

Łukasz Kut

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Opracowanie receptur zacinów cementowych do otworów o normalnym gradiencie ciśnienia i temperaturze dynamicznej powyżej 100°C

W ostatnich latach krajowe firmy naftowe prowadziły wiercenia, a obecnie planują wykonanie kolejnych otworów wiertniczych o dużych głębokościach, sięgających około 5000 metrów. Wiercone otwory posiadają trajektorię pionową oraz coraz częściej odchyloną od pionu aż do kierunku poziomego (horyzontalnego). Otwory takie wykonywane są ostatnio w celu poszukiwań gazu z formacji łupkowych. Na dnie tak głębokich otworów występują wysokie temperatury (powyżej 100°C) i ciśnienia (powyżej 60 MPa), co wymaga zastosowania zacinów uszczelniających posiadających odpowiednie czasy gęstnienia (pozwalające na bezpieczne zatłoczenie do otworu) oraz właściwości reologiczne (niska lepkość, odpowiednia granica płynięcia). Również filtracja zacinu powinna być jak najniższa, a odstój wody – zerowy. Celem badań laboratoryjnych było opracowanie zacinów cementowych o gęstościach 1700÷1900 kg/m³ z dodatkiem różnych środków opóźniających czas wiązania, przeznaczonych do uszczelniania otworów wiertniczych, na których dnie panują warunki wysokiej temperatury i ciśnienia.

Słowa kluczowe: kamień cementowy, temperatura dynamiczna, parametry mechaniczne, otwory horyzontalne.

Development of cement slurries for boreholes of normal gradient pressure and dynamic temperature above 100°C

In recent years national oil companies had carried out drilling and are presently planning to drill subsequent boreholes at greater depths, reaching up to 5000 meters. These kinds of wells have vertical trajectory and more often they are sloped from vertical as far as horizontal direction. These kinds of boreholes made recently are being used in the search for gas from shale formations. At the bottom of such deep boreholes, there are high temperatures (above 100°C) and pressures (above 60 MPa), which require slurries with appropriate thickening times (allowing for safe injection into the hole) and rheological properties (low viscosity, appropriate yield point). Slurry fluid loss should also be as low as possible and free water should be zero. The aim of laboratory tests was to develop cement slurries with densities of about 1700÷1900 kg/m³, with the addition of various retarders for sealing deep boreholes, where high temperatures and high pressures prevail at their bottoms.

Key words: cement stone, dynamic temperature, mechanical properties, horizontal wells.

Wprowadzenie

Do tej pory w otworach wiertniczych wierconych w złożach konwencjonalnych na dużych głębokościach stosowano zacinny cementowe o gęstościach powyżej 2000 kg/m³. W artykule zamieszczono wyniki badań przeprowadzonych na zacinach o gęstościach w granicach 1700÷1900 kg/m³ do uszczelniania horyzontów o normalnym gradiencie ciśnienia złożowego (0,0118 MPa/m), które mogą być stosowane do

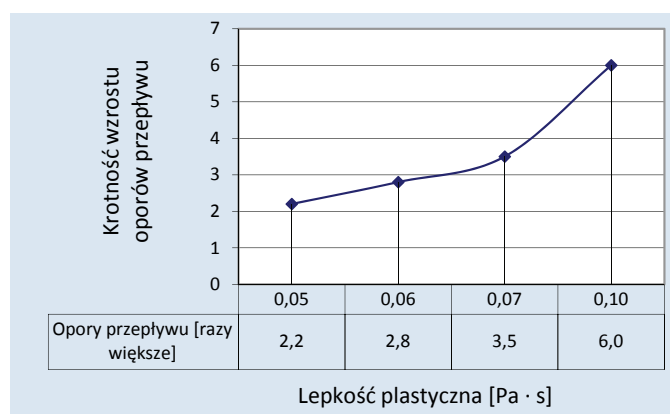
uszczelniania otworów poziomych, np. w poszukiwaniach gazu w formacjach łupkowych. Tłoczenie do otworu zacinów o gęstości zbliżonej do „normalnej” (1700÷1900 kg/m³) zapewni ich skuteczną przetłaczalność w przestrzeni pierścieniowej i wpłynie na efektywne uszczelnianie otworu wiertniczego. Ponadto w formacjach geologicznych występują ciśnienia anomalnie niskie (o gradiencie ciśnienia

0,0096 MPa/m) oraz ciśnienia anomalnie wysokie (o gradientie 0,0227 MPa/m) [8].

Zaczyny cementowe przeznaczone do uszczelniania kolumn rur okładzinowych w otworach horyzontalnych powinny charakteryzować się odpowiednimi parametrami reologicznymi, a mianowicie: posiadać możliwie jak najniższą filtrację, zerowy odstęp wody, niską lepkość plastyczną oraz granicę płynięcia mieszczącą się w przedziale od 14 do 23 Pa – dla zapewnienia skutecznego oczyszczenia dna otworu z płuczki i zalegających tam osadów.

Przy znacznej głębokości otworu (gdzie panuje bardzo wysoka temperatura i ciśnienie) poważnym problemem jest zapewnienie długiego czasu przetłaczania zaczynu cementowego. Należy zatem dobrać odpowiednie środki opóźniające, które są odporne na działanie wysokich temperatur, oraz dodatki zapewniające właściwe parametry technologiczne zaczynu i kamienia cementowego. Ponadto uszczelnianie otworów horyzontalnych wymaga turbulentnego przepływu zaczynu cementowego, dlatego też powinien być on w miarę możliwości jak najpłynniejszy (rozlewność powyżej 230 mm), a przy tym posiadać jak najniższą filtrację. Ważną rolę odgrywa również lepkość plastyczna i granica płynięcia.

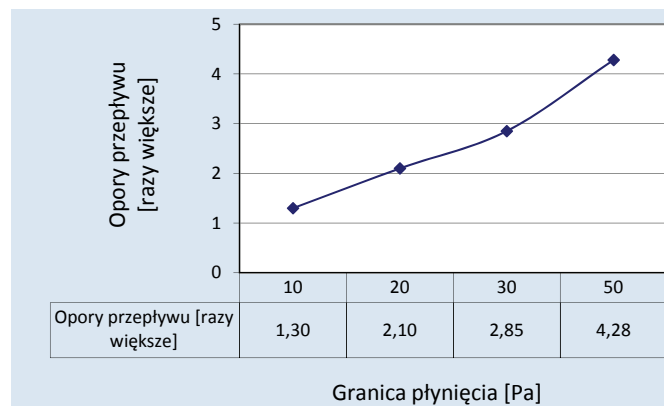
Konieczność wywołania przepływu turbulentnego zaczynów cementowych w otworach poziomych wymaga opracowania i zastosowania takich receptur, które posiadają możliwie niską lepkość plastyczną. Im większa jest lepkość plastyczna zaczynu, tym wyższą potrzebą wydajność tłoczenia, a w ostateczności wpływa to na wzrost oporu przepływu i końcowego ciśnienia cementowania (rysunek 1).



Rys. 1. Wzrost oporów przepływu w zależności od lepkości plastycznej zaczynu cementowego

Kolejnym istotnym czynnikiem decydującym o skutecznym procesie cementowania otworów kierunkowych i – w szczególności – poziomych jest granica płynięcia zaczynów uszczelniających. Zaczyny cementowe o wyso-

kich wartościach granicy płynięcia powodują wzrost oporu przepływu, co może doprowadzić do zagrożenia szczelninowaniem lub nawet ucieczki zaczynu w trakcie cementowania (rysunek 2).

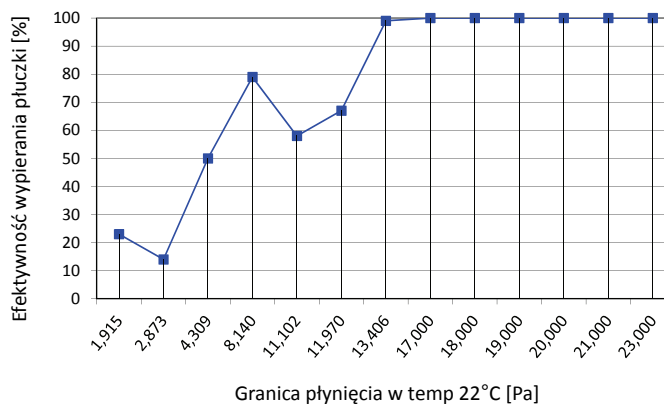


Rys. 2. Wzrost oporów przepływu w zależności od granicy płynięcia zaczynu cementowego

Literatura [2] podaje minimalną wartość granicy płynięcia, poniżej której nie następuje oczyszczanie dolnej części ściany odchylonego od pionu otworu wiertniczego. Dla otworu poziomego minimalna wartość granicy płynięcia wynosi 14,4 Pa.

Na rysunku 3 przedstawiono zależność efektywności usuwania osadów z dolnej części otworu przez zaczyn cementowy dla konkretnej wartości granicy płynięcia. Jak widać osad prawie w 100 procentach usuwany jest dla granicy płynięcia ponad 14 Pa, natomiast nieznaczne obniżenie granicy płynięcia, np. do wartości około 12 Pa, spowoduje zmniejszenie efektywności oczyszczania do 67%.

Wynika z tego, iż dla otworów poziomych należy utrzymywać granicę płynięcia zaczynu cementowego w przedziale od 15 do 23 Pa, co powinno zapewnić najskuteczniejsze wyparcie płuczki wiertniczej.



Rys. 3. Wzrost efektywności wypierania osadu w zależności od granicy płynięcia zaczynu cementowego

Badania laboratoryjne

W artykule zamieszczono wyniki badań sześciu wybranych składów zaczynów cementowo-lateksowych zawierających różne dodatki wpływające na ich parametry reologiczne, filtrację oraz czas gęstnienia, dla których uzyskano najlepsze rezultaty. Badania przeprowadzono dla trzech różnych warunków otworopodobnych:

- 1) temperatura 100°C i ciśnienie 60 MPa,
- 2) temperatura 110°C i ciśnienie 65 MPa,
- 3) temperatura 120°C i ciśnienie 70 MPa.

Zaczyny cementowe zarabiano wodą wodociągową z dodatkiem chlorku potasu w ilości 3% bwow. Do wody zarobowej dodawano kolejno środek odpinający, upłynniający, obniżający filtrację, regulujący czas wiązania i gęstnienia oraz lateks. Pozostałe składniki: mikrocement, mikrosilikę, hematyt i cement mieszano ze sobą i wprowadzano następnie do wody zarobowej. Po sporządzeniu zaczynów cementowych mierzono ich:

- gęstość,
- rozlewność,
- odczyty z aparatu Fann,

- odstęp wody,
- filtrację,
- czas gęstnienia.

Ze sporządzonych zaczynów cementowych otrzymano próbki kamieni cementowych, które poddano badaniu:

- wytrzymałości na ściskanie,
- wytrzymałości na zginanie,
- przyczepności do rur stalowych.

Gęstość wybranych zaczynów cementowych wahała się w przedziale od 1,76 do 1,88 g/cm³. Żaden zaczyn nie wykazał odstępu wody, a otrzymane filtracje nie przekraczały 30,0 cm³/30 min. W tablicach 1–6 przedstawiono szczegółowe wyniki badań właściwości reologicznych zaczynów cementowych oraz zmieniających się w czasie parametrów mechanicznych kamieni cementowych.

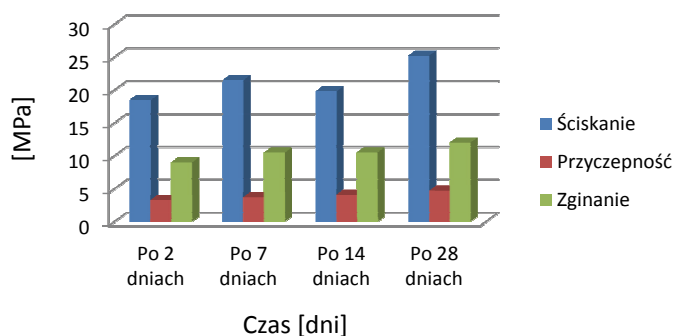
Niepewność uzyskanych wyników pomiarów zaprezentowanych w tablicach 1–6 oznaczono na podstawie klasy dokładności urządzeń pomiarowych na poziomie: dla pomiarów reologicznych – 0,2%, dla pomiarów wytrzymałości na ściskanie, zginanie i przyczepności do rur – 0,4%.

Tablica 1

Zaczyn cementowy nr 1 posiadał gęstość 1,77 g/cm³ oraz nie wykazał odstępu wody. Jego filtracja wyniosła 20,0 cm³/30 min. Zaczyn osiągnął początek gęstnienia po czasie 5 h 27 min, a koniec po 5 h 41 min. Kamień cementowy przez cały okres sezonowania wykazywał coraz wyższe wartości wytrzymałości na ściskanie, przyczepności do rur oraz wytrzymałości na zginanie.

| Składniki zaczynu nr 1 | | Skład [%] |
|------------------------|-----|-------------|
| Woda wodociągowa | w/c | 0,56 |
| KCl bwow | | 3,0 |
| Odpinacz | | 1,0 |
| Upłynniacz | | 0,3 |
| Antyfiltrat | | 0,3 |
| Opóźniacz | | 0,15 |
| Stabilizator lateksu | | 2,0 |
| Lateks | | 15,0 |
| Mikrocement | | 20,0 |
| Mikrosilica | | 20,0 |
| Cement G | | 100,0 |

| Parametry reologiczne zaczynu cementowego nr 1 | | |
|--|-------|--------|
| Rozlewność [mm] | 255 | |
| Gęstość [g/cm ³] | 1,77 | |
| Odstęp wody [%] | 0,0 | |
| Odczyty z aparatu Fann [obr./min] | 600 | 222 |
| | 300 | 131 |
| | 200 | 90 |
| | 100 | 72 |
| | 60 | 48 |
| | 30 | 22 |
| | 6 | 9 |
| | 3 | 6 |
| Lepkość plastyczna [mPa · s] | 88,5 | |
| Granica płynięcia [Pa] | 20,4 | |
| Czas gęstnienia [h-min], 100°C, 60 MPa | 30 Bc | 100 Bc |
| | 5–27 | 5–41 |
| Filtracja [cm ³ /30 min] | 20,0 | |



Wykres 1. Parametry mechaniczne próbki nr 1

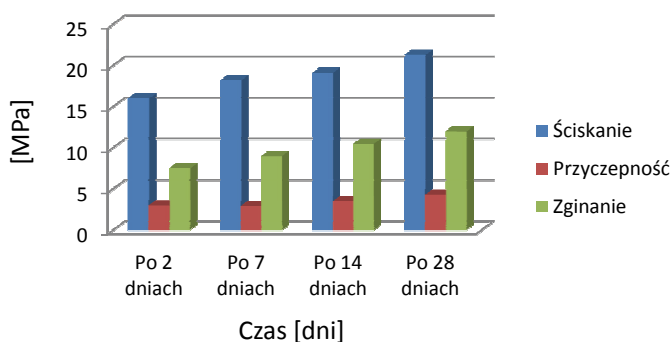
| Parametry mechaniczne kamienia cementowego nr 1 [MPa] | Po 2 dniach | Po 7 dniach | Po 14 dniach | Po 28 dniach |
|---|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Wytrzymałość na ściskanie | 18,5 | 21,5 | 19,8 | 25,2 |
| Przyczepność do rur | 3,3 | 3,7 | 4,1 | 4,7 |
| Wytrzymałość na zginanie | 9,0 | 10,5 | 10,5 | 12,0 |

Tablica 2

Gęstość zaczynu cementowego nr 2 wyniosła 1,80 g/cm³, a filtracja 16,0 cm³/30 min. Zaczyn nie wykazał odstoju wody. Początek gęstnienia zaczynu cementowego nastąpił po czasie 3 h 58 min, a koniec po 4 h 09 min. Wartości parametrów mechanicznych kamienia cementowego po każdym okresie badań były coraz wyższe.

| Składniki zaczynu nr 2 | | Skład [%] |
|------------------------|-----|-------------|
| Woda wodociągowa | w/c | 0,53 |
| KCl bwow | | 3,0 |
| Odpieniacz | | 1,0 |
| Upłynniacz | | 0,3 |
| Antyfiltrat | | 0,3 |
| Opóźniacz | | 0,3 |
| Stabilizator lateksu | | 2,0 |
| Lateks | | 15,0 |
| Mikrocement | | 20,0 |
| Mikrosilica | | 20,0 |
| Cement G | | 100,0 |

| Parametry reologiczne zaczynu cementowego nr 2 | | |
|--|-------|--------|
| Rozlewność [mm] | 250 | |
| Gęstość [g/cm ³] | 1,80 | |
| Odstój wody [%] | 0,0 | |
| Odczyty z aparatu Fann [obr./min] | 600 | 231 |
| | 300 | 133 |
| | 200 | 109 |
| | 100 | 74 |
| | 60 | 45 |
| | 30 | 28 |
| | 6 | 11 |
| 3 | 7 | |
| Lepkość plastyczna [mPa · s] | 88,5 | |
| Granica płynięcia [Pa] | 21,4 | |
| Czas gęstnienia [h-min], 100°C, 60 MPa | 30 Bc | 100 Bc |
| | 3-58 | 4-09 |
| Filtracja [cm ³ /30 min] | 16,0 | |



Wykres 2. Parametry mechaniczne próbki nr 2

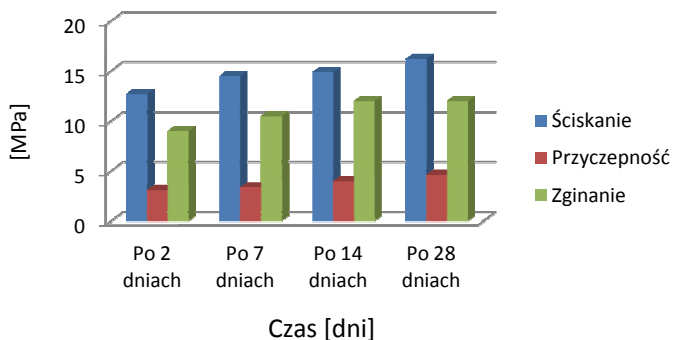
| Parametry mechaniczne kamienia cementowego nr 2 [MPa] | Po 2 dniach | Po 7 dniach | Po 14 dniach | Po 28 dniach |
|---|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Wytrzymałość na ściskanie | 16,0 | 18,2 | 19,1 | 21,3 |
| Przyczepność do rur | 3,0 | 2,9 | 3,5 | 4,3 |
| Wytrzymałość na zginanie | 7,5 | 9,0 | 10,5 | 12,0 |

Tablica 3

Zaczyn cementowy nr 3 posiadał gęstość 1,76 g/cm³ oraz nie wykazał odstoju wody. Jego filtracja wyniosła 22,0 cm³/30 min. Zaczyn osiągnął początek gęstnienia po czasie 4 h 35 min, a koniec po 4 h 41 min. Próbki kamienia cementowego otrzymanego z zaczynu cementowego nr 3 przez cały okres sezonowania charakteryzowały się coraz wyższymi parametrami mechanicznymi.

| Składniki zaczynu nr 3 | | Skład [%] |
|------------------------|-----|-------------|
| Woda wodociągowa | w/c | 0,58 |
| KCl bwow | | 3,0 |
| Odpieniacz | | 1,0 |
| Upłynniacz | | 0,3 |
| Antyfiltrat | | 0,3 |
| Opóźniacz | | 0,8 |
| Stabilizator lateksu | | 2,0 |
| Lateks | | 15,0 |
| Mikrocement | | 20,0 |
| Mikrosilica | | 20,0 |
| Cement G | | 100,0 |

| Parametry reologiczne zaczynu cementowego nr 3 | | |
|--|-------|--------|
| Rozlewność [mm] | 240 | |
| Gęstość [g/cm ³] | 1,76 | |
| Odstój wody [%] | 0,0 | |
| Odczyty z aparatu Fann [obr./min] | 600 | 239 |
| | 300 | 139 |
| | 200 | 102 |
| | 100 | 76 |
| | 60 | 43 |
| | 30 | 27 |
| | 6 | 10 |
| 3 | 7 | |
| Lepkość plastyczna [mPa · s] | 94,5 | |
| Granica płynięcia [Pa] | 21,4 | |
| Czas gęstnienia [h-min], 110°C, 65 MPa | 30 Bc | 100 Bc |
| | 4-35 | 4-41 |
| Filtracja [cm ³ /30 min] | 22,0 | |



Wykres 3. Parametry mechaniczne próbki nr 3

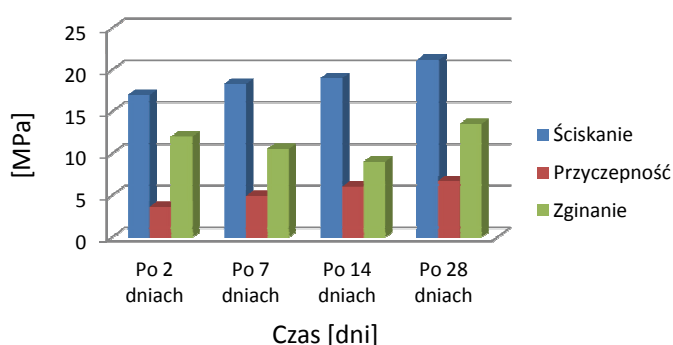
| Parametry mechaniczne kamienia cementowego nr 3 [MPa] | Po 2 dniach | Po 7 dniach | Po 14 dniach | Po 28 dniach |
|---|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Wytrzymałość na ściskanie | 12,7 | 14,5 | 14,9 | 16,2 |
| Przyczepność do rur | 3,1 | 3,4 | 4,0 | 4,6 |
| Wytrzymałość na zginanie | 9,0 | 10,5 | 12,0 | 12,0 |

Tablica 4

Dodatek hematytu w składzie zaczynu nr 4 wpłynął na zwiększenie jego gęstości do $1,88 \text{ g/cm}^3$. Filtracja wyniosła $16,0 \text{ cm}^3/30 \text{ min}$. Zaczyn osiągnął początek gęstnienia po czasie 5 h 07 min, a koniec po 5 h 22 min. Kamień cementowy przez cały okres sezonowania posiadał coraz wyższe wartości wytrzymałości na ściskanie oraz przyczepności do rur stalowych.

| Składniki zaczynu nr 4 | | Skład [%] |
|------------------------|-----|-------------|
| Woda wodociągowa | w/c | 0,56 |
| KCl bwow | | 3,0 |
| Odpniacz | | 1,0 |
| Uplynniciarz | | 0,3 |
| Antyfiltrat | | 0,3 |
| Opóźniacz | | 0,25 |
| Stabilizator lateksu | | 2,0 |
| Lateks | | 15,0 |
| Hematyt | | 15,0 |
| Mikrocement | | 20,0 |
| Mikrosilica | | 20,0 |
| Cement G | | 100,0 |

| Parametry reologiczne zaczynu cementowego nr 4 | | |
|---|-------|--------|
| Rozlewność [mm] | 260 | |
| Gęstość [g/cm^3] | 1,88 | |
| Odstój wody [%] | 0,0 | |
| Odczyty z aparatu Fann [obr./min] | 600 | 242 |
| | 300 | 126 |
| | 200 | 102 |
| | 100 | 73 |
| | 60 | 42 |
| | 30 | 26 |
| | 6 | 9 |
| | 3 | 7 |
| Lepkość plastyczna [$\text{mPa} \cdot \text{s}$] | 79,5 | |
| Granica płynięcia [Pa] | 22,3 | |
| Czas gęstnienia [h-min], 110°C , 65 MPa | 30 Bc | 100 Bc |
| | 5-07 | 5-22 |
| Filtracja [$\text{cm}^3/30 \text{ min}$] | 16,0 | |



Wykres 4. Parametry mechaniczne próbki nr 4

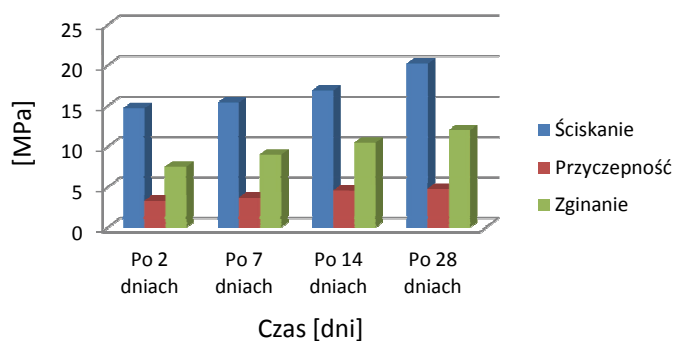
| Parametry mechaniczne kamienia cementowego nr 4 [MPa] | Po 2 dniach | Po 7 dniach | Po 14 dniach | Po 28 dniach |
|---|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Wytrzymałość na ściskanie | 17,0 | 18,3 | 19,0 | 21,2 |
| Przyczepność do rur | 3,6 | 4,9 | 6,0 | 6,7 |
| Wytrzymałość na zginanie | 10,5 | 10,5 | 12,0 | 13,5 |

Tablica 5

Zaczyn cementowy nr 5 posiadał gęstość $1,82 \text{ g/cm}^3$ oraz nie wykazał odstępu wody. Jego filtracja wyniosła $20,0 \text{ cm}^3/30 \text{ min}$. Zaczyn osiągnął początek gęstnienia po czasie 3 h 13 min, a koniec po 3 h 17 min. Wartości parametrów kamienia cementowego, takie jak: wytrzymałość na ściskanie, zginanie oraz przyczepność do rur stalowych, przez cały okres sezonowania ulegały podwyższeniu.

| Składniki zaczynu nr 5 | | Skład [%] |
|------------------------|-----|-------------|
| Woda wodociągowa | w/c | 0,57 |
| KCl bwow | | 3,0 |
| Odpniacz | | 1,0 |
| Uplynniciarz | | 0,3 |
| Antyfiltrat | | 0,3 |
| Opóźniacz | | 0,8 |
| Stabilizator lateksu | | 2,0 |
| Lateks | | 10,0 |
| Mikrocement | | 20,0 |
| Mikrosilica | | 20,0 |
| Cement G | | 100,0 |

| Parametry reologiczne zaczynu cementowego nr 5 | | |
|---|-------|--------|
| Rozlewność [mm] | 230 | |
| Gęstość [g/cm^3] | 1,82 | |
| Odstój wody [%] | 0,0 | |
| Odczyty z aparatu Fann [obr./min] | 600 | 268 |
| | 300 | 146 |
| | 200 | 108 |
| | 100 | 69 |
| | 60 | 43 |
| | 30 | 26 |
| | 6 | 10 |
| | 3 | 8 |
| Lepkość plastyczna [$\text{mPa} \cdot \text{s}$] | 115,5 | |
| Granica płynięcia [Pa] | 14,6 | |
| Czas gęstnienia [h-min], 120°C , 70 MPa | 30 Bc | 100 Bc |
| | 3-13 | 3-17 |
| Filtracja [$\text{cm}^3/30 \text{ min}$] | 20,0 | |



Wykres 5. Parametry mechaniczne próbki nr 5

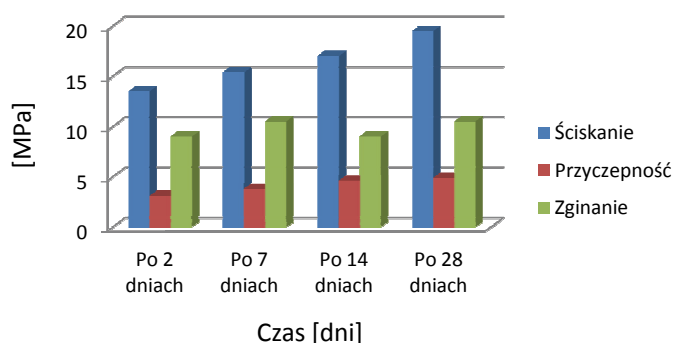
| Parametry mechaniczne kamienia cementowego nr 5 [MPa] | Po 2 dniach | Po 7 dniach | Po 14 dniach | Po 28 dniach |
|---|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Wytrzymałość na ściskanie | 14,7 | 15,4 | 16,9 | 20,2 |
| Przyczepność do rur | 3,3 | 3,7 | 4,6 | 4,8 |
| Wytrzymałość na zginanie | 7,5 | 9,0 | 10,5 | 12,0 |

Tablica 6

Zaczyn cementowy nr 6 z dodatkiem hematytu posiadał gęstość 1,86 g/cm³ oraz nie wykazał odstoju wody. Jego filtracja wyniosła 14,0 cm³/30 min. Zaczyn osiągnął początek gęstnienia po czasie 3 h 57 min, a koniec po 4 h 05 min. Kamień cementowy przez cały okres sezonowania posiadał coraz wyższe wartości wytrzymałości na ściskanie, przyczepności do rur oraz wytrzymałości na zginanie.

| Składniki zaczynu nr 6 | | Skład [%] |
|------------------------|-----|-------------|
| Woda wodociągowa | w/c | 0,62 |
| KCl bwow | | 3,0 |
| Odpieniacz | | 1,0 |
| Uplynniciarz | | 0,3 |
| Antyfiltrat | | 0,3 |
| Opóźniacz | | 1,5 |
| Stabilizator lateksu | | 2,0 |
| Lateks | | 10,0 |
| Hematyt | | 15,0 |
| Mikrocement | | 20,0 |
| Mikrosilica | | 20,0 |
| Cement G | | 100,0 |

| Parametry reologiczne zaczynu cementowego nr 6 | | |
|--|-------|--------|
| Rozlewność [mm] | 215 | |
| Gęstość [g/cm ³] | 1,86 | |
| Odstój wody [%] | 0,0 | |
| Odczyty z aparatu Fann [obr./min] | 600 | 268 |
| | 300 | 153 |
| | 200 | 118 |
| | 100 | 79 |
| | 60 | 52 |
| | 30 | 35 |
| | 6 | 16 |
| | 3 | 11 |
| Lepkość plastyczna [mPa · s] | 111,0 | |
| Granica płynięcia [Pa] | 20,2 | |
| Czas gęstnienia [h-min], 120°C, 70 MPa | 30 Bc | 100 Bc |
| | 3-57 | 4-05 |
| Filtracja [cm ³ /30 min] | 14,0 | |



Wykres 6. Parametry mechaniczne próbki nr 6

| Parametry mechaniczne kamienia cementowego nr 6 [MPa] | Po 2 dniach | Po 7 dniach | Po 14 dniach | Po 28 dniach |
|---|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Wytrzymałość na ściskanie | 13,5 | 15,4 | 17,0 | 19,5 |
| Przyczepność do rur | 3,1 | 3,8 | 4,6 | 4,9 |
| Wytrzymałość na zginanie | 9,0 | 10,5 | 9,0 | 10,5 |

Tablica 7. Zestawienie najlepszych zaczynów cementowych wytypowanych do uszczelniania kolumn rur okładzinowych w otworach horyzontalnych

| Temperatura [°C] | Nr zaczynu | Gęstość [g/cm ³] | Filtracja [cm ³ /30 min] | Lepkość plastyczna [mPa · s] | Granica płynięcia [Pa] | Czas gęstnienia [h-min] | | Wytrzymałość na ściskanie [MPa] | |
|------------------|------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------|--------|---------------------------------|--------|
| | | | | | | 30 Bc | 100 Bc | 2 dni | 28 dni |
| 100°C | 1 | 1,77 | 20,0 | 88,5 | 20,4 | 5-27 | 5-41 | 18,5 | 25,2 |
| | 2 | 1,80 | 16,0 | 88,5 | 21,4 | 3-58 | 4-09 | 16,0 | 21,3 |
| 110°C | 3 | 1,76 | 22,0 | 94,5 | 21,4 | 4-35 | 4-41 | 12,7 | 16,2 |
| | 4 | 1,88 | 16,0 | 79,5 | 22,3 | 5-07 | 5-22 | 17,0 | 21,2 |
| 120°C | 5 | 1,82 | 20,0 | 115,0 | 14,6 | 3-13 | 3-17 | 14,7 | 20,2 |
| | 6 | 1,86 | 14,0 | 111,0 | 20,2 | 3-57 | 4-05 | 13,5 | 19,5 |

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych sześciu wytypowanych składów zaczynów cementowych można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Poddane badaniom zaczyny cementowe o gęstości 1,76÷1,88 g/cm³ charakteryzowały się dobrymi parametrami reologicznymi oraz zerowym odstojem wody.
2. Opracowane receptury posiadały niską filtrację nieprzekraczającą 30,0 cm³/30 min.
3. Czasy gęstnienia zaczynów cementowych były odpowiednie dla danych warunków otworowych, jakie mogą panować podczas zatłaczania. Czasy te można swobodnie regulować środkiem opóźniającym wiązanie.
4. Zastosowanie w składach zaczynów uszczelniających hematytu w ilości 15% pozwoliło osiągnąć gęstości w granicach 1,86÷1,88 g/cm³, co nie wpłynęło na pogorszenie ich parametrów technologicznych.

5. Wszystkie parametry opracowanych składów zaczynów uszczelniających w razie potrzeby można z powodzeniem regulować, zmieniając ilości procentowe zastosowanych dodatków.
6. Lepkość plastyczna wytypowanych składów mieściła się w przedziale od 79,5 do 115,5 mPa · s, co pozwala na ich zastosowanie podczas uszczelniania otworów poziomych.
7. Granica płynięcia zaczynów uszczelniających wynosiła od 14,6 do 22,3 Pa. Wszystkie zaczyny cementowe mogą zostać użyte podczas cementowania otworów poziomych.
8. Opracowane próbki kamieni cementowych przetrzymywanych w warunkach otworopodobnych (ciśnienie i temperatura) wraz z upływem czasu odznaczały się wzrostem ich parametrów mechanicznych.
9. Z uwagi na parametry reologiczne opracowanych zaczynów cementowych mogą one być z powodzeniem stosowane podczas uszczelniania nie tylko głębokich otworów pionowych, ale i horyzontalnych.
Przeprowadzone badania parametrów zaczynów cementowych oraz powstałych z nich kamieni cementowych powinny być pomocne przy doborze składów charakteryzujących się odpowiednimi właściwościami do trudnych warunków geologicznych, jakie panują na dnie głębokich otworów wiertniczych. Ponadto uszczelnianie poziomych odcinków otworów wiertniczych wymaga turbulentnego przepływu zaczynu cementowego, dlatego też opracowane składki dzięki swoim parametrom reologicznym mogą być z powodzeniem stosowane podczas takich zabiegów.

Prosimy cytować jako: *Nafta-Gaz* 2015, nr 5, s. 283–289

Artykuł nadesłano do Redakcji 24.11.2014 r. Zatwierdzono do druku 6.02.2015 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Opracowanie zaczynów cementowych do otworów o temperaturze dynamicznej powyżej 100°C* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 0031/KW/2014, nr archiwalny: DK-4100-31/14.

Literatura

- [1] Debinska E.: *Ocena działania dodatków opóźniających czas wiązania zaczynów cementowych na podstawie badań laboratoryjnych*. *Nafta-Gaz* 2012, nr 4, s. 225–232.
- [2] Kremieniewski M. i in.: *Zaczyny cementowe przeznaczone do uszczelniania otworów horyzontalnych w formacjach łupkowych*. Praca Naukowa INiG 2012, nr 183 pt. *Rzeczpospolita łupkowa*, s. 243–258.
- [3] Kremieniewski M., Rzepka M.: *Wpływ procesu ogrzewania na reologię modyfikowanych zaczynów cementowych*. *Nafta-Gaz* 2009, nr 10, s. 775–805.
- [4] Kurdowski W.: *Chemia cementu i betonu*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [5] Rzepka M., Katna Z.: *Zaczyny cementowe z dodatkiem mikro-cementu do uszczelniania rur okładzinowych w warunkach wysokich temperatur i ciśnien zlozowych*. *Nafta-Gaz* 2006, nr 7–8, s. 364–369.
- [6] Rzepka M.: *Zaczyny cementowe do uszczelniania kolumn rur okładzinowych w głębokich otworach wiertniczych, w temperaturze dynamicznej do ok. 120°C*. *Nafta-Gaz* 2010, nr 4, s. 274–279.
- [7] www.itsi.pollub.pl/~mikrobi/gg/Wiertnictwo/projektowanie_konstrukcji-przewodu-wiertniczego.pdf (dostęp: sierpień 2014).
- [8] Szostak L.: *Wiertnictwo*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1989.



Mgr inż. Łukasz KUT
Asystent w Zakładzie Technologii Wiercenia.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25A
31-503 Kraków
E-mail: lukasz.kut@inig.pl