperatury**

Kolejne badania dotyczyły określenia odporności afronów zawartych w płuczce na działanie podwyższonej temperatury. Płuczki wygrzewano w autoklawach w temp.  $100^\circ\text{C}$  przez okres 24 godz. Po ochłodzeniu płuczek do temperatury otoczenia określano ich właściwości (tablica 3).

Przeprowadzone badania wpływu temperatury na trwałość afronów wykazały, że obniżenie parametrów reologicznych płuczki w wyniku działania temperatury powoduje spadek zawartości afronów z wartości 15,9 do ok. 14% oraz obniżenie jej stabilności, czas połowicznego rozpadu afronów wyniósł 179 godz. (tablica 3, poz. 1 i 2). W płuczce potasowo-polimerowej z dodatkiem środka powierzchniowo czynnego, w wyniku działania temperatury, zawartość pęcherzyków powietrza zmniejszyła się z wartości 4,3 do 0,9%, a połowiczny czas trwałości pęcherzyków powietrza wyniósł ok. 10 godz. Na powyższym przykładzie można zauważyć różnice w odporności afronów na działanie temperatury w porównaniu do konwencjonalnych pęcherzyków powietrza zawartych w płuczce spienionej za pomocą pojedynczego surfaktanta (tablica 3, poz. 3 i 4).

Tablica 3. Wpływ podwyższonej temperatury na właściwości płuczki zawierającej afiony oraz płuczki potasowo-polimerowej z dodatkiem środka powierzchniowo czynnego

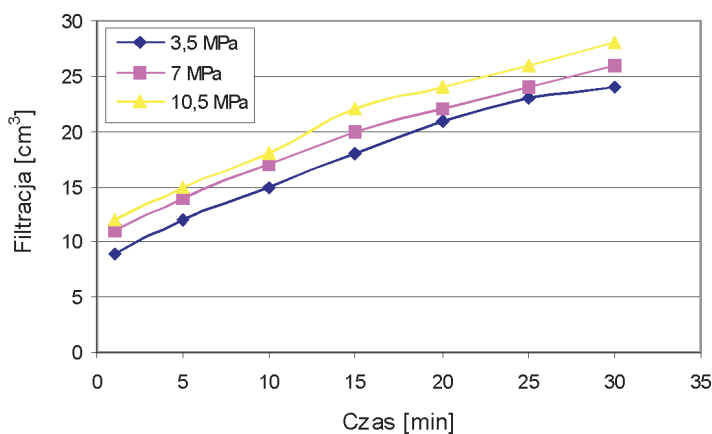
Nr płuczki	Skład płuczki [%]		Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	Lepkość [MPa·s]		Granica płynięcia [Ibl/100 ft <sup>2</sup> ]	Wytrzymał. struktural. [Ibl/100 ft <sup>2</sup> ]	Lepkość LSRV [Ibl/100 ft <sup>2</sup> ]	Zawartość afionów w płuczce [%]	Połowiczny czas rozpadu afionów [h]	pH
			$\rho$	$\eta_{pl}$	$\eta_s$	$\tau_y$	I/II				
1	Biostat Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> XCD CMC LV Skrobia modyfikowana MgO KCl Mieszanka generująca Mieszanka stabilizująca	0,1 0,8 1,0 1,0 0,3 0,5 5,0 0,3 0,15	870	32	68	72	28/29	97000	15,9	179	10,8
2	Płuczka 1 + temp. 100°C		890	28	62	68	32/34	120000	14		10,0
3	Biostat Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> XCD CMC LV Skrobia modyfikowana MgO KCl RL	0,1 0,8 1,0 1,0 0,3 0,5 5,0 0,1	990	25	57	64	27/28	85000	4,3	10,5	10,8
4	Płuczka 3 + temp. 100°C		1030	17	46,5	59	28/30	108000	0,9		9,9

**Badania odporności płuczki zawierającej afiony na działanie podwyższonego ciśnienia**

Do określenia wpływu działania podwyższonego ciśnienia na afiony zawarte w płuczce przeprowadzono badania filtracji płuczki przez dysk ceramiczny o przepuszczalności 775 mD przy zmiennych ciśnieniach, tj. 3,5, 7 i 10,5 MPa (rysunek 3 i 4).

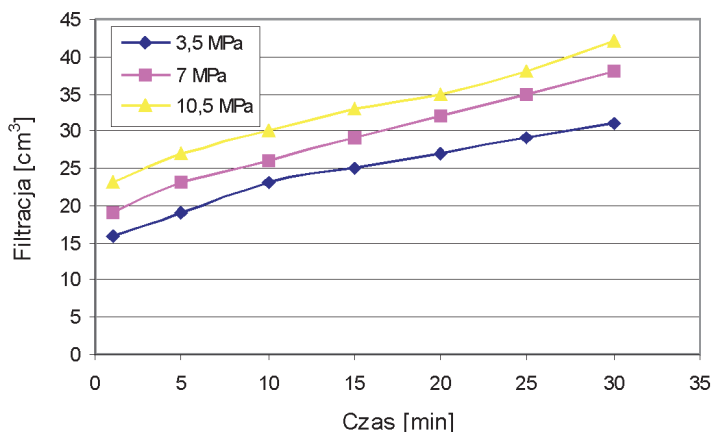
Afiony różnią się od konwencjonalnych pęcherzyków powietrza głównie większą odpornością na działanie ciśnienia. Tradycyjne pęcherzyki powietrza zawarte w płuczce przy ciśnieniu 3,5 MPa ulegają całkowitemu rozkładowi, świadczyć może o tym filtracja płuczki ok. 31 cm<sup>3</sup>, która jest znacznie większa niż płuczki zawierającej afiony. Zwiększenie ciśnienia do 7 MPa wpływa na dalszy wzrost filtracji do ok. 38 cm<sup>3</sup>, a kolejna zmiana ciśnienia do 10,5 MPa powoduje wzrost filtracji do ok. 42 cm<sup>3</sup> (rysunek 4). Filtracja płuczki zawierającej afiony przebiega znacznie wolniej, przy ciśnieniu 3,5 MPa filtracja wynosi ok. 24 cm<sup>3</sup>, a przy ciśnieniu 7,5 MPa wzrosła do ok. 26 cm<sup>3</sup> (rysunek 3). Afiony zawarte w płuczce zmniejszają filtrację płuczki poprzez tworzenia elastycznego uszczelnienia.

Zawartość afionów ma niewielki wpływ na rzeczywistą gęstość płuczki w warunkach ciśnienia. Rzeczywista objętość afionów w warunkach wgłębnych umożliwia utrzymanie stabilnego i przewidywalnego ciśnienia hydrostatycznego w otworze. Rozpuszczalność gazów w cieczach jest w przybliżeniu proporcjonalna do ciśnienia. Gdy ciecz przy ciśnieniu atmosferycznym zawiera 15%



Rys. 3. Wpływ zmiany ciśnienia na wartość filtracji płuczki zawierającej afiony

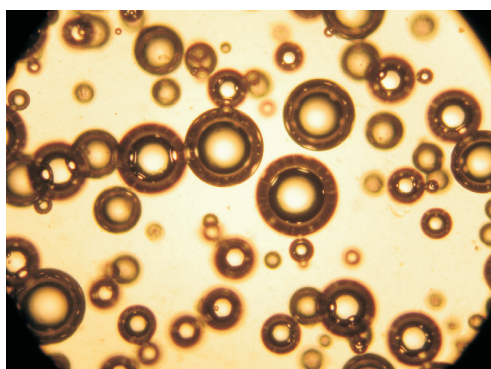




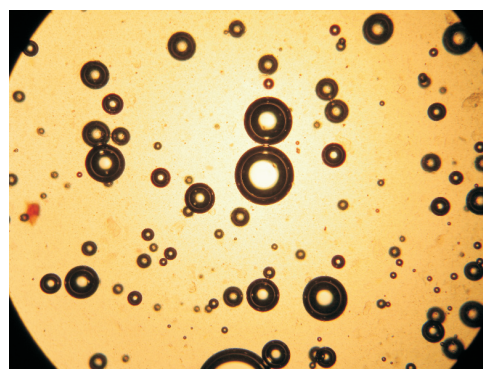
Rys. 4. Wpływ zmiany ciśnienia na wartość filtracji płuczki potasowo-polimerowej z dodatkiem środka powierzchniowo czynnego

obj. pęcherzyków powietrza, to zaledwie przy ciśnieniu 1,7 MPa ulegnie kompresji, a następnie całkowitemu rozpuszczeniu w roztworze. Jeżeli membrana stabilizacji otaczająca pęcherzyk powietrza jest przepuszczalna, gaz będzie dyfundował z pęcherzyka i przechodził do roztworu. W przypadku zwykłych pęcherzyków powietrza następuje

to w ciągu kilku sekund po kompresji. Afiony posiadają znacznie mniej przepuszczalną membranę, więc nie tracą powietrza tak szybko. W wyniku działania ciśnienia ilość afionów w płuczce ulega zmniejszeniu oraz zmniejszają się ich rozmiary, ale w dalszym ciągu zachowują gaz (fotografia 9 i 10). Szybkość dyfuzji azotu z tradycyjnych pęcherzyków powietrza pod ciśnieniem jest proporcjonalna do ich wielkości. Kiedy afiony stają się mniejsze niż około 50  $\mu\text{m}$ , są mniej stabilne, a przy średnicy od 25 do 35  $\mu\text{m}$  szybko tracą azot, który ulega rozpuszczeniu. Gwałtowne zmiany ciśnienia wydają się mieć mniejszy wpływ na stabilność afionów niż powolne jego zmiany. Afiony zawarte w płuczki w warunkach otworowych początkowo ulegają zmniejszeniu, a następnie wraz ze wzrostem czasu i ciśnienia, tracą coraz więcej gazu przez dyfuzję do roztworu. Jeśli afiony osiągną strefę zaniku stosunkowo szybko, to przetrwają one działanie ciśnienia. Jeżeli natomiast czas pompowania do strefy zaniku będzie znacznie dłuższy, to afiony mogą nie przetrwać działania ciśnienia i nie zablokować strefy zaniku [2, 3, 6, 10].



Fot. 9. Obraz mikroskopowy płuczki zawierającej afiony przed działaniem ciśnienia przy powiększeniu 100-krotnym



Fot. 10. Obraz mikroskopowy płuczki zawierającej afiony po działaniu ciśnienia 3,5 MPa przy powiększeniu 100-krotnym

### Podsumowanie

1. Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych opracowano zestaw środków powierzchniowo czynnych, które mogą być stosowane do generowania afionów (mikropęcherzyków powietrza) w płuczkiach wiertniczych.
2. Określono optymalne ilości środków powierzchniowo czynnych do generowania afionów oraz ustalono, że do zapewnienia odpowiedniej stabilności układu lepkości płuczki przy niskich szybkościach ścinania LSRV powinna wynosić powyżej 50.000 mPas, obniżenie
3. W wyniku kompleksowych badań laboratoryjnych opracowano skład płuczki do przewiercania warstw przepuszczalnych o niskim ciśnieniu złożowym zawierający od 11 do 18% obj. afionów, o średnich rozmiarach od 10 do 250  $\mu\text{m}$  i o połowicznym czasie rozpadu od 250 do 500 godz.
4. Opracowane płuczki charakteryzują się znacznie wyższymi wartościami lepkości, przy niskich szybkościach



ścinania LSRV, niż tradycyjne płuczki oraz obniżoną gęstością, ponadto nie tworzą mocnych żeli.

5. Badania określające stopień inwazji opracowanej płuczki wykazały, że afrony zawarte w płuczce mogą skutecznie uszczelniać pory i szczelin skał, ograniczając tym samym inwazję płuczki w złożu.
6. Na podstawie analizy uzyskanych wyników można

stwierdzić, iż opracowane płuczki charakteryzują się dobrymi właściwościami inhibitacyjnymi. Wysokie wartości lepkości przy niskich szybkościach ścinania LSRV oraz zawartość afronów w płuczce wpływają na zwiększenie odzysku dyspergowanego łupku mioceńskiego. Średnie ilości odzysku łupku mioceńskiego wynosiły  $P_1 = 94\%$ ,  $P_2 = 40$ .

## Literatura

- [1] Belkin A., O'Connor I.R., Fosdick T., Growcock F.B.: *How aphron drilling fluids*. SPE 96145, 2005.
- [2] Brookey – *Aphron-containing aqueous well drilling and servicing fluids*. Patent 6770601. USA, August 2004.
- [3] Growcock F. Simon G.A., Guzman J., Paiuk B.: *Applications of novel aphron drilling fluids*. AADE-04-DF-HO-18. Houston 2004.
- [4] Growcock F., Belkin A., Irving M., O'Connor B.: *Recent advances in aphron drilling-fluid technology*. „SPE Drilling & Completion”, June 2007.
- [5] Growcock F., Belkin B.A., Fosdick M., O'Connor I.B., Brookey T.: *Recent advances in aphron drilling fluids*. IADC/SPE 97982, 2006.
- [6] Growcock F.: *Enhanced wellbore stabilization and reservoir productivity with aphron drilling fluid technology*. FINAL REPORT, 2003–2005.
- [7] Hoff T., O'Connor R., Growcock F.: *Drilling fluid selection to minimize formation invasion – a new test method*. AADE-05-NTCE-73. Houston 2005.
- [8] Huelke R., Rea A.: *Aphrons Technology – A workover solution*. Zadar 2003.
- [9] MacPhail, W.F., Cooper R.C., Brookey T.: *Adopting aphron fluid technology for completion and workover applications*. SPE 112439, 2008.
- [10] Nediljka Gaurina-Medimurec, Borivoje Pašić: *Aphron-based drilling fluids: solution for low pressure reservoirs*. „Rudarsko-geološko-naftni zbornik”, vol. 21, s. 65–72, Zagreb 2009.
- [11] Oyatomari C., Orellán S., Alvarez R., Bojani R.: *Application of drilling fluid system based on air microbubbles as an alternative to underbalance drilling technique in reservoir B-6-X.10* – Tia Juana, Lake Maracaibo, International Association of Drilling Contractors. Madrid.
- [12] Sanders M., Young S. and Friedheim J.: *Development and testing of novel additives for improved wellbore stability and reduced losses*. AADE-08-DF-HO-19. Houston 2008.



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.