

Marcin Kremieniewski, Miłosz Kędziński, Marcin Rzepka

Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Symulator przepływu cieczy wiertniczych – zasada pomiaru i możliwości badawcze

Podczas tłoczenia zaczynu cementowego następuje wypieranie płuczki wiertniczej z przestrzeni pierścieniowej. Jednak zaczyn nie jest w stanie dostatecznie dobrze usunąć pozostałego po płuczce osadu płuczkowego. W celu dobrego uszczelnienia otworu i rur zaczynem, który po związaniu ma uniemożliwić przepływ gazu, niezbędne jest dokładne oczyszczenie przestrzeni pierścieniowej z osadu płuczkowego poprzez przetłoczenie odpowiednio zaprojektowanej cieczy przemywającej, a następnie całkowite wyparcie płuczki przez ciecz buforową i zaczyn cementowy. Dotychczas parametry pozwalające określić skuteczność działania cieczy przemywającej określone były przy użyciu viskozymetru obrotowego. Badanie polegało na wytworzeniu osadu na powierzchni rotora wskutek ruchu obrotowego rotora w płuczce wiertniczej. Następnie osad ten był usuwany w cieczy przemywającej w sposób analogiczny jak podczas wytwarzania osadu wskutek ruchu obrotowego. Na podstawie różnicy masy rotora przed wytworzeniem osadu, po wytworzeniu oraz po usunięciu osadu określano jego procentowe usunięcie. Metoda ta pomimo swojej prostoty oraz szybkości cechowała się sporym zakresem błędów pomiaru. W związku z powyższym zaprojektowany został **symulator przepływu cieczy wiertniczych** (zgłoszenie patentowe P.423842), który umożliwia odwzorowanie ruchu poszczególnych cieczy wiertniczych w symulowanej przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego. Na podstawie prac badawczych przy użyciu symulatora przepływu cieczy wiertniczych możliwe jest określenie wielu parametrów decydujących o efektywności uszczelniania przestrzeni pierścieniowej i pozarurowej. W niniejszej publikacji omówiono zasadę działania symulatora przepływu cieczy wiertniczych oraz jego możliwości badawcze. Przeprowadzone zostały też przykładowe testy w celu przedstawienia metodyki badawczej przy użyciu innowacyjnego urządzenia. Na podstawie wyników badań uzyskanych podczas testów z zastosowaniem symulatora przepływu cieczy określono skuteczność działania wytypowanych cieczy przemywających w stosunku do próbki bazowej, która nie posiadała osadu płuczkowego.

Słowa kluczowe: symulator przepływu cieczy wiertniczych, ciecz przemywająca, oczyszczenie przestrzeni pierścieniowej, osad płuczkowy, uszczelnienie otworu wiertniczego.

Drilling fluid flow simulator – the principle of measurement and research capabilities

During the pumping of cement slurry, drilling mud is removed from the annular space. However, cement slurry cannot sufficiently remove residues from the mud. In order to properly seal the borehole and casing with cement slurry, which after binding is designed to prevent the flow of gas, it is necessary to clean the annular space from filter cake by pumping the preflush fluid, and then completely removing the mud by spacer fluid and cement slurry. Earlier, the parameters allowing to determine the effectiveness of the preflush fluids were determined using a rotating viscometer. The test consisted of the formation of mud cake on the surface of the rotor due to rotational motion of the rotor in the drilling mud. Then the mud cake was removed in the preflush fluid in a manner analogous to the generation of mud cake due to rotation. On the basis of the rotor weight difference before the filter cake was produced, after the mud cake was produced and after removal of the mud cake, the percentage of the removal was determined. This method, despite its simplicity and rapidity, was characterized by a large range of measurement error. Therefore, the “drilling fluid flow simulator” was designed (patent application P.423842), which allows to map the movement of drilling fluids in a simulated borehole annular space. Based on research using the drilling fluid flow simulator, it is possible to determine a number of parameters determining the efficiency of sealing the annular space. This paper discusses the operating principle of a drilling fluid flow simulator and its research capabilities. Also, exemplary tests were carried out to present the research methodology using an innovative device. Based on the test results obtained during the tests carried out with the use of the fluid flow simulator, the effectiveness of the selected preflush fluids in relation to the base sample without the mud cake was determined.

Key words: drilling fluids flow simulator, preflush fluid, cleaning of the annular space, mud cake, borehole sealing.

Wprowadzenie

Problematyka dotycząca braku szczelności odwiertów w ostatnich latach przyczyniła się do wzmożonego zainteresowania procesem zabiegu cementowania, który jest jedną z ważniejszych operacji w trakcie realizacji otworu. Dlatego też w placówkach badawczych prowadzi się specjalistyczne testy, a także modernizuje lub opracowuje nowe stanowiska badawcze, które są pomocne przy ocenie oczyszczenia przestrzeni pierścieniowej otworu podczas doboru odpowiedniego składu i właściwości cieczy wiertniczych oraz przy uzyskaniu reżimów tłoczenia pozwalających na poprawę uszczelniania przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego [1, 7]. W ostatnim czasie skoncentrowano się na badaniach skuteczności usuwania osadu płuczkowego z przestrzeni pierścieniowej lub pozarurowej w celu uzyskania lepszego uszczelnienia kolumny rur okładzinowych [3, 4, 12, 13]. W związku z tym realizowane były prace badawcze pod kątem określenia wpływu wydatku tłoczenia, czasu kontaktu oraz rodzaju zastosowanej cieczy przemywającej na poprawę oczyszczenia przestrzeni pierścieniowej.

Jak wiadomo, odpowiednie oczyszczenie przestrzeni pierścieniowej w znacznym stopniu przyczynia się do uzyskania wymaganej szczelności na kontakcie: formacja skalna–płaszcz cementowy–rura okładzinowa, a tym samym wpływa na wyeliminowanie migracji bądź ekshalacji gazu po zacementowaniu [2, 6, 9, 10]. Dodatkowo poprawne oczyszczenie przestrzeni pierścieniowej i uszczelnienie kolumny rur zapewnia również wieloletnią eksploatację odwiertu, minimalizując działanie środowiska korozyjnego na kolumnę rur w warunkach agresywnych [8]. W celu określenia skuteczności usuwania osadu płuczkowego z przestrzeni pierścieniowej dotychczas prowadzone były badania przy użyciu wiskozymetru obrotowego (fotografia 1). Pomiar odbywał się poprzez zanurzenie rotora symulującego powierzchnię rur okładzinowych w płuczce (fotografia 2) i utworzenie na jego powierzchni osadu poprzez ruch obrotowy rotora z określoną prędkością i przy określonym czasie kontaktu [1, 14]. Powstały na powierzchni rotora osad usuwano w cieczy przemywającej według metodyki analogicznej do wytwarzania osadu (ruch obrotowy w cieczy przemywającej).

Dla wyznaczenia skuteczności usuwania osadu płuczkowego najpierw określano masę rotora przed wytworzeniem osadu, następnie na powierzchni rotora wytwarzano osad płuczkowy, po czym ważono rotor wraz z osadem, a w końcowym etapie osad usuwano z powierzchni rotora poprzez jego ruch obrotowy w cieczy przemywającej i ponownie mierzono masę rotora z pozostałością osadu po płukaniu.

Na podstawie uzyskanych wyników obliczano procentową skuteczność usuwania osadu płuczkowego. Powyższa metoda pomiaru skuteczności działania cieczy przemywających lub efektywności usuwania osadu płuczkowego stanowi stosunkowo szybki i łatwy test. Udogodnieniem jest również fakt, że

wiskozymetr obrotowy to niemal podstawowe wyposażenie każdego laboratorium cieczy wiertniczych (laboratorium płuczkowe czy cementowe). Należy jednak wspomnieć o problemach powodujących powstawanie błędów pomiaru w tej metodzie. Pierwszą podstawową kwestią jest fakt, że powierzchnia rotora charakteryzuje się niskim współczynnikiem chropowatości. W związku z tym wytworzony osad płuczkowy samoczynnie spływa z powierzchni rotora, a usuwanie go za pomocą cieczy przemywających jest bardzo łatwe, co skutkuje uzyskaniem wysokich wartości skuteczności usuwania osadu. Częściowym rozwiązaniem tego problemu było naciśnięcie rotora [11] (fotografia 3) lub nakładanie siatki stalowej (fotografia 4), która pozwalała na lepsze wychwytywanie osadu płuczkowego. Pojawiał się jednak szereg dodatkowych problemów, takich jak brak możliwości wnikiwania filtratu w powierzchnię rotora, co uniemożliwiało odzwierciedlenie stanu faktycznego przyczepności osadu do np. półprzepuszczalnej powierzchni formacji skalnej. Problem ten próbowano wyeliminować poprzez zastąpienie rotora rdzeniem skalnym o określonym współczynniku filtracji oraz porowatości. Jednak pojawiały się innego rodzaju komplikacje, które związane były z bezwładnością cieczy w naczyniu. W początkowej fazie ruchu obrotowego rotora bądź rdzenia w naczyniu ciecz była nieruchoma i następowało tarcie na kontakcie powierzchni rotora i cieczy (obmywanie), jednak po pewnym czasie ciecz również nabierała ruchu obrotowego, przez co różnica prędkości ulegała zmniejs-



Fot. 1. Wiskozymetr obrotowy Fann model 900



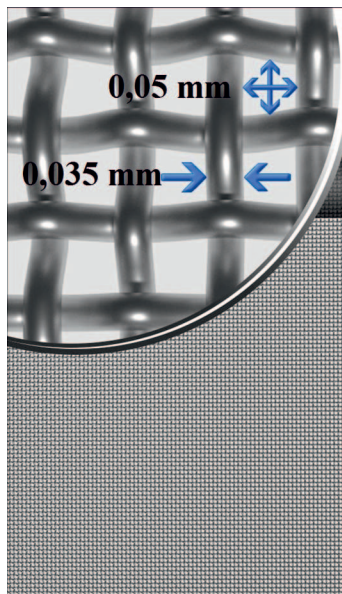
Fot. 2. Rotor zanurzony w płuczce (wytwarzanie osadu płuczkowego)

szeniu i osad płuczkowy wytwarzany był w coraz mniejszym stopniu. Pojawiające się problemy i związane z nimi błędy pomiaru wymusiły opracowanie nowego rozwiązania pozwalającego na przeprowadzenie testu efektywności usuwania osadu bądź skuteczności działania cieczy przemywających.

Za cel postawiono sobie uzyskanie możliwie jak najlepszego odwzorowania warunków otworowych. Analizując możliwości sprzętowe oraz niezbędną do rozwiązania problematykę, opracowano **symulator przepływu cieczy wiertniczych** (fotografia 5) – zgłoszenie patentowe P.423842.



Fot. 3. Rotor wiskozymetru obrotowego poddany modyfikacji poprzez nacinanie



Fot. 4. Siatka stalowa nakładana na rotor wiskozymetru obrotowego

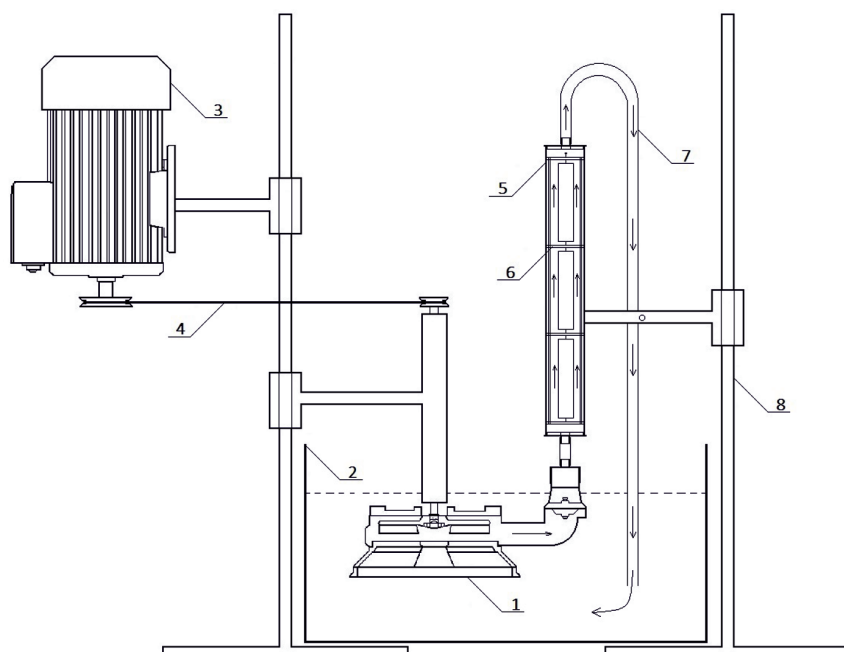


Fot. 5. Symulator przepływu cieczy wiertniczych – widok ogólny

Symulator przepływu cieczy wiertniczych

Skonstruowany w Instytucie Nafty i Gazu – Państwowym Instytucie Badawczym symulator przepływu cieczy wiertniczych umożliwia prowadzenie badań efektywności usuwania osadu płuczkowego lub skuteczności działania cieczy przemywających w warunkach semiotworowych. Urządzenie pozwala na symulowanie przepływu cieczy wiertniczej, odwierciedlając przepływ (płuczki, cieczy wyprzedzających, zaczynu cementowego) w przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego. Konstrukcja urządzenia pozwala przetłoczyć ciecz wiertniczą przez rurę w kierunku odwrotnym do grawitacji, dzięki czemu możliwe jest obmywanie cieczą umieszczonych w statywie wewnątrz rury próbek (rdzeni skalnych, próbek rury stalowej). Dodatkowo urządzenie pozwala na wytworzenie podwyższonych prędkości przepływu (przepływu turbulentnego) i umożliwia obserwację zachowania płynu podczas tłoczenia.

odśrodkowej z wirnikiem (1) zanurzonej w zbiorniku z cieczą wiertniczą (2). Układ ten napędzany jest silnikiem elek-



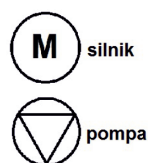
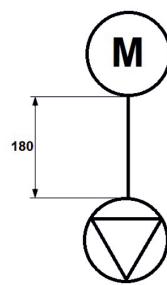
Rys. 1. Schemat symulatora przepływu cieczy wiertniczych

trycznym (3) poprzez pasek klinowy (4). Prędkość obrotowa silnika elektrycznego regulowana jest za pomocą sterownika elektronicznego, dzięki czemu możliwy jest dobór wydatku tłoczenia cieczy w zależności od wymaganego charakteru przepływu. Wylot pompy tłoczącej ciecz wiertniczą podłączony jest do dolnej części rury wykonanej z PVC (5). Wewnątrz rury (5) w specjalnym statywie (6) zamontowane są trzy próbki skały lub rury. Odprowadzenie cieczy wiertniczej następuje za pomocą węża odprowadzającego (7), który podłączony jest w górnej części rury symulującej przestrzeń pierścieniową (5), powrotnie do zbiornika z cieczą wiertniczą (2). Przepływ cieczy odbywa się w obiegu zamkniętym. Silnik, pompa oraz rura z PVC przymocowane są do dwóch statywów (8), które zapewniają stabilność urządzenia.

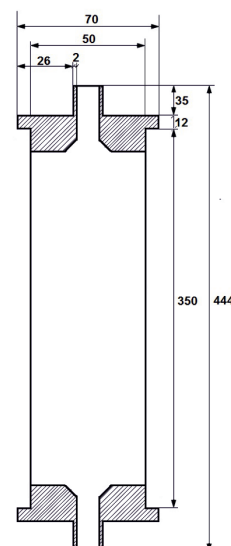
Zaprezentowany na rysunku 1 schemat symulatora przepływu cieczy wiertniczych przedstawia połączenie silnika z pompą odśrodkową według schematu znajdującego się na rysunku 2. W urządzeniu zastosowano rurę symulującą przestrzeń pierścieniową otworu wiertniczego (rysunek 3), w której zamieszczono w górnej i dolnej części zatyczkę przedstawioną na rysunku 4. Wewnątrz rury umieszczony jest statyw, zaprezentowany na rysunku 5 oraz (widok z góry) na rysunku 6. Ciecz wiertnicza jest tłoczona do rury za pomocą pompy odśrodkowej, której turbina przedstawiona została na rysunku 7.

Niewątpliwą zaletą urządzenia jest możliwość odwzorowania przepływu cieczy wiertniczej w przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego. Układ pozwala na tłoczenie cieczy z określonym wydatkiem (prędkością tłoczenia) poprzez regulację za pomocą sterownika prędkości obrotowej silnika. Urządzenie umożliwia zasymulowanie przepływu cieczy wiertniczej podczas jej tłoczenia w przestrzeni pierścieniowej lub pozarurowej otworu wiertniczego. Dodatkową zaletą jest możliwość wytworzenia przepływu turbulentnego przy ściankach rury (symulującej przestrzeń pierścieniową otworu), a nie w jej centrum.

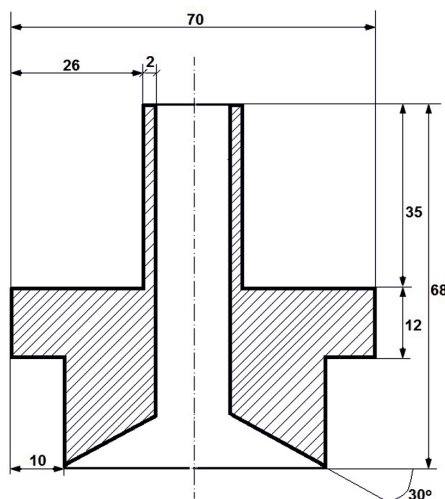
W symulatorze przepływu cieczy wiertniczych osad płuczkowy może być wytworzony na powierzchni rdzenia skalnego o określonym współczynniku przepuszczalności i porowatości, co pozwala na odzwierciedlenie tworzenia się osadu na powierzchni formacji skalnej. Natomiast stosując rurę stalową jako próbkę, na której wytwarzany jest osad, można zasymulować tworzenie się osadu płuczkowego na powierzchni rury okładzinowej o określonym współczynniku chropowatości.



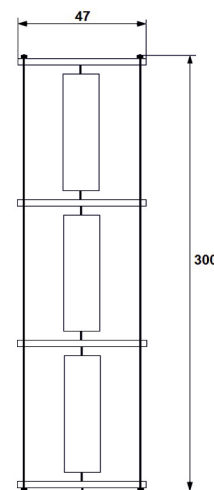
Rys. 2. Schemat połączenia silnika elektrycznego z pompą odśrodkową w symulatorze przepływu cieczy wiertniczych



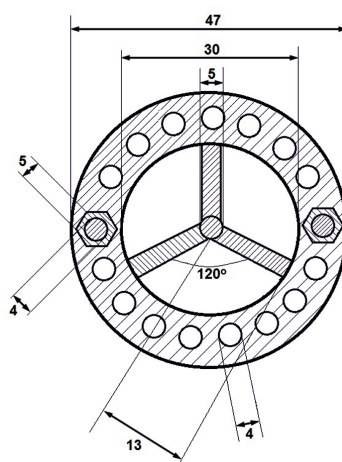
Rys. 3. Schemat rury symulującej przestrzeń pierścieniową



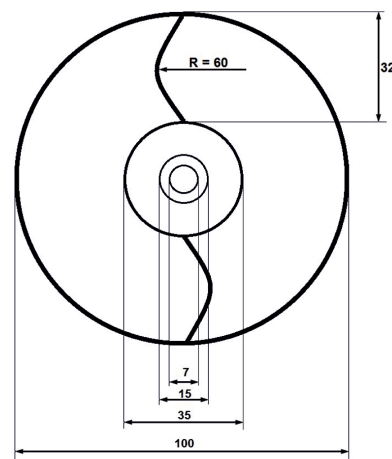
Rys. 4. Schemat zatyczki (góra i dół) rury symulującej przestrzeń pierścieniową



Rys. 5. Schemat statywu do utrzymywania rdzenia wewnątrz rury symulującej przestrzeń pierścieniową (widok z boku)



Rys. 6. Schemat statywu do utrzymywania rdzenia wewnątrz rury symulującej przestrzeń pierścieniową (widok z góry)



Rys. 7. Schemat wirnika pompy tłoczącej

Dzięki nieruchomo umieszczonym próbkom rdzenia skalnego (fotografia 6) lub rury okładzinowej (fotografia 7) i tłoczeniu w symulowanej przestrzeni pierścieniowej cieczy wiertniczej wyeliminowany został problem z poprzedniego urządzenia polegający na tym, że ciecz nabierała prędkości obrotowej wraz z ruchem obrotowym rdzenia. W symulatorze to ciecz jest w ruchu, czyli tak, jak to się dzieje w przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego, a prędkość przepływu tej cieczy pozostaje cały czas na stałym, określonym poziomie. Uzyskanie takich warunków pozwala wyeliminować błąd pomiaru, ponieważ warunki hydrauliczne są bardziej zbliżone do warunków otworowych.



Fot. 6. Rdzeń wycięty z próbki piaskowca

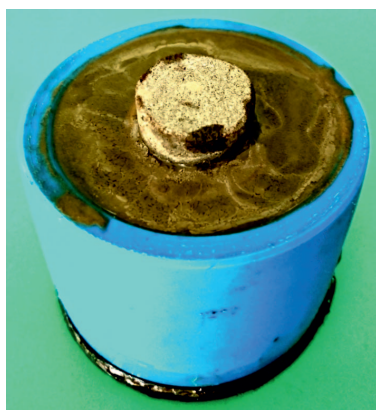


Fot. 7. Próbką rdzenia stalowego odwzorowującej powierzchnię rury okładzinowej

Badanie skuteczności usuwania osadu płuczkowego z powierzchni rdzeni skalnych – metodyka pomiaru przy użyciu symulatora przepływu cieczy wiertniczych

Pomiar polega na wytworzeniu osadu płuczkowego na powierzchni próbek wskutek przetłoczenia płuczki w symulowanej przestrzeni pierścieniowej i na obmywaniu tą płuczka w ustalonym czasie trzech próbek (rdzeni) umieszczonych w urządzeniu. Wydatek tłoczenia płuczki dobiera się indywidualnie, w zależności od wymagań. Warunki przepływu płuczki określone zostały na podstawie prób wstępnych oraz obserwacji prowadzonych podczas testów przygotowujących próbki rdzeni do badań. W kolejnym etapie następuje usuwanie osadu płuczkowego z powierzchni rdzeni poprzez tłoczenie cieczy przemywającej przy stałej wartości wydatku tłoczenia oraz stałym czasie kontaktu cieczy przemywającej z próbką skały.

Do prac badawczych przedstawionych w niniejszej publikacji użyto rdzeni piaskowca, które posiadały kształt walca o średnicy zewnętrznej 25 mm i długości 60 mm (fotografia 6). Po przetłoczeniu cieczy przemywającej przez układ z rdzeniami zostają one wyjęte i umieszczone w formie, a następnie zalane zaczynem cementowym (fotografia 8). Po określonym czasie hydratacji przeprowadza się badania przyczepności na kontakcie stwardniały zaczyn cementowy–rdzeń skalny (oczyszczony z wytworzonego wcześniej osadu). W celu zbadania przyczepności – próbki



Fot. 8. Próbką przygotowana do badań przyczepności na kontakcie stwardniały zaczyn cementowy–skała

umieszcza się między dwiema płytami maszyny wytrzymałościowej (fotografia 9) i poddaje pomiarowi siły zerwania przyczepności na kontakcie stwardniały zaczyn cementowy–skała pod wpływem obciążenia przyłożonego na próbkę.

Przyczepność (MPa) na kontakcie stwardniały zaczyn cementowy–rdzeń skalny zostaje obliczona według wzoru (1):

$$\sigma_p = \frac{P}{s} \cdot 10^{-3} \text{ [MPa]} \quad (1)$$

$$s = \pi \cdot d \cdot h \quad (2)$$

gdzie:

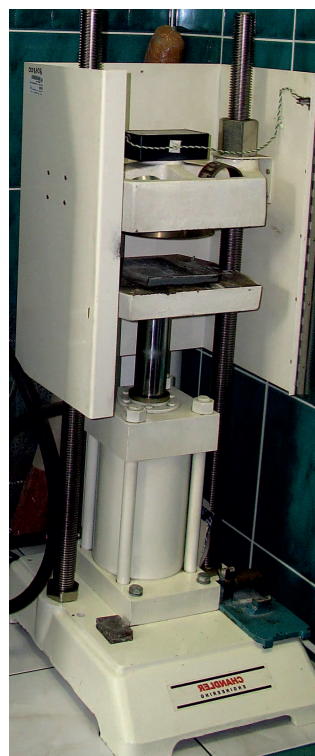
σ_p – przyczepność na kontakcie stwardniały zaczyn cementowy–rdzeń skalny [MPa],

P – siła nacisku powodująca zerwanie połączenia na kontakcie stwardniałego zaczynu cementowego ze skałą [kN],

s – powierzchnia styku próbki skały z zaczynem cementowym [m²],

d – średnica rdzenia [m],

h – wysokość zacementowanej części rdzenia [m].



Fot. 9. Maszyna wytrzymałościowa

Siła nacisku (P) zostaje odczytana ze wskaźnika maszyny wytrzymałościowej, a po-

wierzchnia styku skały ze stwardniałym zaczynem cementowym jest równa wartości pola powierzchni zewnętrznej rdzenia użytego do badań mierzonego do zacementowanej wysokości. Dla celów porównawczych tworzony jest punkt kontrolny, który odpowiada przyczepności na kontakcie stwardniały zaczyn–formacja skalna bez wcześniejszego wytwarzania osadu. Skuteczność usuwania osadu płuczkowego określana jest proporcjonalnie do wartości punktu odniesienia (punktu kontrolnego) według zależności (1). W tabelicy 1 zestawiono przykładowe wyniki badań.

$$S_u = \frac{x_1 \cdot 100\%}{x_2}$$

gdzie:

S_u – skuteczność usuwania osadu płuczkowego [%],

x_1 – średnia przyczepność na kontakcie stwardniały zaczyn cementowy–formacja skalna [MPa],

x_2 – wartość bazowa na kontakcie stwardniały zaczyn cementowy–formacja skalna [MPa].

W tabelicy 1 zestawiono przykładowe wyniki badań skuteczności usuwania osadu płuczkowego z powierzchni rdzenia w stosunku do wartości bazowej. Pomiar wykonano na podstawie badania przyczepności na kontakcie stwardniałego zaczynu cementowego do skały. Zakładając, że przy 100-procentowym oczyszczeniu powierzchni rdzenia przyczepność na kontakcie stwardniały zaczyn cementowy–skała wynosi 2,37 MPa (punkt kontrolny), to w zależności od uzyskanej przyczepności dla rdze-

ni po przemyciu z ich powierzchni osadu płuczkowego wyliczono proporcjonalną skuteczność usuwania osadu. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono 37,8-procentową skuteczność usuwania osadu z powierzchni rdzenia w stosunku do wartości skuteczności bazowej przy zastosowaniu 0,1-procentowej koncentracji cieczy nr 1 oraz 39,02-procentową skuteczność usuwania osadu z powierzchni rdzenia przy 10-krotnym wzroście koncentracji środka powierzchniowo czynnego w cieczy nr 1. Natomiast zastosowanie 0,1-procentowego stężenia SPCZ w cieczy nr 2 pozwoliło na uzyskanie 31,7-procentowej skuteczności usuwania osadu z powierzchni rdzenia w stosunku do próbki bazowej, a użycie 10-krotnie większej koncentracji środka powierzchniowo czynnego w cieczy przemywającej nr 2 dało 47,6-procentową skuteczność usuwania osadu.

Istnieje również inna metoda określania skuteczności usuwania osadu z powierzchni próbki (rdzenia skalnego lub rury okładzinowej), polegająca na pomiarze masy próbki przed wytworzeniem osadu, po wytworzeniu osadu oraz po przetłoczeniu cieczy przemywającej. Jednak badanie tego rodzaju obarczone jest większą wartością błęd pomiaru. Związany jest on z masą fazy ciekłej (z płuczki oraz z cieczy przemywającej) wnikażącej w półprzepuszczalną strukturę próbki skalnej, co jednocześnie zaburza dokładne ustalenie ilości wytworzonego oraz usuniętego osadu. Dlatego też badania poprzez określenie przyczepności na kontakcie stwardniałego zaczynu do powierzchni rdzenia skalnego potwierdzają, że pomiar taki pozwala na uzyskanie dokładniejszych wyników skuteczności usuwania osadu z powierzchni próbki.

Tabela 1. Przykładowe wyniki badań przyczepności oraz skuteczności usuwania osadu z powierzchni rdzenia

Lp.	Rodzaj środka	Koncentracja cieczy przemywającej	Siła zerwania przyczepności		Przyczepność na kontakcie stwardniały zaczyn cementowy–skała		Średnia przyczepność na kontakcie stwardniały zaczyn cementowy–skała	Procentowa skuteczność usuwania osadu z powierzchni rdzenia w stosunku do wartości skuteczności bazowej
		[%]	[kN]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[%]
1.	Próbka bazowa	–	8,2	8,2	2,37	2,37	Wartość bazowa 2,37 MPa	100
2.	Ciecz 1	0,1	3,0	3,2	0,87	0,92	0,90	37,80
3.		1,0	3,3	3,1	0,95	0,90	0,92	39,02
6.	Ciecz 2	0,1	2,5	2,7	0,72	0,78	0,75	31,71
7.		1,0	3,8	4,0	1,10	1,16	1,13	47,56

Możliwości badawcze przy zastosowaniu symulatora przepływu cieczy wiertniczych

Symulator przepływu cieczy wiertniczych skonstruowany został głównie z myślą o prowadzeniu badań nad określeniem skuteczności działania różnych cieczy przemywających w symulowanych warunkach otworopodobnych. Podczas ba-

dania, w którym ciecz przemywająca tłoczona jest w symulowanej przestrzeni pierścieniowej układu zamkniętego, możliwe jest również określenie procentowej skuteczności usuwania osadu z powierzchni o określonym współczynniku

chropowatości (wybranej struktury geologicznej – rdzenia pobranego z danej głębokości lub z powierzchni rury okładzinowej).

Ponadto urządzenie umożliwia wykonanie szeregu dodatkowych pomiarów, między innymi:

- Badanie wpływu wydatku tłoczenia i liczby Reynoldsa na skuteczność usuwania osadu. W testach tego rodzaju wydatek tłoczenia jest płynnie regulowany za pomocą elektronicznego sterownika. W zależności od ustalonej wartości wydatku tłoczenia cieczy, zarówno przemywającej, jak i cieczy buforowej, możliwe jest określenie skuteczności usuwania osadu.
- Badanie wpływu czasu kontaktu cieczy przemywającej z oczyszczaną powierzchnią na skuteczność usuwania osadu. W badaniu tym w zależności od czasu kontaktu cieczy, zarówno przemywającej, jak i cieczy buforowej, możliwe jest określenie skuteczności usuwania osadu z przestrzeni pierścieniowej.
- Pomiar wpływu wydatku przepływu płuczki w symulowanej przestrzeni pierścieniowej na stopień tworzenia się osadu z płuczki określonego rodzaju. Na podstawie różnicy masy próbki przed i po przetłoczeniu płuczki możliwe jest określenie ilości osadu wytworzonego na próbce określonego rodzaju.
- Pomiar skuteczności wynoszenia zwiercin w zależności od kąta nachylenia otworu. W zależności od płynnie regulowanego nachylenia układu odwzorowującego przestrzeń pierścieniową otworu wiertniczego możliwe jest określenie powyższej zależności.
- Pomiar skuteczności wynoszenia zwiercin w zależności od prędkości przepływu płuczki. Na podstawie płynnie regulowanego wydatku tłoczenia płuczki oraz jej parametrów reologicznych możliwe jest określenie zachowania się zwiercin w określonych warunkach.
- Pomiar stabilności sedymentacyjnej płuczki wiertniczej w warunkach dynamicznych w zależności od wydatku tło-

czenia płuczki oraz w zależności od wielkości przestrzeni pierścieniowej.

- Badanie wpływu cieczy buforowych na stabilność osadu płuczkowego. W zależności od rodzaju i składu tłoczony cieczy buforowej możliwe jest określenie jej wpływu na przyczepność płaszcza cementowego do formacji skalnej lub powierzchni rur okładzinowych.
- Badanie wpływu zaczynu cementowego na pozostałości nieusuniętego osadu płuczkowego. Stanowisko pozwala również na przetłoczenie określonego rodzaju zaczynu cementowego, a tym samym na pomiar skuteczności usuwania pozostałości osadu płuczkowego przez zaczyn z powierzchni formacji skalnej lub z powierzchni rur okładzinowych.
- Badanie wpływu ekscentryczności kolumny rur okładzinowych na skuteczność usuwania osadu. Urządzenie pozwala na symulację zróżnicowanego stopnia centryczności ułożenia kolumny rur wewnątrz symulowanej przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego.
- Badanie wpływu zatrzymania przepływu cieczy wiertniczej w warunkach otworopodobnych na efektywność wynoszenia zwiercin przez płuczkę podczas rozruchu oraz na stopień skonsolidowania osadu płuczkowego na powierzchni górotworu (rdzenia skalnego) w chwilowych warunkach statycznych (zatrzymanie krążenia płuczki).
- Badanie wpływu zmiany charakterystyki przepływu cieczy przemywającej lub cieczy buforowej (przejście z przepływu laminarnego na przepływ turbulentny) na skuteczność oczyszczenia przestrzeni pierścieniowej.
- Pomiar wpływu wymiany cieczy wiertniczych w przestrzeni pierścieniowej na skuteczność jej uszczelniania. Urządzenie pozwala na przetłoczenie sekwencji kilku cieczy (jedna po drugiej), dzięki czemu możliwe jest określenie wpływu zachowania się cieczy o różnym stopniu kompatybilności na jakość przepływu, tworzenia osadu i oczyszczania przestrzeni pierścieniowej.

Podsumowanie: Możliwości rozwojowe i nowe kierunki badań

Wszystkie prowadzone dotychczas testy przy użyciu symulatora przepływu cieczy wiertniczych odbywały się w warunkach semiotworowych w temperaturze otoczenia oraz przy ciśnieniu atmosferycznym. Planowana jest natomiast rozbudowa urządzenia poprzez zainstalowanie dodatkowego płaszcza grzewczego wraz ze sterownikiem pozwalającym na płynny dobór temperatury, której wartość będzie dostosowana do warunków panujących w trakcie tłoczenia danej cieczy wiertniczej. Dodatkowo urządzenie zostanie wyposażone w ogrzewany zbiornik na ciecz wiertniczą, która krążyć będzie w obiegu zamkniętym, co w znacznym stopniu pozwoli zminimalizować straty energii cieplnej. Drugą modyfikacją może być za-

stosowanie komory ciśnieniowej w celu wytworzenia ciśnienia symulującego ciśnienie hydrostatyczne w otworze wiertniczym. Po wprowadzeniu tych modyfikacji możliwe będzie wykonywanie badań w warunkach HTHP, co umożliwi jeszcze lepsze odwzorowanie warunków otworowych. Na podstawie realizowanych prac badawczych stwierdzono, że stosowane jest nadanie nowego kierunku badań, który pomoże uzupełnić dotychczasowy stan wiedzy. Prowadzenie badań w warunkach zbliżonych do otworowych pozwoli na dokładniejsze zaznajomienie się z procesami zachodzącymi na granicy faz: osad płuczkowy–ciecz przemywająca–ciecz buforowa–zaczyn cementowy pod kątem procesów zachodzących na kontakcie

wyżej wymienionych cieczy w warunkach HTHP. Dodatkowo wiedza uzyskana poprzez badania przy użyciu symulatora przepływu cieczy wiertniczych przyczynić się może do poszerzenia horyzontów naukowych badaczy, ale przede wszyst-

kim przydatna będzie podczas modyfikacji i opracowywania nowych receptur cieczy wiertniczych oraz projektowania warunków ich tłoczenia w celu poprawy efektywności uszczelniania kolumny rur okładzinowych.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2018, nr 7, s. 518–525, DOI: 10.18668/NG.2018.07.05

Artykuł nadesłano do Redakcji 7.05.2018 r. Zatwierdzono do druku 24.05.2018 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy badawczej pt.: *Analiza możliwości poprawy oczyszczenia przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego przed zabiegiem cementowania* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 58/KW/17, nr archiwalny: DK-4100/58/17.

Literatura

- [1] Błaż S.: *Nowe rodzaje cieczy przemawiających osady z płuczek inwersyjnej przed zabiegiem cementowania otworów wiertniczych*. Nafta-Gaz 2017, nr 5, s. 302–311, DOI: 10.18668/NG.2017.05.02.
- [2] Habrat S., Raczkowski J., Zawada S.: *Technika i technologia cementowań w wiertnictwie*. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1980.
- [3] Herman Z.: *Doskonalenie procesu cementowania rur okładzinowych w otworach wierconych przy użyciu płuczek: polimerowej z inhibitorem i polimerowej z inhibitorem kapsulującym w wybranych rejonach Karpat i przedgórze Karpat. Etap 01 – Opracowanie receptur zaczynów cementowych i technologii cementowania kolumn rur okładzinowych w wytypowanych rejonach wierceń w Karpatach Wschodnich*. Praca niepublikowana INiG, 1995.
- [4] Herman Z.: *Doskonalenie procesu cementowania rur okładzinowych w otworach wierconych przy użyciu płuczek: polimerowej z inhibitorem i polimerowej z inhibitorem kapsulującym w wybranych rejonach przedgórze Karpat. Etap 02 – Opracowanie receptur zaczynów cementowych i technologii cementowania dla wybranych rejonów skał zbiornikowych przedgórze Karpat*. Praca niepublikowana INiG, 1995.
- [5] Jasiński B.: *Ocena wpływu cieczy przemawiającej na jakość zacementowania rur w otworze wiertniczym po użyciu płuczki glikolowo-potasowej*. Nafta-Gaz 2016, nr 6, s. 413–421, DOI: 10.18668/NG.2016.06.04.
- [6] Kremieniewski M.: *Ograniczenie ekshalacji gazu w otworach wiertniczych poprzez modyfikację receptur oraz kształtowanie się struktury stwardniałych zaczynów uszczelniających*. Prace Naukowe INiG – PIB 2016, nr 199, s. 1–400, DOI: 10.18668/PN2016.199.
- [7] Kremieniewski M., Rzepka M.: *Przyczyny i skutki przepływu gazu w zacementowanej przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego oraz metody zapobiegania temu zjawisku*. Nafta-Gaz 2016, nr 9, s. 722–728, DOI: 10.18668/NG.2016.09.06.
- [8] Nelson E.B. i in.: *Well Cementing*. Schlumberger Educational Service, Houston, Texas 1990.
- [9] Stryczek S. (red.): *Studia nad doborem zaczynów uszczelniających w warunkach wierceń w basenie pomorskim*. Prace AGH, Kraków 2016.
- [10] Stryczek S., Gonet A.: *Kierunki ograniczania migracji gazu z przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego*. WUG: Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 2005, nr 3, s. 10–13.
- [11] Taoutaou S., Goh S.H., Bermea J.A.V., Vinaipanit M., McClure J.: *Achieving Zonal Isolation by Using New-Generation Mud Removal Chemistry and Design Methodology to Displace Non-Aqueous Drilling Fluid*. SPE-176061-MS, Society of Petroleum Engineers 2015.
- [12] Uliasz M., Chudoba J., Herman Z.: *Płuczki wiertnicze z inhibitorami polimerowymi i ich oddziaływanie na przewiercane skały*. Prace INiG 2006, nr 139, s. 1–72.
- [13] Uliasz M., Zima G., Błaż S., Jasiński B.: *Ocena właściwości cieczy wiertniczych w aspekcie zapobiegania migracji gazu w otworach na przedgórze Karpat*. Nafta-Gaz 2015, nr 1, s. 11–17.
- [14] van Zanten R., Deen L., Ezzat D.: *Successful Field Applications of Surfactant Nanotechnology to Displace Oil-based Drilling Fluids for Completion Operations*. AAE-11-NTCE-1, AAE 2011.



Dr inż. Marcin KREMIENIEWSKI
Adiunkt w Zakładzie Technologii Wiercenia.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: marcin.kremieniewski@inig.pl



Mgr inż. Miłosz KĘDZIŃSKI
Specjalista inżynierjno-techniczny w Zakładzie
Technologii Wiercenia.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: milosz.kedziński@inig.pl



Dr inż. Marcin RZEPKA
Kierownik Laboratorium Zaczynów Uszczelniających
w Zakładzie Technologii Wiercenia.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: marcin.rzepka@inig.pl