

Sławomir Błaż

Instytut Nafty i Gazu, Oddział Krosno

Nowa generacja płuczek do przewiercania reaktywnych skał ilastych

Wprowadzenie

Wiercenie otworów w rejonach gdzie występują duże kompleksy wysoce reaktywnych skał ilasto-łupkowych połączone jest ze znacznymi trudnościami – ich przyczyną jest hydratacja, pęcznienie i dyspersja skał ilasto-łupkowych, co w konsekwencji prowadzi do utraty stateczności ściany otworu wiertniczego – objawiającej się sypaniem skał, kawernowaniem lub zaciskaniem otworu. Taki stan techniczny otworu jest przyczyną wielu awarii wiertniczych i wymaga stosowania płuczek o szczególnych właściwościach inhibitujących. Najlepsze właściwości inhibitujące wykazują płuczki olejowo-dyspersyjne, jednak są one drogie w eksploatacji i rzadko stosowane. W praktyce często stosowane są płuczki o podwójnym systemie inhibicji, np. płuczki potasowo-polimerowe oraz płuczki glikolowo-potasowe.

Występujące w niektórych rejonach wierceń skały ilaste, szczególnie wrażliwe na działanie wody, wymagają stosowania płuczek, które w większym stopniu niż wyżej wymienione płuczki będą ograniczać wielkość i tempo ich hydratacji. Działaniem takim charakteryzują się płuczki z dodatkiem polimerów kationowych. W literaturze płuczki te określane są jako uniwersalne płuczki o wysokim stopniu

inhibicji – HPWBM (*High Performance Water Based Mud*). Podstawowymi składnikami tych płuczek są dwa polimery, tj. polimer kationowy wielkocząsteczkowy – służący do kapsułowania ścian otworu wiertniczego, który adsorbując się na powierzchni skał tworzy membranę (film) ograniczającą przenikanie wody w formacie skalne oraz polimer kationowy małowcząsteczkowy – zmniejszający pęcznienie i energię hydratacji osmotycznej reaktywnych skał ilastych. Płuczki te ponadto charakteryzują się dobrymi właściwościami smarnymi, wykazują dużą odporność na skażenie fazą stałą i przeciwdziałają dyspergowaniu zwiercin oraz oblepianiu świdra.

Z uwagi na dostępność nowych rodzajów polimerów kationowych podjęto próbę opracowania specjalnego rodzaju płuczki do przewiercania reaktywnych skał ilastych, o właściwościach zbliżonych do płuczek określanych jako HPWBM. W niniejszym artykule przedstawione zostały wyniki badań laboratoryjnych nad doбором nowych rodzajów inhibitorów hydratacji powierzchniowej i osmotycznej skał ilastych oraz możliwości zastosowania tych środków w składach płuczek wiertniczych.

Metodyka badań

Przy opracowaniu nowego rodzaju płuczki wiertniczej do przewiercania reaktywnych skał ilastych, badania laboratoryjne prowadzone były pod kątem doboru odpowiednich środków chemicznych – zapobiegających hydratacji i pęcznieniu skał ilastych. Do badań wpływu płuczek na skały ilaste zastosowano łupek mioceński, charakteryzujący się dużymi właściwościami dyspersyjnymi i pęczniewnymi. W pierwszym etapie badań sprawdzone zostały

podstawowe właściwości wodnych roztworów polimerów kationowych, określono ich właściwości reologiczne, interakcje z roztworem bentonitu oraz wykonane zostały wstępne badania dyspersji łupka mioceńskiego.

Dobór inhibitora hydratacji prowadzono w oparciu o badanie dyspersji skały ilasto-łupkowej, które jest podstawową metodą oceny skuteczności inhibitującego działania płuczek wiertniczych lub roztworów inhibitorów.

Natomiast dobór inhibitora zapobiegającego hydratacji osmotycznej prowadzono w oparciu o wyniki badań pęcznienia wykonane za pomocą „liniowego” miernika pęcznienia (*Linear Swell Meter*) firmy FANN oraz o test inhibicji bentonitu. Test ten określa skuteczność działania inhibitorów pęcznienia i dyspersji. Bentonit, który w wodzie ulega silnemu pęcznieniu i powoduje wzrost parametrów reologicznych roztworu, w obecności dodatku elektrolitów lub polimerów wykazuje ograniczone pęcznienie. Dodatkowym badaniem sprawdzającym skuteczność działania inhibitora zapobiegającego pęcznieniu i dyspergowaniu skał ilastych był test określający przyrost objętości zawiesiny bentonitu przy zmieszaniu go z roztworem polimeru. Następnie przeprowadzono badania kompatybilności wytypowanych polimerów kationowych z anionowymi składnikami płuczek wiertniczych. Więk-

szość polimerów kationowych wielkocząsteczkowych zapobiegających hydratacji skał ilastych wchodzi w reakcje z pozostałymi środkami płuczkowymi. Badania polegały na stworzeniu i określeniu warunków dla właściwego działania polimeru kationowego w składzie płuczki wiertniczej. Na podstawie przeprowadzonych testów i badań dokonano wyboru polimerów kationowych, które można zastosować w składach płuczek wiertniczych oraz ich odpowiedniego środowiska pracy.

Badania opracowanych płuczek prowadzono równolegle z płuczką potasowo-polimerową, glikolowo-potasową i krzemianowo-potasową. Płuczki poddawano działaniu skażeń chemicznych i temperatury, określono ich właściwości pęczniące, dyspersyjne i smarne. Sprawdzone także odporność płuczek na działanie podwyższonej temperatury i skażenie zwiercinami.

Dobór nowych rodzajów inhibitorów hydratacji skał ilastych

Działanie polimerów kationowych na skały silnie reagujące na wodę przedstawiono na przykładzie zawiesiny bentonitu, którą dodawano do sporządzonych roztworów polimerów kationowych. Na cząsteczkach bentonitu wprowadzonego do roztworu polimeru adsorbuje się warstwa polimeru, która redukuje ujemny ładunek cząsteczki bentonitu. Związki kationowe wiążą się z ujemnie naładowanymi, płaskimi powierzchniami podstawowymi blaszek siłami elektrostatycznymi, powodując wytworzenie warstwy osłaniającej bentonit przed destrukcyjnym działaniem wody. Silne oddziaływanie polimeru kationowego na skałę ilastą spowodowane jest wiązaniem jonowym typu przyciągania elektrostatycznego, które występuje pomiędzy dodatnio naładowanymi (kationowymi) grupami funkcyjnymi polielektrolitu, a ujemnie naładowaną powierzchnią cząstek iłu – powodując ich neutralizację. Konsekwencją tych zjawisk jest utworzenie na cząsteczkach iłu stosunkowo cienkiej i trwałej polimerowej warstwy ochronnej o właściwościach hydrofobowych, ekranującej aktywne centra na powierzchni – nie dopuszczając do migracji wody do iłu. Duża zdolność adsorbowania się długich, elastycznych łańcuchów polimeru kationowego na powierzchni cząstek iłu możliwa jest dzięki temu, że ponad 90% ich powierzchni posiada ładunki ujemne. Z uwagi na dużą masę cząsteczkową i strukturę długłańcuchową, polimer adsorbowany jest tylko na zewnętrznych powierzchniach pakietów minerałów ilastych. Fizykochemiczne oddziaływanie polielektrolitu kationowego na przewiercane skały ilasto-łupkowe pozwala znacznie ograniczyć działanie sił hydratacji powierzchniowej, które często prowadzą do

utrąty stateczności skał na skutek kawernowania, a także ich erozji przez płuczkę wiertniczą (fotografia 1). Roztwory polimerów kationowych wielkocząsteczkowych odznaczają się także wyższymi właściwościami reologicznymi. Można również zauważyć, iż ten rodzaj polimerów wykazuje bardzo dobre właściwości flokulacyjne w stosunku do bentonitu, w związku z czym stosowanie ich w składach płuczek wiertniczych wymaga stworzenia odpowiedniego środowiska kompatybilności z pozostałymi komponentami płuczkowymi, głównie anionowymi.

Inny charakter w stosunku do bentonitu wykazują polimery o mniejszej masie cząsteczkowej (fotografia 2). Bentonit w roztworze polimerowym ulega rozproszeniu na niewielkie cząsteczki, które nie wykazują zdolności do zwiększania objętości, co jest bardzo korzystne z uwagi na zjawisko pęcznienia skał ilastych. Polimer kationowy małowcząsteczkowy oddziałując na przestrzenie międzypakietowe zapobiega przede wszystkim pęcznieniu skały ilastej – poprzez obniżenie pęcznienia międzykryształicznego (osmotycznego) oraz ograniczenie zdolności adsorbowania wody przez powierzchnie pakietów. Istotnym czynnikiem mającym wpływ na zmiany objętości skały ilastej jest zmniejszanie odległości między pakietami. Na podstawie tego wstępnego badania można określić, które polimery będą zabezpieczać skały ilaste przed hydratacją powierzchniową, a które przed hydratacją osmotyczną, przeciwdziałając dyspergowaniu i pęcznieniu skał ilastych.

W tablicy 1a i 1b przedstawiono właściwości dyspersyjne łupka mioceńskiego w badanych roztworach polimerów. Otrzymane wartości dyspersji tego łupka różnią się w za-



Fot. 1. Interakcje polimeru kationowego o działaniu przeciwyhydratacyjnym z roztworem bentonitu



Fot. 2. Interakcje polimeru kationowego o działaniu przeciwpęczniącym z roztworem bentonitu

Tablica 1. Wartości odzysku łupka mioceńskiego dyspergowanego w roztworach wodnych polimerów kationowych

a)

| Lp. | Rodzaj i stężenia środka [%] | Dyspersja [%] | | |
|-----|------------------------------|---------------|-------|----|
| | | P_1 | P_2 | |
| 1. | Z 7557 | 0,1 | 70 | 38 |
| 2. | Z 8160 | | 92 | 8 |
| 3. | LK 190 | | 76 | 16 |
| 4. | PK 690 | | 94 | 6 |
| 5. | PK 770 | | 60 | 22 |
| 6. | VP 583R | | 74 | 28 |
| 7. | VP 587 | | 90 | 10 |
| 8. | VP 590R | | 82 | 6 |
| 9. | Up | | 6 | 4 |
| 10. | CS | | 52 | 0 |
| 11. | CDRW 640 | | 94 | 4 |
| 12. | PQ | | 2 | 0 |

b)

| Lp. | Rodzaj i stężenia środka [%] | Dyspersja [%] | | |
|-----|------------------------------|---------------|-------|----|
| | | P_1 | P_2 | |
| 1. | TCL | 3,0 | 26 | 20 |
| 2. | KL | | 78 | 70 |
| 3. | Ub | | 28 | 26 |
| 4. | VMP | | 68 | 64 |
| 5. | VSH | | 76 | 70 |
| 6. | Lr VI | | 60 | 56 |

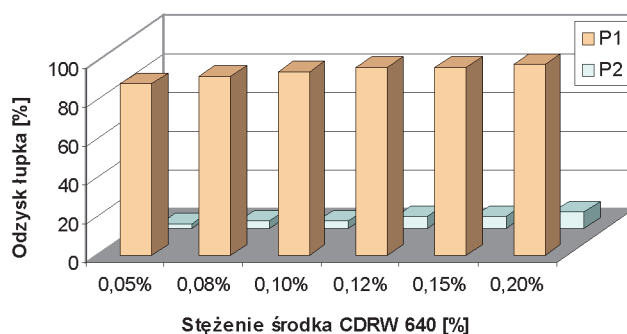
leżności od zastosowanych polimerów. Średnie wartości odzysku łupka mioceńskiego dyspergowanego w roztworach polimerów wielkocząsteczkowych (tablica 1a) wynoszą powyżej 90%, co świadczy o bardzo dobrym działaniu inhibitacyjnym. Jednakże polimery te nie za-

bezpieczają próbki skał ilastych przed hydratacją osmotyczną. Próbkę łupka mioceńskiego, po wstępnym oddziaływaniu roztworu polimeru ponownie dyspergowane w wodzie, ulegają prawie całkowitej destrukcji (tablica 1b). Odwrotnie zachowują się polimery o mniejszej masie cząsteczkowej, których wartości odzysku łupka mioceńskiego wynoszą od 26% (roztwór TCL) do ok. 78% (roztwór KL). Są to

wartości niższe niż odzyski łupka dyspergowanego w roztworach polimerów wielkocząsteczkowych, natomiast polimery te w bardzo dobrym stopniu zabezpieczają łupkę mioceńską przed hydratacją osmotyczną. Odzyski łupka po dyspergowaniu w wodzie P_2 są nieznacznie niższe od wartości P_1 (tablica 1b).

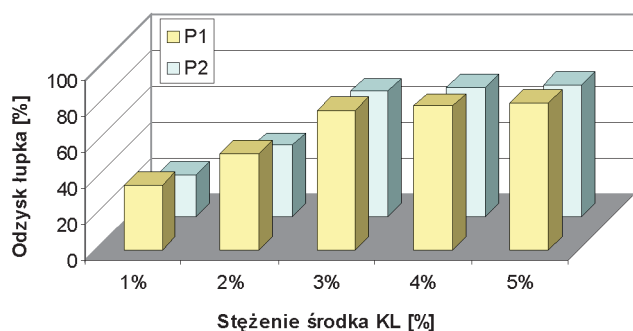
Na podstawie wstępnych badań dyspersji wybrano środki o działaniu przeciwdyspersyjnym oraz polimer zapobiegający hydratacji skał ilastych, a następnie przeprowadzono badania dyspersji dla ustalenia optymalnych ich stężeń oraz dla układów składających się z polimeru wielko- i małowielkościowego.

Na rysunku 1 przedstawiono wartości odzysku łupka mioceńskiego w zależności od stężenia polimeru CDRW 640. Wyniki dyspersji wskazują, że polimer CDRW 640 należy stosować w ilości ok. 0,1%, przy której odzyskało ok. 94% łupka mioceńskiego. Zwiększenie dodatku polimeru do 0,15% nie wpływa znacząco na zwiększenie odzysku łupka, którego ilość wynosiła wówczas 96%, a przy dodatku 0,2% – ok. 98%. Otrzymane wyniki dyspersji potwierdzają, że polimer kationowy spełnia funkcje polimeru kapsułującego, który w bardzo dobrym stopniu zabezpiecza skałę ilastą przed działaniem wody, natomiast nie ogranicza pęcznienia badanego łupka i jego dyspersji



Rys. 1. Średnie wartości odzysku łupka mioceńskiego w zależności od stężenia roztworu polimeru CDRW 640

w wodzie. Średnie wartości odzysku po dyspergowaniu w wodzie wynoszą od 2 do 6% – w zależności od stężenia środka.



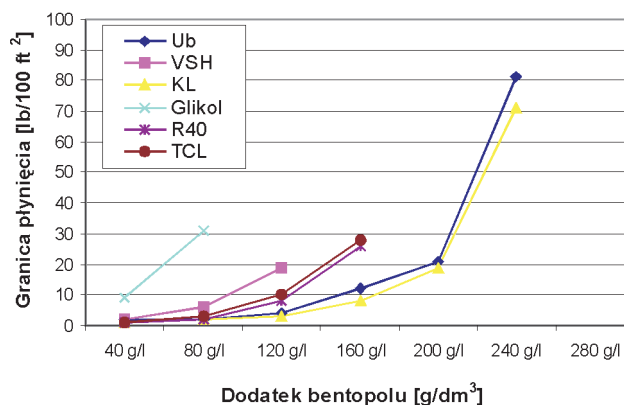
Rys. 2. Średnie wartości odzysku łupka mioczeńskiego w zależności od stężenia roztworu polimeru KL

Na rysunku 2 przedstawiono średnie wartości odzysku łupka mioczeńskiego w zależności od stężenia środka przeciwdziałającego hydratacji osmotycznej KL, wybranego na podstawie wstępnych badań dyspersji. Na podstawie analizy uzyskanych wyników można stwierdzić, że zdolność ograniczania hydratacji skał ilastych zależy od stężenia środków w roztworze; im stężenia wyższe, tym odzysk łupka większy. Zwiększanie koncentracji polimeru wpływa na poprawę właściwości inhibitacyjnych roztworów wodnych. Największe wartości odzysku łupka po dyspergowaniu otrzymano w 5-proc. roztworach KL ($P_1 = 82\%$, $P_2 = 74$), przy czym dodatek 3% zapewnia wystarczającą inhibicję łupka mioczeńskiego. Na podstawie otrzymanych wyników można zauważyć, iż dodatek środka KL wpływa na ograniczenie pęcznienia badanego łupka i jego dyspersji w wodzie. Średnie wartości odzysku łupka po dyspergowaniu w wodzie i po wstępnym oddziaływaniu roztworu wynoszą przy stężeniu 3% KL ok. 78%.

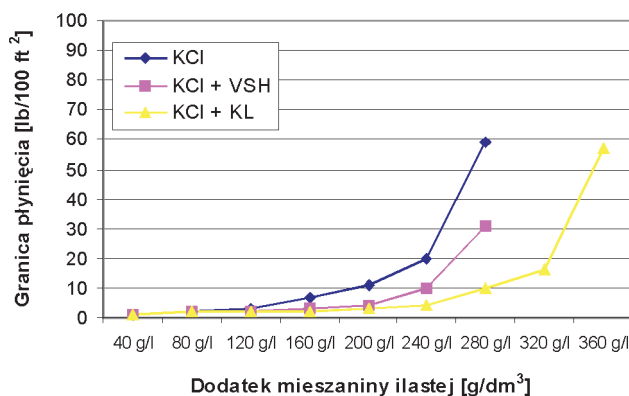
Polimery kationowe małowcząsteczkowe (tablica 1b) powinny zapobiegać pęcznieniu oraz ograniczać zdolności adsorbowania wody przez powierzchnie pakietów ilastych. Na rysunku 3 przedstawiono zależność granicy płynięcia roztworów polimerów kationowych od dodatku ilości bentonitu. Dla porównania przeprowadzono również badania inhibitora niejonowego Glikol oraz krzemianu potasowego R40. Bentonit w środowisku wodnym ulega silnemu pęcznieniu; istotnym czynnikiem mającym wpływ na zmiany objętości skały ilastej jest zmniejszanie odległości między pakietami i kationami na skutek działania sił kulombowskich. Dodatek inhibitorów kationowych zmniejsza adsorbowanie wody przez bentonit oraz jego pęcznienie – do chwili, gdy stężenie polimeru w roztworze spadnie poniżej pewnej granicznej wartości; wówczas

odległość pomiędzy pakietami w gwałtowny sposób ulega zwiększeniu i obserwuje tworzenie się niemierzalnej mieszaniny (żelu).

W celu określenia zapobiegania hydratacji osmotycznej wykonano test określający stopień inhibicji bentonitu w roztworach polimerów. Roztwór polimeru niejonowego Glikol już przy dodatku 80 g/dm^3 bentonitu staje się niemierzalny, 3% r-r VSH jest w stanie przyjąć ok. 120 g/dm^3 bentonitu, a roztwór szkła wodnego – ok. 160 g/dm^3 . Najlepszym działaniem zapobiegającym adsorbowaniu wody przez bentonit wykazał się roztwór KL oraz roztwór Ub. Granica płynięcia roztworu KL z dodatkiem 240 g/dm^3 bentonitu wynosi ok. 71 Ib/100 ft^2 , a roztworu Ub – ok. 81 Ib/100 ft^2 (rysunek 3).



Rys. 3. Wpływ dodatku bentopolu na granicę płynięcia wodnych roztworów polimerów



Rys. 4. Wpływ dodatku bentopolu na granicę płynięcia wodnych roztworów polimerów

Na rysunku 4 przedstawiono właściwości inhibitacyjne polimerów kationowych w układzie z inhibitorem jonowym KCl, wobec bentonitu. Dodatek bentonitu w ilości 280 g/dm^3 do roztworu (KCl–VSH) wpływa na zwiększenie granicy płynięcia do 31 Ib/100 ft^2 , by przy następnym dodatku 40 g/dm^3 stać się niemierzalnym. W podobny sposób

zachowuje się roztwór (KCl–KL), przy czym roztwór przy ilości 360 g/dm³ uzyskuje granicę płynięcia 57 lb/100 ft², a staje się niemierzalny dopiero przy dodatku 400 g/dm³. Każdy rodzaj polimeru posiada różne stężenie progowe, przy którym rozpoczyna się gwałtowne pęcznienie. O odległości między blaszkami i właściwościach zawieszin decydują głównie siły odpychania warstw podwójnych cząsteczek, zaś właściwości reologiczne zawieszin zależą od stopnia przyciągania elektrostatycznego krawędzi i ścian blaszek. Polimer kationowy małowcząsteczkowy oddziałując na przestrzenie międzypakietowe zapobiega przede wszystkim hydratacji osmotycznej oraz adsorbowaniu wody przez cząsteczki bentonitu.

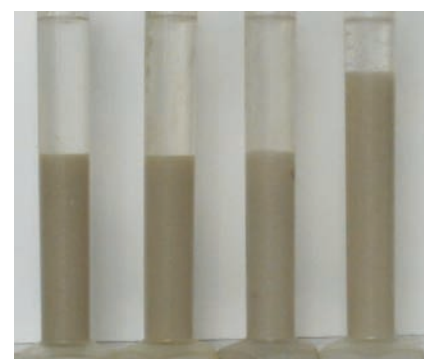
Na rysunku 5 przedstawiono wyniki badań pęcznienia łupka mioceńskiego przeprowadzone dla dwóch wybranych inhibitorów zapobiegających hydratacji osmotycznej skał ilastych, tj. KL, VSH oraz dla porównania z polimerem Ub, a także kombinacji tych środków z polimerem kapsułkującym – zapobiegającym hydratacji powierzchniowej skał ilastych.

Próbka zanurzona w 3-proc. roztworze KL wykazała największy stopień spęcznienia (32,0%). W wodzie zaobserwowano spęcznienie rzędu 27,8%, które było porównywalne z pęcznieniem rdzenia zanurzonego w roztworze VSH. Niższe spęcznienia otrzymano przy zastosowaniu roztworu Ub, które wynosiło 26,1%. W pierwszej fazie pęcznienia w roztworze KL zaobserwowano wydzielanie się bąbelków gazu, co może sugerować, że badany roz-

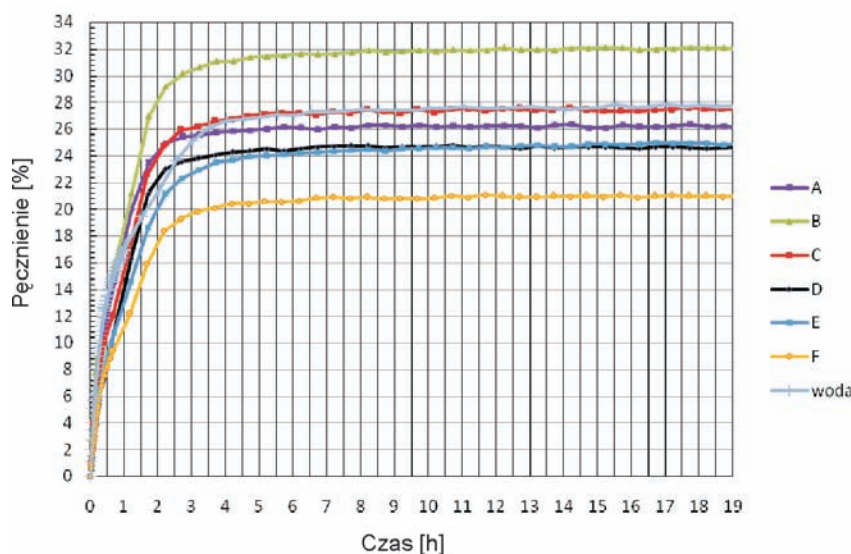
twór wchodził w reakcję ze skałą. Ponadto w przypadku roztworów polimerów kationowych zaobserwowano znaczący degradację próbki (obsypywanie), co w znaczący sposób wpływa na wyniki pomiarów. Dodatek polimeru kapsułkującego wpływa także na zmniejszenie pęcznienia próbki łupka mioceńskiego. Najniższe spęcznienie spośród badanych roztworów zaobserwowano dla próbki poddanej działaniu roztworu o składzie 3% VSH i 0,1% CDRW 640; stopień spęcznienia dla tej próbki wyniósł ok. 21%.

Dla potwierdzenia słuszności tezy o wyborze polimerów zapobiegających hydratacji osmotycznej przeprowadzono test zmieszania 50 cm³ 5-proc. zawiesiny bentonitu z 50 cm³ roztworu polimeru kationowego. Jak można zaobserwować na fotografii 1, w największym stopniu pęcznieniu uległ bentonit w 3-proc. roztworze Ub, zwiększając swoją objętość do ok. 70 cm³.

Objętość bentonitu w roztworze VSH zwiększyła się o ok. 1 cm³, a w roztworze KL – o ok. 2 cm³, co świadczy o bardzo dobrych właściwościach badanych środków zapobiegających adsorbowaniu wody przez bentonit (fotografia 3).



Fot. 3. Test inhibicji bentonitu w wodnych roztworach polimerów



| Roztwór A | Roztwór B | Roztwór C | Roztwór D | Roztwór E | Roztwór F |
|-----------|-----------|-----------|------------------|------------------------|-------------------------|
| 3% Ub | 3% KL | VSH | 3% Ub 0,1% Up | 3% KL 0,1% CDRW 640 | 3% VSH 0,1% CDRW 640 |

Rys. 5. Zależność pęcznienia łupka mioceńskiego od czasu, przy zastosowaniu różnych roztworów polimerów

Polimery kationowe wielkocząsteczkowe zapobiegające hydratacji skał ilastych mogą wchodzić w reakcje z pozostałymi składnikami płuczkowymi. Bentonit i baryt w wyniku działania polimeru kationowego ulegają flokulacji i sedymentacji, a polimery anionowe, na skutek neutralizacji ładunków elektrycznych – wytrąceniu z roztworu. Zatem stosowanie polimerów kationowych w składach płuczek wiertniczych wymagać będzie stworzenia odpowiedniego środowiska kompatybilności. Wytrącaniu polimerów z roztworu można zapobiegać przez dodanie elektrolitu, np. KCl lub NaCl, albo też odpowiednio dobranych polimerów niejonowych. Żądana dla zapewnienia kompatybilności układu koncentracja elektrolitu zależy od

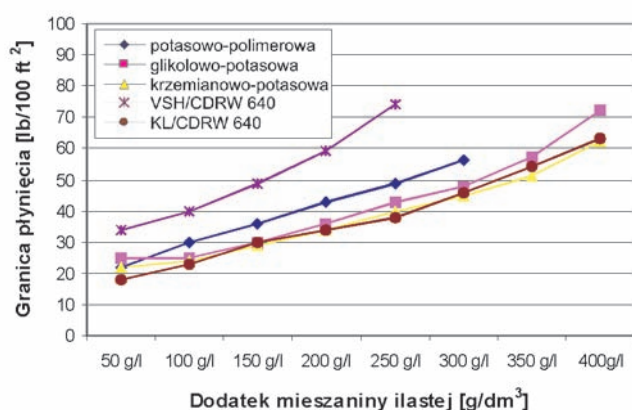
gęstości ładunku stosowanych polimerów i powinna być dobierana indywidualnie dla danego polimeru, na podstawie badań laboratoryjnych.

Zastosowanie nowych rodzajów inhibitorów hydratacji skał ilastych w składach płuczek wiertniczych

Na podstawie wyników badań doboru polimerów zapobiegających hydratacji i dyspersji skał ilastych wybrano polimery, które charakteryzowały się stosunkowo najlepszymi właściwościami inhibitacyjnymi, a następnie inhibitory te zastosowano w składach płuczek wiertniczych. Płuczki poddano badaniom i testom sprawdzającym. Określono właściwości inhibitacyjne płuczek, odporność na skażenie fazą stałą, jonami jedno- i dwuwartościowymi oraz na działanie podwyższonej temperatury.

Porównując właściwości nowo opracowanej płuczki z płuczką potasowo-polimerową, glikolowo-potasową i krzemianowo-potasową można stwierdzić, iż płuczki te charakteryzują się podobnymi właściwościami reologiczno-strukturalnymi.

Płuczki do przewiercania reaktywnych skał ilastych powinny charakteryzować się podwyższoną odpornością na skażenie fazą stałą. Skały ilasto-łupkowe przy kontakcie z wodą lub filtratem płuczkowym ulegają rozmakaniu i dyspersji, co prowadzi do powstania nadmiaru fazy stałej w płuczce wiertniczej – objawiającej się wzrostem parametrów reologicznych, pogorszeniem wskaźników hydraulicznych oraz tworzeniem na ścianie otworu grubego osadu filtracyjnego, a także zmniejszeniem postępu wiercenia.



Rys. 6. Wpływ dodatku mieszaniny ilastej na granicę płynięcia płuczek wiertniczych

Opracowane płuczki poddano skażeniu fazą stałą, składającą się ze zmielnego łupka mioceńskiego (charakteryzującego się silnymi właściwościami dyspersyjnymi) oraz bentonitu, który w wodzie ulega pęcznieniu. Tak skomponowaną fazą ilastą skażano płuczki – obserwując ich właściwości

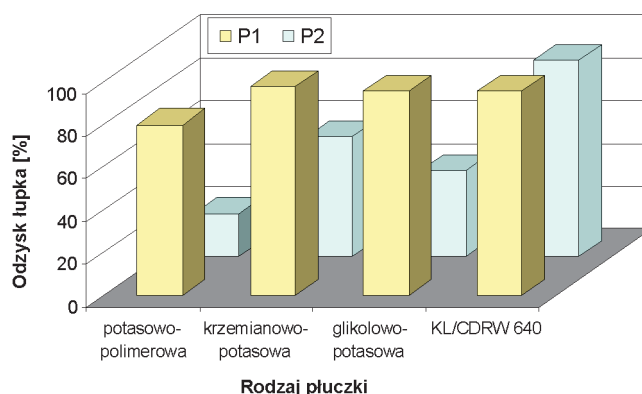
Na podstawie badań ustalono, że minimalna ilość NaCl, która zapewnia kompatybilność polimerów w roztworze to ok. 40 g/dm³, natomiast dla KCl wynosi ona ok. 50 g/dm³.

(głównie parametry reologiczne). Dla porównania przeprowadzono również skażenie płuczki potasowo-polimerowej, glikolowo-potasowej i krzemianowo-potasowej.

Skażanie badanych płuczek powoduje systematyczny wzrost parametrów reologiczno-strukturalnych. Płuczka potasowo-polimerowa przy dodatku 300 g/dm³ mieszaniny ilastej (imitującej zwierconą fazę stałą) uzyskuje granicę płynięcia 56 lb/100 ft² (rysunek 6), a przy kolejnym dodatku przestaje być mierzalna na wiskozymetrze. Podobną odpornością na skażenie fazą ilastą charakteryzowała się płuczka zawierająca polimer kationowy VSH (rysunek 6), przy czym płuczka przestała być płynna już przy dodatku 250 g/dm³ fazy ilastej.

Największą tolerancją na skażenie fazą ilastą wykazała się płuczka z dodatkiem inhibitora hydratacji osmotycznej KL. W skażonej płuczce można było zdyspergować ok. 400 g/dm³ mieszaniny ilastej. Dodatek takiej ilości fazy ilastej do płuczki spowodował wzrost jej granicy płynięcia z wartości 18 do 63 lb/100 ft², co może świadczyć o bardzo dobrej odporności badanej płuczki na skażenie fazą stałą. Należy również zaznaczyć bardzo dobrą odporność płuczek krzemianowo-potasowej i glikolowo-potasowej, które również zachowały płynność przy zdyspergowaniu 400 g/dm³ mieszaniny ilastej.

Przeprowadzona analiza dyspersyjna opracowanych płuczek wykazała bardzo dobrą inhibitację w stosunku do łupka mioceńskiego. Wartości odzysku skały ilastej wynosiły ok. 98%, natomiast po zdyspergowaniu w wodzie i po wstępnym oddziaływaniu płuczką – ok. 92%. Świadczy to

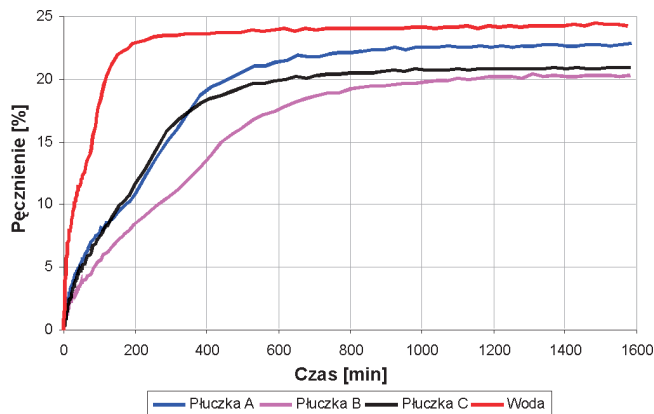


Rys. 7. Wartości odzysku łupka mioceńskiego dyspergowanego w płuczkach wiertniczych

o bardzo dobrym działaniu i współdziałaniu polimerów odpowiedzialnych za inhibicję hydratacji powierzchniowej i osmotycznej skały ilastej (rysunek 7). Płuczki glikolowo-potasowa i krzemianowo-potasowa również charakteryzują się bardzo dobrymi właściwościami inhibitacyjnymi, przy czym są to płuczki, które nie zabezpieczają skał ilastych (wrażliwych na wodę) przed działaniem hydratacji osmotycznej w takim stopniu jak płuczka nowo opracowana. W celu potwierdzenia właściwości inhibitacyjnych badanej płuczki przeprowadzono również test pęcznienia kostek wyciętych ze skały mioceńskiej. Przygotowane próbki skały ilastej umieszczano w płuczках na okres 48 godzin, a po upływie założonego czasu próbki wyciągano i określano ich stan. Kostki skały ilastej na skutek oddziaływania płuczek uległy częściowej destrukcji. Najmniejsze zmiany zaszły na kostce mioceńskiej zanurzonej w płuczce z dodatkiem inhibitora hydratacji osmotycznej KL (fotografia 7) oraz w płuczce krzemiano-potasowej (fotografia 6).

Wyniki badań pęcznienia dla opracowanej płuczki z dodatkiem inhibitora hydratacji osmotycznej KL i inhibitora hydratacji powierzchniowej CDRW 640 oraz – dla porównania – dla płuczki glikolowo-potasowej i krzemianowo-potasowej przedstawiono na rysunku 8.

Próbka łupka mioceńskiego poddana oddziaływaniu płuczki krzemianowo-potasowej wykazała stopień spęcznienia rzędu 22,7% i był on ok. 2% niższy niż w wodzie. Niższe spęcznienia otrzymano przy zastosowaniu płuczki glikolowo-potasowej (ok. 21%), a w najmniejszym stopniu spęczniała próbka łupku mioceńskiego poddana oddzia-

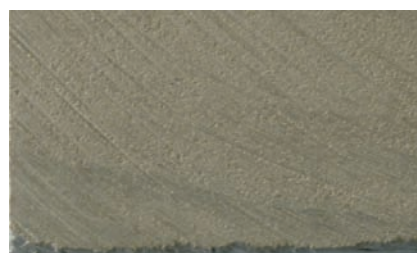
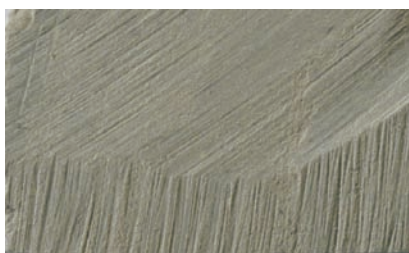
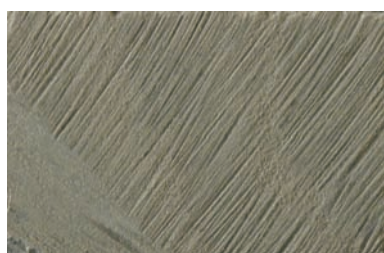


| Płuczka A | Płuczka B | Płuczka C |
|----------------------|-------------|--------------------|
| krzemianowo-potasowa | KL/CDRW 640 | glikolowo-potasowa |

Rys. 8. Wykres zależności pęcznienia łupka mioceńskiego od czasu, przy zastosowaniu różnych płuczek

ływaniu nowego rodzaju płuczki KL/CDRW 640, i było to spęcznienie rzędu 20%.

Opracowana płuczka została poddana skażeniu soli metali jedno- i dwuwartościowych. Płuczke najpierw skażano łem mioceńskim – imitującym zwierzyny, a następnie podzielono na dwie części. Do pierwszej wprowadzono NaCl w stężeniu do 25%, a do drugiej KCl w stężeniu do 35%, a następnie skażano je CaCl₂ i MgCl₂. Przeprowadzone badania wykazały, że opracowane płuczki charakteryzują się dobrą odpornością na zasolenie chlorkiem sodu. Parametry reologiczno-strukturalne po zasoleniu NaCl do 25% wzrastają w nieznacznym stopniu, natomiast obniżeniu



Fot. 4. Próbki skały ilastej przed oddziaływaniem płuczek wiertniczych



Fot. 5. Próbka skały ilastej po 48-godz. oddziaływaniu płuczki potasowo-polimerowej



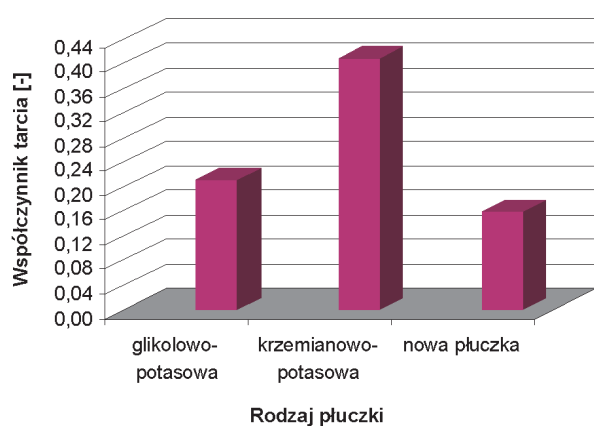
Fot. 6. Próbka skały ilastej po 48-godz. oddziaływaniu płuczki krzemianowo-potasowej



Fot. 7. Próbka skały ilastej po 48-godz. oddziaływaniu płuczki KL/CDRW 640

ulega filtracja i wartość pH. Pod wpływem skażeń solami wapnia i magnezu następuje obniżenie lepkości plastycznej i granicy płynięcia oraz niewielki wzrost filtracji.

Skażenie płuczek KCl do 35% wpływa na niewielkie obniżenie granicy płynięcia i wytrzymałości strukturalnych, a zwiększeniu ulega filtracja. Wprowadzenie soli metali dwuwartościowych (CaCl_2 , MgCl_2) nie powoduje wyraźnych zmian we właściwościach płuczek; obniżeniu ulega lepkość plastyczna płuczki – z wartości 32 do 28 mPa·s oraz filtracja płuczki – z wartości 6,4 do 4,0 cm^3 .



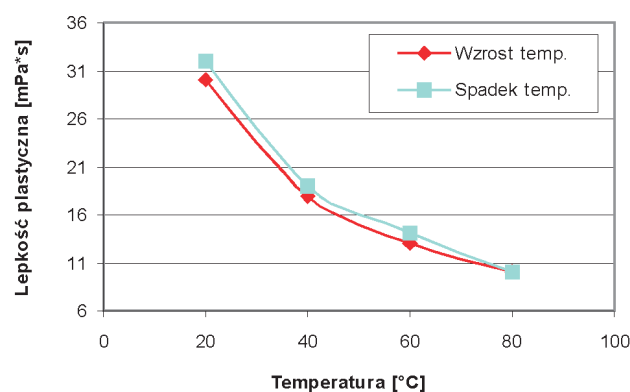
Rys. 9. Wartości współczynnika tarcia dla płuczki do przewiercania reaktywnych skał ilastych KL/CDRW 640 oraz (dla porównania) dla płuczek glikolowo-potasowej i krzemianowo-potasowej

Uzyskane wyniki potwierdzają wysoką odporność płuczek na skażenie jonami jedno- i dwuwartościowymi.

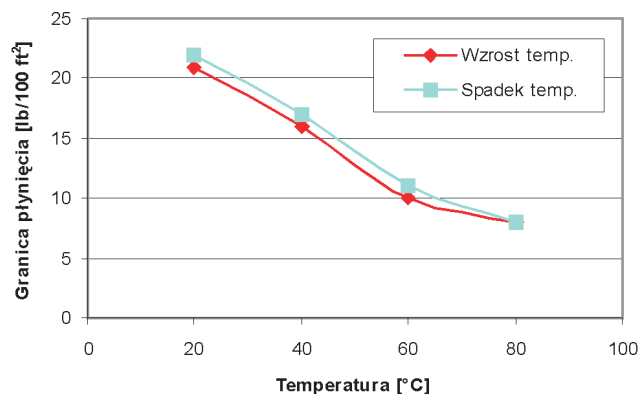
W następnej kolejności przeprowadzono badania nad określeniem właściwości smarnych opracowanej płuczki, porównując je do płuczki glikolowo-potasowej i krzemianowo-potasowej. Właściwości smarne płuczek określano przez pomiar współczynnika tarcia za pomocą Ep testera firmy FANN, przy małych ciśnieniach nacisku (5,56 MPa). Wyniki badań przedstawiono graficznie na rysunku 9. Na podstawie przeprowadzonego badania można stwierdzić, iż opracowana płuczka do przewiercania reaktywnych skał ilastych zawierająca w składzie polimery kationowe KL/CDRW 640 charakteryzuje się bardzo dobrymi właściwościami smarnymi; jej współczynnik tarcia wynosi 0,16 (dla porównania: w przypadku płuczki glikolowo-potasowej wynosi on 0,21, a krzemianowo-potasowej – 0,41).

Badania odporności termicznej opracowanej płuczki przeprowadzono w warunkach dynamicznych, z użyciem wysokotemperaturowego i wysokociśnieniowego wisko-

zometru Ofite 77. Badania przeprowadzono dla nowego rodzaju płuczki do przewiercania reaktywnych skał ilastych zawierającej polimery kationowe KL i CDRW 640. Płuczki podgrzewano do temperatury 80°C, a następnie schładzano do temperatury pokojowej, obserwując jej właściwości reologiczno-strukturalne w czasie cyklu podgrzewania i schładzania.



Rys. 10. Zmiany lepkości plastycznej płuczki w zależności od temperatury



Rys. 11. Zmiany granicy płynięcia płuczki w zależności od temperatury

Wyniki pomiarów przedstawiono graficznie na rysunkach 10 i 11, w formie zmian lepkości plastycznej i granicy płynięcia badanej płuczki od temperatury. Wraz ze wzrostem temperatury lepkość plastyczna i granica płynięcia płuczki ulegają obniżeniu, natomiast po całym cyklu pomiarowym i obniżeniu temperatury do warunków otoczenia następuje odbudowa parametrów lepkościowych płuczki – do wartości zbliżonych do parametrów wyjściowych. Histereza zmian lepkości plastycznej i granicy płynięcia jest niewielka, co świadczy o dobrej odporności opracowanej płuczki na działanie podwyższonej temperatury.

Wnioski

1. Przeprowadzone badania wykazały, że w celu przeciwdziałania hydratacji powierzchniowej należy stosować wielkocząsteczkowe polimery kationowe nie oddziaływujące na pozostałe składniki płuczki, natomiast zmniejszenie hydratacji osmotycznej wymaga użycia polimerów kationowych małowcząsteczkowych.
2. Na podstawie badań dyspersji skał ilastych wybrano polimer wielkocząsteczkowy CDRW 640, który w największym stopniu zabezpieczał skały ilaste przed hydratacją powierzchniową. Jako polimer zapobiegający pęcznieniu i dyspergowaniu skał ilastych najlepsze właściwości posiadał polimer KL.
3. W celu zastosowania wybranych polimerów i zapewnienia im właściwego współdziałania, w składach płuczek wiertniczych należy stworzyć odpowiednie środowisko ich kompatybilności przez zwiększenie zawartości elektrolitu.
4. Na podstawie badań interakcji polimerów kationowych z anionowymi składnikami płuczki ustalono, że minimalna ilość NaCl, która zapewnia kompatybilność polimerów w roztworze to ok. 40 g/dm³, natomiast dla KCl wynosi ona ok. 50 g/dm³. Przy takim stężeniu elektrolitów w płuczce polikationy są stabilne, nie ulegają wytrąceniu z roztworu i nie wpływają na pozostałe składniki płuczki.
5. Nowoopracowana płuczka zawierająca w składzie polimery kationowe KL/CDRW 640 charakteryzuje się bardzo dobrymi właściwościami inhibitoryjnymi w stosunku do skał ilastych – wartości odzysku łupka mioceńskiego wynoszą ok. 98%. Płuczka ta w bardzo dobrym stopniu zabezpiecza również skały ilaste przed działaniem hydratacji osmotycznej; świadczą o tym wartości dezintegracji łupka mioceńskiego dyspergowanego w wodzie po wstępnym oddziaływaniu płuczki ($P_2 = 92\%$) oraz wartości pęcznienia skał ilastych.
6. Opracowana płuczka wykazuje również dużą odporność na zasolenie NaCl, KCl oraz jonami metali dwuwartościowych; cechuje ją także zwiększona odporność na skażenie fazą stałą (łupek mioceński), która w płuczce nie ulega tak silnemu rozmakaniu i dyspergowaniu jak np. w płuczce potasowo-polimerowej. Ponadto charakteryzuje ona się bardzo dobrymi właściwościami smarnymi (współczynnik tarcia 0,16) oraz wykazuje odporność na działanie podwyższonej temperatury.

Artykuł nadesłano do Redakcji 11.12.2009 r. Przyjęto do druku 19.04.2010 r.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Józef Raczkowski

Literatura

- [1] Bielewicz D., Bortel E., Witek E.: *Polimery amfoteryczne w zastosowaniu do płuczek wiertniczych*. AGH, Kraków 2003.
- [2] Bielewicz D., Bortel E.: *Polimery w technologii płuczek wiertniczych*. Kraków 2000.
- [3] Dye B., Clapper D., Hansen N., Leaper R.: *Design considerations for High Performance Water Muds*. AADE-04-DF-HO-14, Houston Texas 2004.
- [4] Fletcher D., Smith C., Stoian A., Aldea C., Patel A.: *Third Generation High-Performance Water-Based Fluid Successfully Replaces Oil-Based Fluid at Ricinus and Narraway Alberta*. AADE-03-NTCE-30, Houston Texas 2003.
- [5] Michael A. Jarrett, Nyal S. Walker: *Method for Determination of Residual Organo-Amine Salts in Aqueous Filtrates of Drilling Fluids*. AADE-02-DFWM-HO-42, Houston Texas 2002.
- [6] Morton K., Bomar B., Schiller M., Gallem J., Azar S.: *Development and Learning Process Using a New HPWBM on Gulf of Mexico Shelf Wells*. AADE-05-NTCE-31, Texas, April 5-7, 2005.
- [7] Schlemmer R., Patel A., Friedheim J, Young S.: *Progression of Water-Based Fluids Based on Amine Chemistry – Can the Road Lead to True Oil Mud Replacements?* AADE-03-NTCE-36, Houston Texas 2003.
- [8] Stoch L.: *Minerały ilaste*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1974.
- [9] Uliasz M., Chudoba J., Herman Z.: *Płuczki wiertnicze z inhibitorami polimerowymi i ich oddziaływanie na przewiercane skały*. Prace INiG nr 139, Kraków 2006.
- [10] Uliasz M.: *Wpływ polimerów kationowych na inhibitujące właściwości płuczek wiertniczych*. Prace IGNiG nr 107, 2000.
- [11] Wilton B., LaVergne R., Lone A., Logan B.: *HPWBM Exceeds SBM Performance in Narrow Pore Pressure/Fracture Gradient Environments*. AADE-06-DF-HO-32, Houston Texas 2006.
- [12] Wysocki S., Bielewicz D., Wysocka M.: *Badania laboratoryjne nowoopracowanych bezilowych płuczek kationowo-skrobiowych przeznaczonych do przewiercania skał ilastych*. Wiertnictwo Nafta Gaz, tom 24, zeszyt 2, Kraków 2007.
- [13] Young S., Stamatakis E.: *Novel Inhibitor Chemistry Stabilizes Shales*. AADE-06-DF-HO-39, Texas, April 11-12, 2006.



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.