

Elżbieta Biały

Institut Nafty i Gazu Oddział Krosno

Żelowane mieszaniny kwasowe do selektywnego kwasowania złóż

W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych, które miały na celu ocenę żelowanych i sieciowanych roztworów kwasu HCl, wykorzystywanych do selektywnego kwasowania złóż węglanowych. W realizacji pracy oparto się na komercyjnych systemach do żelowania i sieciowania kwasu solnego. W skład tych systemów wchodziły preparaty na bazie środków powierzchniowo-czynnych oraz środków polimerowych. Ponadto przebadano system kwasujący, który nie jest wprawdzie systemem sieciowanym, ale ma strukturę podobną do żelu i służy także do selektywnego kwasowania złóż. Wykonane badania laboratoryjne ujawniły wady i zalety zastosowanych systemów kwasujących.

Gelled acid mixtures for selective reservoirs acidizing

The purpose of laboratory test presented in this paper was evaluation of gelled and cross-linked HCl solutions, which could be used in selective acidizing of carbonate reservoirs. Commercial gelling and cross-linking systems for hydrochloric acid were used in this work. These systems are based on surfactants or polymer agents. Moreover gel-kind behavior system based on viscoelastic surfactants was tested. The results of this study allowed author to reveal advantages and disadvantages of these different acidizing systems.

Wstęp

Powszechnie stosowaną techniką stymulacji wydajności z odwiertów gazowych i ropnych jest kwasowanie matrycowe złóż. Zabieg ten wykonuje się w celu poprawienia produktywności odwiertów, poprzez zwiększenie przepuszczalności skały w rejonie otaczającym otwór wiertniczy. Zabiegi kwasowania wykonuje się zarówno w złożach piaskowcowych, jak i węglanowych, ale procesy kwasowania w tych skałach przebiegają odmiennie.

W skałach węglanowych, po wtłoczeniu cieczy kwasującej, następuje selektywne rozpuszczanie materiału skalnego, w wyniku czego tworzą się kanały zwane „otworami robaczkowymi” (wormholes). Otwory robaczkowe zaczynają się przy ścianie otworu i rozciągają promieniowo w losowych kierunkach w głąb formacji. Niektóre obszary skały przyjmują większą część przepływu niż inne. Kwas penetrując te rejony sprawia, że w takich miejscach rozpuszczanie jest przyspieszane. Poprzez powiększenie porów i gardzieli porowych zwiększana jest lokalna przepuszczalność, powiększając jeszcze bardziej przepływ kwasu. Szybko tworzy się kanał dominujący, który następnie powiększa swoją długość i powoduje rozprzestrzenianie się medium kwasującego, aż do wyczerpania kwasu [3].

Im głębsza penetracja w głąb złoża otworami robaczkowymi, tym większa skuteczność zabiegu kwasowania.

Uzyskanie głębszej penetracji kwasu jest możliwe m.in. dzięki zastosowaniu do kwasowania żeli kwasowych.

Inną metodą zwiększenia efektywności zabiegu kwasowania jest stymulacja kwasowa tych części formacji złożowej, których ze względu na niską przepuszczalność żelowany kwas nie penetrował. Rezultat ten można osiągnąć stosując technikę selektywnego kwasowania, polegającą na takim ukierunkowaniu kolejnych partii cieczy kwasującej dopływających do skały złożowej, by rozpuszczane były uprzywilejowane kanały. Selektowne kwasowanie pozwala na tworzenie otworów robaczkowych w strefach o mniejszej przepuszczalności. Do selektywnego kwasowania złóż węglanowych wykorzystuje się żelowane i sieciowane kwasy [1-8]. Proces ten opiera się na szczególnych właściwościach żelu, polegających na tym, że sieciowany żel o bardzo wysokiej lepkości tworzy w złożu barierę dla warstw o dużej przepuszczalności. Ciecz kwasująca jest stopniowo kierowana do warstw złoża o niższej przepuszczalności. Kiedy kwas całkowicie się wyczerpie, lepkość cieczy kwasującej obniża się, sprawiając, że łatwo jest ją usunąć z odwiertu wraz z produktami reakcji.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań reologicznych i przepływowych na rdzeniach, z zastosowaniem żelowanych i sieciowanych roztworów kwas solnego.

Środki chemiczne zastosowane do badań i ich właściwości

W badaniach laboratoryjnych wykorzystano systemy do żelowania i sieciowania kwasu solnego, najczęściej stosowanego do stymulacji złóż węglanowych. Do żelowania kwasu HCl zastosowano preparaty oparte na środkach powierzchniowo-czynnych i polimerach. Dla potrzeb niniejszej publikacji oznaczono je symbolami:

- środek żelujący A: mieszanina kationowych środków powierzchniowo-czynnych, kompatybilna z większością kationowych i niejonowych środków powierzchniowo-czynnych. Stosowany do temp. 66°C. Kiedy kwas wyczerpuje się lub gdy jego pH wzrasta powyżej 5, zżelowany tym środkiem HCl „łamie” swoją lepkość. Żel nie tworzy się, gdy zastosujemy kwas o stężeniu wyższym niż 20%.
- środek żelujący B: kationowy kopolimer poliakrylowy o wysokiej masie cząsteczkowej, stosowany do temp 149°C. Preparat ten może być używany także w sieciowanych systemach kwasujących.

Do żelowania i sieciowania kwasu HCl zastosowano systemy, w skład których wchodziły następujące komponenty:

- kwas HCl,
- środek B – żelujący kwas,
- czynniki sieciujące C i D, które sieciują mieszaninę kwasu przy pH 2,5-3,0 i „łamają” jej lepkość przy pH 4,0-5,0,
- bufor pH, który utrzymuje pH we właściwym zakresie – umożliwiając sieciowanie,
- środek kontrolujący żelazo (zapobiega osadzeniu się wodorotlenku żelaza poprzez redukcję jonów żelazowych do żelazawych).

System ten charakteryzuje się następującymi właściwościami:

- kieruje „żywy” kwas do obszarów formacji o mniejszej przepuszczalności,

- zapobiega rozwijaniu się otworów robaczkowych w obszarach o większej przepuszczalności,
- gdy kwas się wyczerpuje (pH = 2,5-3,0) system ulega sieciowaniu,
- gdy następuje dalsze wyczerpywanie się kwasu (pH = 4,0-5,0) system „łamie” się do początkowej lepkości,
- pozwala na lepszą kontrolę filtracji.

Oprócz żelowanych i sieciowanych mieszanin kwasowych w badaniach zastosowano także lepkospężysty system do kwasowania, który wprawdzie nie jest systemem sieciowanym, ale tworzy strukturę podobną do żelu i służy do selektywnego kwasowania złóż.

W skład tego systemu wchodzi następujące składniki:

- kwas HCl o stężeniu od 15-20%,
- wiskoelastyczny środek powierzchniowo-czynny E, do uzyskania bardziej równomiernego kwasowania.
- Właściwości tego systemu są następujące:
 - tworzy płyn o właściwościach podobnych do żelu w kwasie, kiedy stężenie HCl jest bliskie 15%,
 - nie zawiera polimerów,
 - tworzy płyn podobny do sieciowanego,
 - kiedy kwas się wyczerpuje, kierowany jest do stref o mniejszej przepuszczalności,
 - nie potrzebuje łamaczy lepkości,
 - ma strukturę miceli,
 - jest stosowany do temperatury 93,3°C,
 - jest kompatybilny z innymi kationowymi lub niejonowymi dodatkami do kontroli łoż, żelaza i kontroli flow back – stosowanymi w zabiegach kwasowania,
 - podczas reakcji cieczy kwasującej (opartej na tym środku) z kalcytem i dolomitem tworzy się CO₂, który zostaje uwięziony w systemie żelu, przyczyniając się do polepszenia właściwości pniących systemu, a to z kolei powoduje dalsze rozwinięcie się właściwości wiskoelastycznych.

Badania laboratoryjne

Program badań cieczy kwasujących do selektywnego kwasowania zakładał:

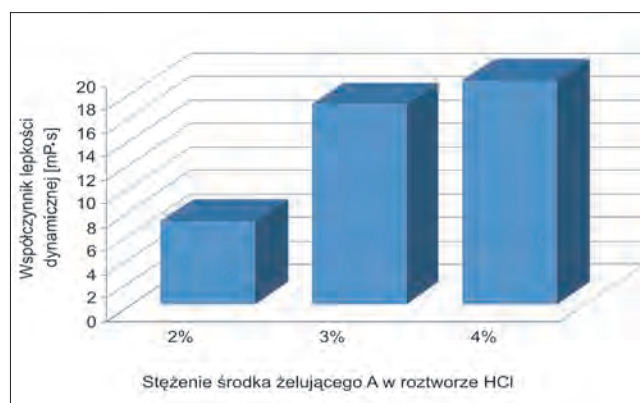
- a) badania właściwości reologicznych żelowanych cieczy kwasujących w zakresie temperatur podanych przez producenta,
- b) w przypadku cieczy żelowanych i sieciowanych – badania reologiczne dla poszczególnych etapów zachowania się cieczy (zależność od pH):
 - współ. lepkości dynamicznej płynu po zżelowaniu,
- c) laboratoryjne testy kwasowania na rdzeniach naturalnych, które miały na celu porównanie efektów kwasowania. Chodziło przede wszystkim o porównanie
 - współczynnik lepkości dynamicznej płynu po dodaniu sieciownika,
 - współczynnik lepkości dynamicznej płynu całkowicie usieciowanego,
 - współczynnik lepkości dynamicznej „złamanej” cieczy,

wartości współczynnika przepuszczalności po kwasowaniu, czasu kwasowania i wyglądu powierzchni czołowej rdzeni po kwasowaniu; sprawdzenie, czy po selektywnym kwasowaniu wzrasta liczba otworów robaczkowych.

Badania właściwości reologicznych wykonano na reometrach Nordman i Rheotest 2, a laboratoryjne testy kwasowania na aparaturze Acid Delivery System.

Badania cieczy kwasującej żelowanej środkiem A

Ciecz kwasująca ze środkiem żelującym A w temp. 60°C (maksymalnej do stosowania) uzyskała niską wartość współczynnika lepkości dynamicznej: od 7 mPa·s do 19 mPa·s, w zależności od stężenia tego środka (rysunek 1).



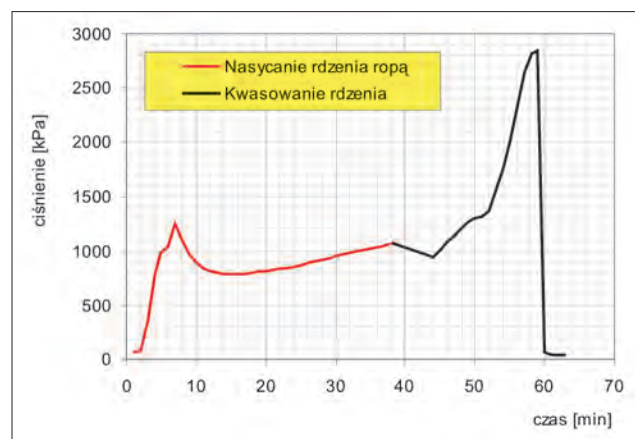
Rys. 1. Wpływ stężenia środka żelującego A na lepkość 15% HCl w temp. 60°C dla szybkości ścinania 40 s⁻¹

Wynik testów przepływowych na rdzeniach z zastosowaniem cieczy kwasującej żelowanej środkiem A przedstawiono w tabelicy 1.

W trakcie tych badań uzyskano bardzo duży wzrost współczynnika przepuszczalności, ale w rdzeniu widoczne były jeden lub dwa otwory robaczkowe. W trakcie laboratoryjnych symulacji kwasowania rdzeni rejestrowano

zmiany ciśnienia w trakcie przepływu cieczy; najpierw ropy, a następnie cieczy kwasujących (rysunek 2).

Z tych danych odczytano czas kwasowania od momentu włączenia kwasowania do chwili całkowitego przekwasowania rdzenia (spadku ciśnienia). Dla przedstawionych przypadków wynosił on 25 min i 21 min.



Rys. 2. Zmiany ciśnienia w trakcie nasycania ropą rdzenia i kwasowania płynem o składzie: 15% HCl + 0,3% inhibitor korozji + 4% środka żelującego A

Badania cieczy kwasującej żelowanej środkiem B

Nieco większą wartość współczynnika lepkości dynamicznej w tej samej temperaturze miała ciecz kwasująca żelowana środkiem B (od 48 mPa·s do 208 mPa·s, w zależności od stężenia tego środka w kwasie – rysunek 3).

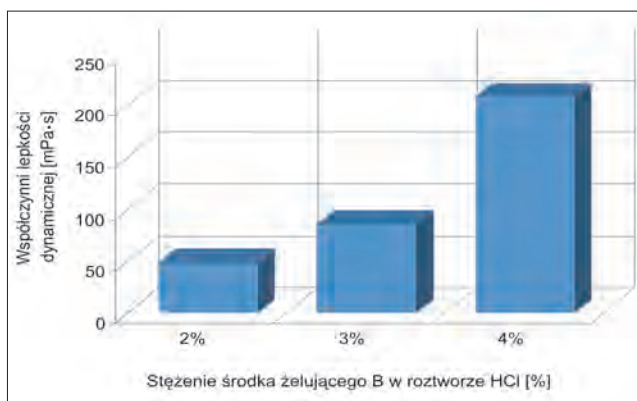
Wynik testu przepływowego z zastosowaniem cieczy kwasującej żelowanej środkiem B przedstawiono w tabelicy 2. Również i w tym przypadku uzyskano duży efekt kwasowania, ale tak jak poprzednio wytworzony został tylko jeden otwór robaczkowy. Czas kwasowania, określony na podstawie przebiegu zmian ciśnienia podczas kwasowania, w tym przypadku wynosił 35 minut, pomimo wyższej temperatury badania. Po zakończeniu testów prze-

Tablica 1. Wyniki badań przepływowych na rdzeniach

Ōdwiert/ nr rdzenia	Ciecz kwasująca	Współczynnik przepuszczalności przed kwasowaniem [mD]	Współczynnik przepuszczalności po kwasowaniu [mD]	Temperatura pomiaru [°C]	Uwagi
Buszewo-13 3122-3140 m VII sk. 7 R1/ nr 811	15% HCl + 0,3% inhibitor korozji + 4% A	2,658	4025,0	60	W rdzeniu powstał otwór przez całą długość rdzenia
Buszewo-12 3133-3150 m VII sk. 34 R5/ nr 622	15% HCl + 0,3% inhibitor korozji + 4% A	0,520	6217,0	60	W rdzeniu powstały otwory

Tablica 2. Wyniki badań przepływowych na rdzeniach

Odwiert/ nr rdzenia	Ciecz kwasująca	Współczynnik przepuszczalności przed kwasowaniem [mD]	Współczynnik przepuszczalności po kwasowaniu [mD]	Temperatura pomiaru [°C]	Uwagi
Barnówko 9 3114-3131 m II 65-70/ nr 668	15% HCl + 0,3% inhibitor korozji + 4% B	79,387	9271	100	W rdzeniu powstał jeden otwór robaczkowy

Rys. 3. Wpływ stężenia środka żelującego B na lepkość 15% HCl w temp. 60°C dla szybkości ścinania 40 s⁻¹

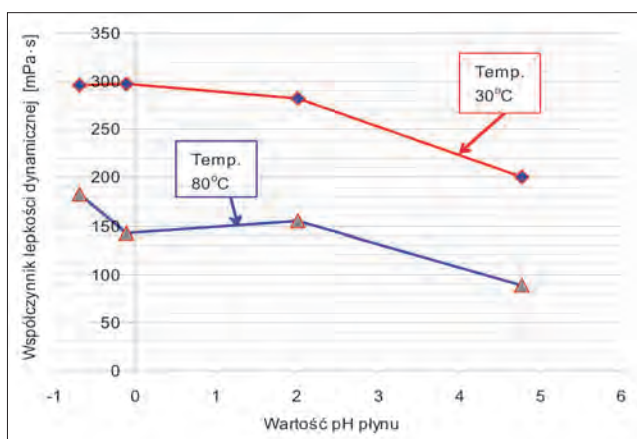
plywowych powierzchni czołowe rdzeni sfotografowano (fotografia 1). Po kwasowaniu żelowanym kwasem HCl powstawały jeden lub dwa otwory robaczkowe.



Fot. 1. Powierzchnie czołowe rdzeni po kwasowaniu żelowanym HCl

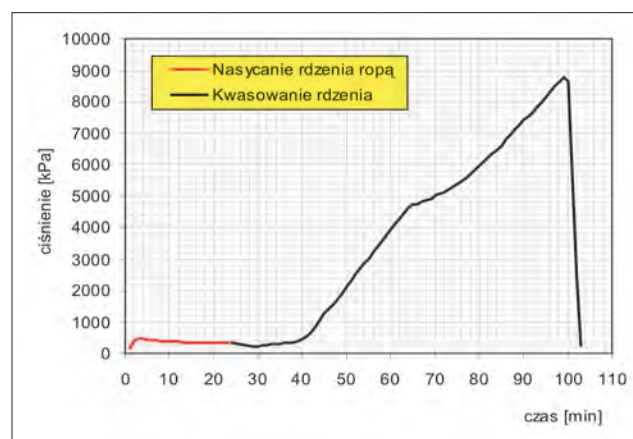
Badania cieczy kwasującej żelowanej środkiem B i sieciowanej środkiem C

System kwasujący, o składzie: 15% HCl + czynnik żelujący B + sieciownik C, działa w ten sposób, że gdy pH wzrośnie do wartości 2,5-3 w trakcie reakcji kwasu ze skałą złożową, płyn kwasujący osiąga maksymalną lepkość. Wówczas bufor chwilowo stabilizuje pH, pozwalając na całkowite usieciowanie płynu. W czasie reakcji kwasu z węglanami, kwas wyczerpuje się i jego pH wzrasta. Gdy osiągnie wartość około 4-5, żel upłynnia się.

Rys. 4. Zależność lepkości od pH dla płynu o składzie: 15% HCl + 0,3 inhibitor korozji + 4% B + 0,36 g/100 ml środek kontrolujący żelazo + 0,2% bufor pH + 0,5% dla szybkości ścinania $D_r = 40 \text{ s}^{-1}$ w temp. 30°C i 80°C

Na rysunku 4 pokazano zależność lepkości tej cieczy kwasującej od pH płynu dla szybkości ścinania $D_r = 40 \text{ s}^{-1}$ dla temperatur 30°C i 80°C.

Na rysunku 4 widać, że żelowany i usieciowany płyn ma dużą lepkość, ale po uzyskaniu wartości pH, w jakiej powinien zdecydowanie upłynniać się, zjawisko takie nie wystąpiło. W temperaturach 30°C i 80°C płyn obniżył swoją lepkość, ale w dalszym ciągu była ona wysoka.



Rys. 5. Zmiany ciśnienia w trakcie nasycania ropą rdzenia nr 671 i kwasowania płynem o składzie: 15% HCl + 0,3% inhibitor korozji + 4% środek żelujący B + 0,2% bufor pH + 0,5% środek sieciujący C

W trakcie tych badań uzyskano duży wzrost współczynnika przepuszczalności. Wynik testów przepływowych na rdzeniach z zastosowaniem cieczy kwasującej żelowanej i sieciowanej środkiem C przedstawiono w tabelicy 3.

Czas kwasowania określony na podstawie przebiegu zmian ciśnienia (rysunek 5) podczas kwasowania w tym przypadku znacznie wydłużył się i wynosił 79 minut. Na czole rdzenia osadzał się „placok filtracyjny”.

Tabela 3. Wyniki badań przepływowych na rdzeniach

Odwiert/ nr rdzenia	Ciecz kwasująca	Współczynnik przepuszczalności przed kwasowaniem, k_p [mD]	Współczynnik przepuszczalności po kwasowaniu, k_k [mD]	Temperatura pomiaru [°C]	Uwagi
Barnówko 9 3114-3131 m XIV 30-35/ nr 671	15% HCl + 0,3% inhibitor korozji + 4% B + stabilizator żelaza + 0,2% bufor pH + 0,5% C	3,623	3389	80	W rdzeniu powstało wiele otworów, tworzy się „placok filtracyjny” na czole rdzenia

Badania cieczy kwasującej żelowanej środkiem B i sieciowanej środkiem D

Mechanizm działania płynu kwasującego, o składzie: 15% HCl + czynnik żelujący B + sieciownik D – jest identyczny jak opisany powyżej. Różnicą, która daje się zauważyć stosując sieciownik D, jest uzyskiwanie znacznie wyższych wartości współczynników lepkości dynamicznej cieczy kwasującej (rysunek 6).

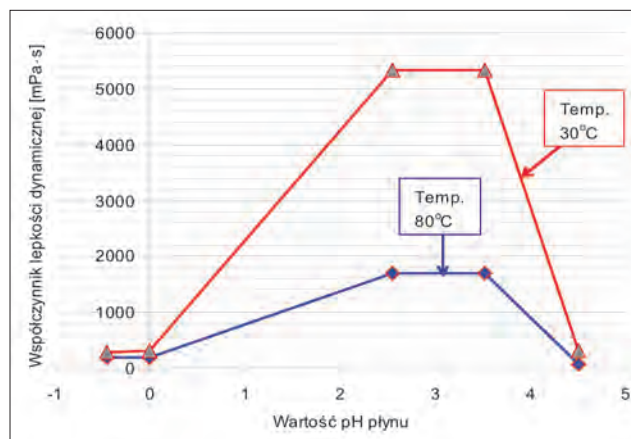
Na fotografiach 2 i 3 pokazano ciecz kwasującą żelowaną i usieciowaną środkiem D.



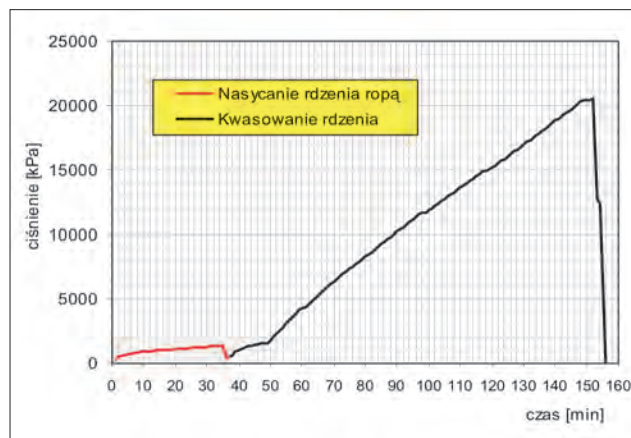
Fot. 2. Żelowany środkiem B i usieciowany środkiem D kwas HCl



Fot. 3. Kwas HCl żelowany środkiem B i usieciowany środkiem D



Rys. 6. Zależność lepkości od pH dla płynu o składzie: 15% HCl + 0,3% inhibitor korozji + 4% środek żelujący B + 0,36 g/100 ml stabilizator żelaza + 0,2% bufor pH + 0,5% środek sieciujący D dla szybkości ścinania $D_r = 40 \text{ s}^{-1}$, w temp. 30°C i 80°C



Rys. 7. Zmiany ciśnienia w trakcie nasycania ropą rdzenia nr 303 i kwasowania płynem o składzie: 15% HCl + 0,3% inhibitor korozji + 4% środek żelujący B + stabilizator żelaza + 2% bufor pH + 0,5% środek sieciujący D

Tablica 4. Wyniki badań przepływowych na rdzeniach

Odwiert/ nr rdzenia	Ciecz kwasująca	Współczynnik przepuszczalności przed kwasowaniem [mD]	Współczynnik przepuszczalności po kwasowaniu [mD]	Temperatura pomiaru [°C]	Uwagi
Buszewo-7 3111-3128 m sk. 1035-55/ nr 303	15% HCl + 0,3% inhibitor korozji + 4% B + stabilizator żelaza + 0,2%	1,41	2045	80	W rdzeniu powstało kilkanaście otworów robaczkowych, tworzy się „placpek filtracyjny”

Płyn kwasujący po osiągnięciu wartości pH równej 4,51 miał lepkość zbliżającą się do wartości, którą posiadał po przygotowaniu, ale była ona zbyt wysoka, by można było uznać, że płyn „złamał się” (rysunek 6).

Wynik symulacji kwasowania na rdzeniu z zastosowaniem cieczy kwasującej żelowanej i sieciowanej środkiem D przedstawiono w tablicy 4. Na rysunku 7 pokazano zapis zmian ciśnienia podczas kwasowania rdzenia. Czas kwasowania wyniósł 119 minut. Na fotografii 4 widać powierzchnie czołowe rdzeni po kwasowaniu.



Fot. 4. Powierzchnie czołowe rdzeni po kwasowaniu żelowanym i usieciowanym kwasem HCl.

Ciecz kwasująca na bazie 20% HCl i wiskoelastycznego środka powierzchniowo-czynnego E

Kolejnym płynem, który poddano badaniom reologicznym była ciecz kwasująca o składzie: 20% HCl i 5% środka E. Utworzony z tych składników płyn miał konsystencję wody. Według opisu producenta lepkość tego płynu zmienia się w trakcie reakcji ze skałą węglanową. Jego lepkość wzrasta, powodując blokadę obszarów o wyższej przepuszczalności.

Aby sprawdzić opisane zachowanie płynu kwasującego, do cieczy kwasującej dodawano CaCO_3 w takiej ilości by przereagowany płyn stanowił ekwiwalent 14% HCl. Reakcja była bardzo burzliwa, a wydzielający się CO_2 powodował powstawanie gęstej piany (fotografia 5).

Po całkowitym przereagowaniu płynu z CaCO_3 powstał żelowany kwas (fotografia 6), którego lepkość zbadano

Fot. 5. Reakcja cieczy kwasującej, o składzie: 20% HCl + 0,3% inhibitor korozji + 5% wiskoelastyczny środek powierzchniowo-czynny E, z CaCO_3 Tablica 5. Wyniki badań reologicznych cieczy kwasującej o składzie: 20% HCl + 0,3% inhibitor korozji + 5% środka żelującego E, po przereagowaniu z CaCO_3 (ekwiwalent 14% HCl)

Temperatura [°C]	n' [-]	K' [Pa·s ^{n'}]	$\mu@40\text{s}^{-1}$ [mPa·s]	$\mu@170\text{s}^{-1}$ [mPa·s]	$\mu@511\text{s}^{-1}$ [mPa·s]
30	0,2006	6,25	325	102	42
60	0,4187	1,70	194	83	43

Fot. 6. Utworzony żel po reakcji z CaCO_3 (ekwiwalent 14% HCl)Tablica 6. Wyniki badań reologicznych cieczy kwasującej o składzie: 20% HCl + 0,3% inhibitor korozji + 6% środka żelującego E, po przereagowaniu z CaCO_3 (ekwiwalent 14% HCl)

Temperatura [°C]	n' [-]	K' [Pa·s ^{n'}]	$\mu@40\text{s}^{-1}$ [mPa·s]	$\mu@170\text{s}^{-1}$ [mPa·s]	$\mu@511\text{s}^{-1}$ [mPa·s]
30	0,1686	10,62	495	149	59
60	0,3037	5,20	399	146	68

w dwóch temperaturach: 30°C i 60°C. Wyniki zamieszczono w tablicy 5.

Zżelowany kwas miał wysoką lepkość, choć nie tak dużą jak płyny sieciowane polimerami.

W kolejnym badaniu zwiększono ilość środka E do 6%. Po przereagowaniu z CaCO₃ powstał gęsty żel, którego lepkość ponownie zbadano w temperaturach 30°C i 60°C (tablica 6). Współczynnik lepkości dynamicznej zwiększył się w stosunku do cieczy o zawartość 5% E.

Laboratoryjne symulacje kwasowania z zastosowaniem wiskoelastycznej cieczy kwasującej wykonano dla płynów o składzie zamieszczonym w tablicy 7.

Powiększone zdjęcia powierzchni czołowych rdzeni po kwasowaniu ujawniły powstanie dużej liczby otworów

robaczkowych. Przykładową powierzchnię czołową rdzenia w powiększeniu pokazano na fotografii 7. Czas kwasowania tą cieczą był porównywalny do czasu kwasowania żelami kwasowymi i wynosił od 25 do 31 minut.



Fot. 7. Powierzchnia czołowa rdzenia po kwasowaniu cieczą wiskoelastyczną

Tablica 7. Wyniki badań przepływowych na rdzeniach

Odwiert/ nr rdzenia	Ciecz kwasująca	Współczynnik przepuszczalności przed kwasowaniem [mD]	Współczynnik przepuszczalności po kwasowaniu [mD]	Temperatura pomiaru [°C]	Uwagi
Barnówko-9 3124,3 m/ nr 9B	20% HCl + 0,3% inhibitor korozji + 5% E	1,561	5191	80	W rdzeniu powstało wiele otworów
Buszewo-12 3133-3150 m VII sk. 34 R5/ nr 820	15% HCl + 0,3% inhibitor korozji + 4% E	1,418	7734	80	W rdzeniu powstało wiele otworów

Podsumowanie

Po wykonaniu laboratoryjnych symulacji kwasowania na rdzeniach uzyskano znaczny wzrost współczynnika przepuszczalności rdzenia dla wszystkich zastosowanych systemów kwasujących.

W przypadku zastosowania polimerowego systemu sieciowania kwasu HCl znacznie wydłużył się czas kwasowania, co jest efektem bardzo pożądanym ze względu na uzyskanie głębszej penetracji kwasu, ale liczba zauważalnych na powierzchni rdzenia otworów robaczkowych nie zwiększyła się w zadawalający sposób. Jednocześnie badania te ujawniły wadę polimerowego systemu do selektywnego kwasowania złóż, polegającą na budowaniu „placka filtracyjnego”, który może być trudny do usunięcia.

Przeprowadzone badania pokazały, że najlepsze efekty kwasowania można uzyskać stosując wiskoelastyczny system żelowania kwasu, w skład którego wchodzi:

- kwas HCl – o stężeniu od 15-20%,

- środek E – wiskoelastyczny amfoteryczno-kationowy środek powierzchniowo-czynny.

Korzyści z zastosowania tego systemu kwasującego, jakie dało się zauważyć podczas badań, były następujące:

- uzyskano wysokie współczynniki przepuszczalności po kwasowaniu,
- utworzyła się znacznie większa liczba otworów robaczkowych,
- na powierzchni rdzenia nie powstał „placek filtracyjny”.
Czas kwasowania był porównywalny do czasu kwasowania żelowanym HCl.

Wadą tego systemu kwasującego jest zakres temperatury w jakim można go stosować, którego górna granica wynosi do 93,3°C. Jest to temperatura zbyt niska dla wielu złóż dolomitowych występujących w Polsce, na których można by wykonać zabiegi kwasowania oparte na tym systemie kwasującym.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Józef Raczkowski

Literatura

- [1] Allen T.O., Roberts A.P.: *Production operations*. Four Edition, vol. 2, 1993.
- [2] Czupski M. i in.: *Zastosowanie żeli i emulsji w procesach efektywnego kwasowania złóż*. Dokumentacja INiG, Kraków 2003.
- [3] Hoefner M.I., Fogler H.S.: *Effective matrix acidizing in carbonates using microemulsions*. Chem. Eng. Prog. 40-44, 1985.
- [4] Norman L.R., Conway M.W.: *High-temperature gelled acid-laboratory development and field results*. SPE 11501, 1983.
- [5] Nwoke L.A., Uchendu C.V.: *Crosslinked Gel Provides Long-Term Control of High-Pressure Gas Well During Coiled-Tubing Fishing: Challenges and Success Story*. SPE 98070, 2006.
- [6] Taylor K.C., Nasr El-Din H.A.: *Laboratory Evaluation of In-Situ Gelled Acid for Carbonate Reservoirs*. SPE 71694, 2001.
- [7] Taylor K.C., Nasr El-Din H.A.: *Core Flood Evaluation of In-Situ Gelled Acid*. SPE 73707, 2002.
- [8] Welton T.D., van Domelen M.S.: *High-Viscosity-Yield Acid Systems for High-Temperature Stimulation*. SPE 98237, 2006.



Mgr inż. Elżbieta BIAŁY – absolwentka Wydziału Matematyczno-Fizycznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Stymulacji Wydobywania Węglowodorów INiG Oddział w Krośnie. Zajmuje się zagadnieniami związanymi ze stymulacją wydobywania węglowodorów.

ZAKŁAD STYMULACJI WYDOBYCIA WĘGLOWODORÓW

Zakres działania:

- przygotowywanie receptur i badania płynów zabiegowych do stymulacji wydobywania ropy i gazu;
- symulacje przepływów i badania reologiczne w skali półtechnicznej;
- badania materiałów podsadzkowych;
- badania przewodności szczeliny w zależności od użytego materiału podsadzkowego i płynu zabiegowego;
- symulacje usuwania uszkodzenia strefy przyodwiertowej;
- oznaczanie współczynnika przepuszczalności i porowatości skał, kamienia cementowego, betonu itp.;
- dobór środków regulujących właściwości reologiczne płynów (SPCz, polimery itp.);
- badania szybkości reakcji skał złożowych z cieczami kwasującymi;
- laboratoryjne symulacje zabiegów kwasowania w warunkach złożowych;
- wykonywanie projektów technologicznych zabiegów stymulacji;
- analiza testów miniszczelinowania i analiza pozabiegowa;
- laboratoryjne symulacje metod wspomagających wydobywanie węglowodorów.

Kierownik: dr inż. Piotr Kasza

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

Telefon: 13 436-89-41 wew. 229

Faks: 13 436-79-71

E-mail: piotr.kasza@inig.pl

