

Sławomir Błaż

Instytut Nafty i Gazu, Oddział Krosno

Zapobieganie zanikom płuczek w formacje skalne w procesie wiercenia

Wprowadzenie

Materiały i środki stosowane do likwidacji zaników płuczek wiertniczych w formacje skalne „LCM” były stosowane i wykorzystane przez dziesięciolecia w całej branży naftowej, z różnymi skutkami. Obecnie, przy wyższych kosztach wiercenia i wydobywania, problemy zaników płuczek – i związane z tym przerwy w wierceniu otworu – nabierają większego znaczenia.

Jednym z obszarów, na którym przemysł skupia coraz więcej uwagi jest zapewnienie stateczności otworu, a wraz z tym – zrozumienie zasad zaników płuczek, rozszczelinowania warstw na skutek jej zbyt wysokiego ciężaru, a także sypania i pęcznienia ścian otworu. Wszystkie te działania są szczególnie istotne w przypadkach wiercenia otworów w trudnych warunkach geologicznych. Wiercenie otworów w strefach skawernowanych i szczelinowatych może prowadzić do dużych strat cieczy wiertniczych, a nawet do utraty obiegu i zwiększenia czasu przestoju. Jeszcze większym wyzwaniem jest wiercenie otworów w złożach szcerpanych. W wyniku szcerpania złoża następuje spadek ciśnienia, co osłabia otaczające skały o niskiej przepuszczalności i prowadzi do zmian ciśnienia w formacji skalnej. Wiercenie w szcerpanych strefach staje się trudne, a w niektórych przypadkach praktycznie niemożliwe, ze względu na (wymaganą do zapewnienia stabilności ścian otworu) gęstość cieczy, przekraczającą gradient ciśnienia szczelinowania.

Zapobieganie zanikom płuczek podczas wiercenia otworu stanowi jeden z ważniejszych czynników wpływa-

jących na nieproduktywny czas wiercenia „NPT”, dlatego każda nowa technologia, która zmniejsza ten czas przekłada się na obniżenie kosztów wiercenia. Stosowane rozwiązania techniczne w zakresie problemów z zanikami płuczek i utratą obiegu powinny obejmować zarówno zapobieganie, jak i metody naprawcze. Istotnym jest również, by straty zostały ograniczane w chwili ich pojawiania się, lub aby planować wiercenie tak, aby im zapobiegać. W dotychczasowej praktyce wiertniczej, występujące podczas wiercenia otworu ucieczki i zaniki cieczy wiertniczych likwidowano przez podnoszenie lepkości obiegowej płuczki wiertniczej lub też stosowanie różnych dodatków zagęszczających ją. Innym sposobem likwidowania ucieczki płuczek wiertniczych w formacje skalne było stosowanie past bentonitowych z dodatkiem gęstych smarów, szybkowiążących zaczynów gipsowo-cementowych lub dodawanie do płuczki środków uszczelniających (te ostatnie przeważnie były dobierane w sposób zupełnie przypadkowy, w przypadkowo ustalonych proporcjach). Ponadto zabiegi likwidowania zaników płuczki w formacje skalne nie zawsze były skuteczne i stwarzały dużą dowolność; zarówno w doborze środków, jak i odpowiedniej technologii likwidowania zaników płuczki.

Niniejszy artykuł przedstawia metody doboru odpowiedniego typu i uziarnienia materiałów uszczelniających, do blokowania porów i ograniczania zaników płuczek wiertniczych w formacje skalne.

Metodyka badań

Badania nad ograniczaniem zaników płuczek wiertniczych w formacje skalne zostały przeprowadzone na

specjalnie skonstruowanym stanowisku badawczym, składającym się z przezroczystej rurki ciśnieniowej (o śred-

nicy wewnętrznej 50 mm i długości 30 cm, zatykanej dwoma korkami uszczelniającymi) i statywu. W korku dolnym znajdował się zawór spustowy, a w kroku górnym – przyłączy, za pomocą którego do rurki doprowadzano gaz z butli. Kolumnę pomiarową do połowy wypełniano ziarnami piasku lub specjalnie spreparowanymi okruchami skalnymi o określonej granulacji, tworząc symulowane, porowate złożo. Dla tak przygotowanego modelu skały porowatej dobierano odpowiedni typ i rozmiar materiałów do uszczelniania porów oraz zmniejszania ilości zaników płuczki. Badania przeprowadzono dla pięciu modeli złoża o różnej granulacji i różnej wielkości porów, z zastosowaniem płuczki potasowo-polimerowej o gęstości 1035 kg/m³ (tablica 1).

Tak przygotowane złożo zalewano określoną objętością płuczki – obserwując jej filtrację w złożo zarówno przy ciśnieniu hydrostatycznym, jak i przy wytworzonym ciśnieniu 0,7 MPa. Na podstawie tych badań określano skuteczność doboru materiałów doszczelniających, a także

przewodzone obserwacje przepływu płuczki przez złożo oraz tworzenie się osadu uszczelniającego. Efektywność blokowania porów przez dany materiał doszczelniający oznaczano na podstawie ilości wypływającej płuczki po 30 minutach, przy ciśnieniu 0,7 MPa.

Badania określające możliwość zmniejszenia zaników płuczki w złożo szczelinowate przeprowadzono na dyskach ceramicznych, o wielkości porów 20 μm i przepuszczalności 5 Darcy; z wyciętą szczeliną o długości 30 mm i szerokości 3 lub 5 mm, w temperaturze 65°C i ciśnieniu różnicowym 0,7 MPa, na prasie filtracyjnej HTHP. Badaniom zostały poddane blokatory organiczne i nieorganiczne, materiały o kształtach kulistych i nieregularnych oraz materiały włókniste, ziarniste i płatkowe, które oceniano pod względem skutecznego blokowania porów, spękań i szczelin oraz ich wpływu na właściwości płuczki. Materiały dobierano i analizowano również pod względem innych kryteriów badawczych; takich jak wielkości powierzchni, tekstury, twardości i gęstości.

Tablica 1. Właściwości płuczki potasowo-polimerowej


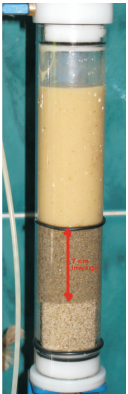
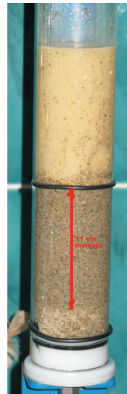
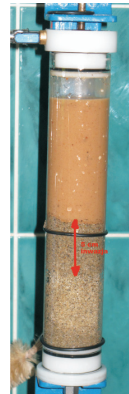

Skład płuczki [%]		Gęstość [kg/m ³]	Lepkość [mPa · s]		Granica płynięcia [lb/100ft ²]	Wytrzymałość strukturalna [lb/100ft ²]	pH	Filtracja [cm ³ /30 min]
			ρ	η_{pl}				
Biocyd	0,1	1035	24	34,5	21	4/6	9,7	8,4
XCD	0,2							
CMC LV	2,0							
KCl	3,0							
PHPA	0,1							
Blokator węglanowy	3,0							
Płuczka 1 + XCD	0,3	1035	27	42	30	6/10	9,5	5,2

Badania nad doбором środków zapobiegających zanikom płuczek wiertniczych w złożo o granulacji od 0,5 do 1 mm

Biorąc pod uwagę wielkość porów utworzonego złoża (o uziarnieniu 0,5÷1 mm) oraz granulację dostępnych materiałów uszczelniających, przeprowadzono badania możliwości zmniejszenia inwazji płuczki w złożo – w porównaniu do płuczki bentonitowo-wodorotlenkowej, charakteryzującej się zwiększoną reologią. Na podstawie wcześniejszych badań wybrano blokatory, które skutecznie uszczelniały złożo. Przedstawione w tablicy 2 wyniki badań dowodzą, że najlepsze efekty uzyskano stosując zestaw blokatorów: blokator organiczny K2 (0,070÷0,250 mm) oraz blokator Bf, przy którym to zestawie inwazja płuczki w złożo wyniosła 5 cm (fotografia 4). Skutecznym działaniem charakteryzował się także inny zestaw blokatorów: K2

(0,070÷0,250 mm) i M25 (0,005÷0,13 mm), przy którym inwazja płuczki w złożo wyniosła 7 cm (fotografia 2). Płuczka bentonitowo-wodorotlenkowa przy ciśnieniu hydrostatycznym wnikała w złożo na ok. 1 cm, natomiast po zwiększeniu ciśnienia do 0,7 MPa filtracja przez złożo była całkowita (fotografia 5). Dobrane do płuczki potasowo-polimerowej zestawy blokatorów skutecznie zmniejszyły jej wnikanie w złożo, a wprowadzenie do niej blokatorów o granulacji większej od założonej wielkości porów nie wpłynęło na zmniejszenie tej inwazji (fotografia 3). Maksymalna wielkość cząsteczek materiałów powinna być dobierana do przewidywanej maksymalnej wielkości porów skały.

Tablica 2. Dobór materiałów uszczelniających do ograniczenia zaników płuczki w złoże o uziarnieniu $0,5\div 1$ mm






				
Fot. 1. Filtracja płuczki przez złoże o uziarnieniu $0,5\div 1$ mm	Fot. 2. Płuczka potasowo-polimerowa + 1% K2 + 1% M25	Fot. 3. Płuczka potasowo-polimerowa + 1,5% Mt ($0,3\div 0,7$) + 1% K2 + 1% M25	Fot. 4. Płuczka potasowo-polimerowa + 1% Bf + 1% K2	Fot. 5. Płuczka bentonitowo-wodorotlenkowa WMG
Inwazja płuczki w złoże [cm]	7	11	5	Przy ciśnieniu hydrostatycznym – 1 cm; przy ciśnieniu 0,7 MPa – całkowita
Filtracja przez złoże [cm ³ /30 min]	0	0	0	320

Badania nad doborem środków zapobiegających zanikom płuczek wiertniczych w złoże o granulacji od 1 do 2 mm

W przypadku złoże o granulacji od 1 do 2 mm zastosowanie blokatorów drobnoziarnistych (np. K2) nie wpływa na zmniejszenie filtracji płuczki w złoże – granulacja blokatora K2 jest bowiem zbyt mała ($0,07\div 0,25$ mm),

aby skutecznie uszczelnić złoże porowate (filtracja przez nie wyniosła 320 cm³/30 min). Złoże o wielkości porów od 0,41 do 0,82 mm wymaga zastosowania materiałów uszczelniających o większej granulacji. Na podstawie

Tablica 3. Dobór materiałów uszczelniających do ograniczenia zaników płuczki w złoże o uziarnieniu $1\div 2$ mm

				
Fot. 7. Filtracja płuczki przez złoże o uziarnieniu $1\div 2$ mm	Fot. 8. Płuczka potasowo-polimerowa + 1% GM30 + 1% K2	Fot. 9. Płuczka potasowo-polimerowa + 1,5% Mt ($0,35\div 0,7$) + 1% K2	Fot. 10. Płuczka potasowo-polimerowa + 1% makuchy rzepakowe + 1% Bf	Fot. 11. Płuczka potasowo-polimerowa + 1% łupiny orzechowe <i>fine</i> + 1% K2
Inwazja płuczki w złoże [cm]	całkowita	całkowita	całkowita	całkowita
Filtracja przez złoże [cm ³ /30 min]	0	0	0	0

analizy dostępnych materiałów wybrano i przebadano: GM30, GM20, Mt (0,35÷0,7), makuchy rzepakowe i łupiny orzechowe *fine*; badania wykazały, że materiały te nie tworzą skutecznego uszczelnienia, ograniczającego filtrację płuczki w złoże.

Skuteczne uszczelnienie złoże i ograniczenie zaników płuczki wymaga wprowadzenia dodatkowego blokatora drobnopiękistego, który – osadzając się na wytworzonej warstwie materiału – doszczelnia złoże (fotografia 6). Po zastosowaniu zestawu blokatorów przedstawionych na fotografiach 8÷11 filtracja przez złoże została ograniczona do zera. Zastosowanie materiału o większej granulacji – GM20 (0,8÷1,15 mm), w kombinacji z blokadorem K2 jest przykładem niewłaściwego doboru uziarnienia materiału



Fot. 6. Osad wytworzony z Mt (0,35÷0,7) + K2, na złoże o uziarnieniu 1÷2 mm

uszczelniającego do wielkości porów złoże (filtracja przez złoże wyniosła 65 cm³/30 min).

Badania nad doborem środków zapobiegających zanikom płuczek wiertniczych w złoże o granulacji od 2 do 5 mm

Złoże o wielkości porów i szczelin od 0,82 do 2,05 mm wymaga zastosowania zestawu materiałów uszczelniających o odpowiednio dobranych rozmiarach i koncentracji. Badania przeprowadzono na płuczce potasowo-polimerowej z dodatkiem 0,3% XCD. Z badań tych wynika, że materiały o większych cząsteczkach mogą jedynie zmniejszać szczeliny i zaburzać przepływ płuczki przez złoże. Po utworze-

niu pierwszej warstwy materiału uszczelniającego należy wprowadzić także materiały o mniejszej granulacji, które zapewnią dodatkowe uszczelnienie – wpływając na zmniejszenie ucieczek płuczki. Efektywne blokowanie szczelin o wymiarach od 0,82 do 2,05 mm uzyskano stosując zestaw materiałów uszczelniających: GM12, GM20, GM30 oraz K2 (fotografia 13), przy użyciu którego filtrację płuczki przez

Tablica 4. Dobór materiałów uszczelniających do ograniczenia zaników płuczki w złoże o uziarnieniu 2÷5 mm

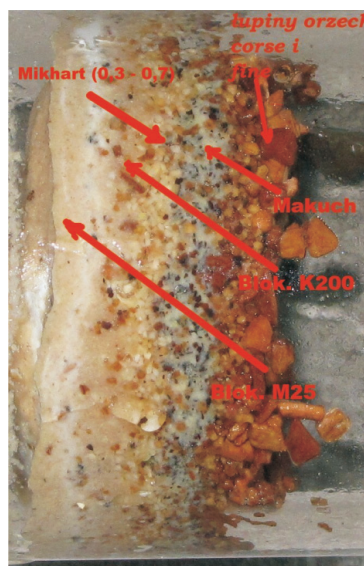
Fot. 12. Filtracja płuczki przez złoże o uziarnieniu 2÷5 mm	Fot. 13. Płuczka potasowo-polimerowa + 1,5% GM12 + 1% GM20 + 1% GM30 + 1% K2	Fot. 14. Płuczka potasowo-polimerowa + 1,5% Mt (1÷2) + 1% GM20 + 1% Mt (0,35÷0,7) + 1% Bf	Fot. 15. Płuczka potasowo-polimerowa + 0,2% włókna polipropylenowe (3 mm) + 1% łupiny orzechowe <i>fine</i> + 1% makuchy rzepakowe + 1% Mt (0,35÷0,7) + 1% K2	Fot. 16. Płuczka potasowo-polimerowa + 1,5% łupiny orzechowe <i>fine</i> + 1% makuchy rzepakowe + 1% Mt (0,35÷0,7) + 1% K2
Inwazja płuczki w złoże [cm]	całkowita	całkowita	całkowita	całkowita
Filtracja przez złoże [cm ³ /30 min]	0	3	0	0

złożę ograniczono do zera. Skutecznym działaniem uszczelniającym charakteryzował się też układ blokatorów: łupiny orzechowe *fine*, makuchy rzepakowe, Mt ($0,35\div 0,7$) i K2

(fotografia 16), a także zestaw blokatorów z dodatkiem materiału włóknistego (włókna polipropylenowe), (fotografia 15), przy których to układach filtracja również wyniosła zero.






Badania nad doborem środków zapobiegających zanikom płuczek w złożu o granulacji od 5 do 8 mm

Kolejne badania przeprowadzono na złożu o uziarnieniu od 5 do 8 mm, tworzącego szczeliny i pory o wielkości od 2,05 do 3,28 mm. Kształt i rozmiary cząstek oraz odpowiednie ich proporcje mają znaczący wpływ na prawidłowy dobór materiałów do uszczelnienia spękań i szczelin. Zastosowane materiały ziarniste (takie jak np. Mt) nie zmniejszają w sposób znaczący wnikania płuczki w szczeliny złoża – filtracja płuczki została ograniczona jedynie do 15 cm³/30 min (fotografia 20); natomiast zastosowane tych materiałów w kombinacjach z innymi, o innych kształtach, np. płatkowymi (wytloki buraczane) tworzy osad o dużo wyższej szczelności. Bardzo dobrymi właściwościami uszczelniającymi złożę charakteryzował się zestaw blokatorów składający się z łupin orzechowych *coarse* oraz *fine*, makuchów rzepakowych, Mt ($0,35\div 0,7$) i K2 (fotografia 17 i 22), a także zestaw materiałów o kształcie ziarnistym: GM 8, GM12, GM20, GM30 i K2 (fotografia 19). W obu przypadkach inwazja płuczki w złożę była całkowita, natomiast filtracja została ograniczona do zera. Przy takiej wielkości porów, płuczka



Fot. 17. Osad uszczelniający, wytworzony z płuczki potasowo-polimerowej z dodatkiem łupin orzechowych *coarse* oraz *fine*, a także makuchów rzepakowych, Mt ($0,35\div 0,7$) i K2

Tablica 5. Dobór materiałów uszczelniających do ograniczenia zaników płuczki w złożu o uziarnieniu 5÷8 mm

				
Fot. 18. Filtracja płuczki przez złożę o uziarnieniu 5÷8 mm	Fot. 19. Płuczka potasowo-polimerowa + 1,5% GM8 + 1% GM12 + 1% GM20 + 1% GM30 + 1% K2	Fot. 20. Płuczka potasowo-polimerowa + 1,5% Mt ($1,5\div 3,0$) + 1,5% Mt ($1,0\div 2,0$) + 1% GM20 + 1,0% Mt ($0,35\div 0,7$) + 1% K2	Fot. 21. Płuczka potasowo-polimerowa + 1% wytloki buraczane + 1,0% łupiny orzechowe <i>coarse</i> + 1% GM20 + 1,0% Mt ($0,3\div 0,7$) + 1% K2	Fot. 22. Płuczka potasowo-polimerowa + 1,5% łupiny orzechowe <i>coarse</i> + 1,5% łupiny orzechowe <i>fine</i> + 1% makuchy rzepakowe + 1,0% Mt ($0,35\div 0,7$) + 1% K2
Inwazja płuczki w złożę [cm]	całkowita	całkowita	całkowita	całkowita
Filtracja przez złożę [cm ³ /30 min]	0	15	0	0







– mimo zwiększonej reologii – będzie migrować w złoże do czasu wytworzenia osadu. Z chwilą gdy to nastąpi, inwazja

płuczki zostaje ograniczona, a ilość filtratu jaka przeszła przez złoże będzie świadczyć o jego szczelności.

Badania nad doбором środków zapobiegających zanikom płuczek wiertniczych w złoże o granulacji od 8 do 20 mm

Skuteczność uszczelnienia zależy od rozkładu i wielkości cząstek oraz ich koncentracji w płuczce; jeśli parametry te zostały dobrane nieprawidłowo wówczas skutecznie uszczelnienie nie powstanie, a płuczka wiertnicza wraz z blokatorami będzie migrować w głąb skały. Aby zaprezentować sposób niewłaściwego doboru materiału uszczelniającego, na fotografiach 23÷28 przedstawiono złoże o uziarnieniu od 8 do 20 mm, narażone na działanie cieczy wiertniczej zawierającej różnej wielkości dodatki ciał stałych.

8,28 mm. Badania przeprowadzono na płuczce potasowo-polimerowej z dodatkiem 0,3% XCD. Złoże o tak dużej koncentracji spękań w szczelinach wymaga stosowania zestawu materiałów uszczelniających, składającego się z blokatorów różniących się między sobą kształtem, elastycznością, wytrzymałością i granulacją. Zamieszczone w tabelicy 6 wyniki badań wskazują na efektywne blokowanie szczelin złoże o granulacji 8÷20 mm przy zastosowaniu układu blokatorów: wytloki buraczane, GM8, GM12, GM20, GM30 oraz K2 (fotografia 30). Wytworzony

					
Fot. 23. Płuczka potasowo-polimerowa + 1,5% GM6/8	Fot. 24. Płuczka potasowo-polimerowa + 1,0% wytloki buraczane	Fot. 25. Płuczka potasowo-polimerowa + 1,5% łupiny orzechowe <i>coarse</i>	Fot. 26. Płuczka potasowo-polimerowa + 0,2% włókna polipropylenowe	Fot. 27. Płuczka potasowo-polimerowa + 1,5% Mt (1,5÷3,0 mm)	Fot. 28. Płuczka potasowo-polimerowa + 1,5% Mt (0,35÷0,7 mm)






Na przedstawionych fotografiach widać, że gdy rozkład cząstek jest nieodpowiednio dobrany dla danej warstwy złoże, wtedy następuje przemieszczanie materiału w jego głąb – co utrudnia powstanie skutecznego uszczelnienia porów i szczelin. Dobór odpowiedniej granulacji materiałów uszczelniających do przewierczanych warstw jest na ogół trudny i skomplikowany. Podczas wiercenia otworu, wraz ze wzrostem jego głębokości zmienia się uziarnienie skał. Rozkład wielkości porów w danej formacji także może się różnić; zarówno w pionie, jak i w poziomie. Jak zatem widać, dobór odpowiedniej granulacji nie daje gwarancji dobrego uszczelnienia skały, a stosowanie materiałów uszczelniających jest skuteczne głównie w formacji jednorodnej, gdzie wielkość porów skały jest znana przed rozpoczęciem wiercenia.

Złoże o granulacji 8÷20 mm i współczynnika porowatości 42,8% może tworzyć pory o wielkości od 3,28 do

na złożu osad ograniczył filtrację płuczki do zera po 30 minutach i był na tyle szczelny, że po wylaniu płuczki i powtórny zalaniu złoże wodą, filtracja nie uległa zwiększeniu. Skutecznym działaniem uszczelniającym charakteryzował się również inny układ blokatorów: wytloki buraczane, łupiny orzechowe *coarse*, łupiny orzechowe *fine*, makuchy rzepakowe i K2 (fotografia 32). Jak wykazały badania, po wytworzeniu osadu uszczelniającego ucieczki płuczki w złoże zostały ograniczone; jej filtracja po 30 min wyniosła zero.

Opracowane składy blokatorów – w oparciu o rodzaje zastosowanych materiałów, granulację i koncentrację cząstek oraz odpowiednie zoptymalizowanie rozmiarów, w połączeniu z właściwościami tych materiałów (takimi jak elastyczność, wytrzymałość na ścislenie oraz struktura) – przyczyniły się do skutecznego ograniczania ucieczek płuczek; w szerokim zakresie rozmiarów porów i szczelin skały.

Tablica 6. Dobór materiałów uszczelniających do ograniczenia zaników płuczki w złoże o uziarnieniu 8÷20 mm

				
Fot. 29. Filtracja płuczki przez złoże o uziarnieniu 8÷20 mm	Fot. 30. Płuczka potasowo-polimerowa + 1,0% wycioki buraczane + 1,0% GM8 + 1% GM12 + 1% GM20 + 1% GM30 + 1% K2	Fot. 31. Płuczka potasowo-polimerowa + 1,0% wycioki buraczane + 1,5% Mt (1,5÷3,0) + 1,5% Mt (1,0÷2,0) + 1,0% Mt (0,35÷0,7) + 1% D1	Fot. 32. Płuczka potasowo-polimerowa + 1% wycioki buraczane + 1,0% łupiny orzechowe <i>coarse</i> + 1,0% łupiny orzechowe <i>fine</i> + 1% makuchy rzepakowe + 1% K2	Fot. 33. Płuczka potasowo-polimerowa + 1,5% GM6/8 + 1,5% Mt (1,5÷3,0) + 1,0% GM8 + 1% GM12 + 1% GM20 + 1% GM30 + 1% K2
Inwazja płuczki w złoże [cm]	całkowita	całkowita	całkowita	całkowita
Filtracja przez złoże [cm ³ /30 min]	0	15	0	40

Badania nad doбором środków zapobiegających zanikom płuczek wiertniczych w złoże szczelinowate o szerokości szczeliny 3 mm

Celem potwierdzenia skuteczności działania opracowanych zestawów materiałów uszczelniających, badania filtracji płuczki potasowo-polimerowej przeprowadzono na dysku ceramicznym o wielkości porów 20 μm i przepuszczalności 5 Darcy, mierząc aktualną filtrację płuczki w czasie.

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że stosowanie płuczki potasowo-polimerowej do przewiercania formacji skalnych o wielkości szczeliny ok. 3 mm wymaga stosowania materiałów uszczelniających – filtracja płuczki przez dysk ceramiczny już po 1 minucie była całkowita. Filtracja przy zastosowaniu zestawu mate-

riałów uszczelniających: GM8, GM12, GM20, GM30 i K2 wyniosła 56 cm³/30 min, natomiast po utworzeniu osadu zmniejszyła się do 6 cm³ (tablica 7), co może świadczyć o szczelności osadu, w znacznym stopniu przeciwdziałającego zanikowi płuczki.

Jeszcze lepszymi właściwościami uszczelniającymi wykazała się płuczka z dodatkiem zestawu materiałów blokujących, w którego składzie znalazły się łupiny orzechowe *coarse*, łupiny orzechowe *fine*, makuchy rzepakowe, Mt (0,35÷0,7) oraz K2; filtracja płuczki wyniosła wówczas 52,4 cm³/30 min, a po utworzeniu osadu zmalała do 4,4 cm³ (tablica 7, fotografia 34).

Badania nad doбором środków zapobiegających zanikom płuczek wiertniczych w złoże szczelinowate o szerokości szczeliny 5 mm

W tablicy 8 zamieszczono wyniki badań filtracji płuczki na dysku ceramicznym, o wielkości porów 20 μm i przepuszczalności 5 Darcy, z wyciętą szczeliną o długości 30 mm i szerokości 5 mm. Filtracja płuczki potasowo-polimerowej z dodatkiem materiałów uszczelniających:

wycioki buraczane, GM8, GM12, GM20, GM30 oraz K2 wyniosła 70,8 cm³, a po 1 minucie zmalała do 51,2 cm³. Filtracja płuczki wzrastała do momentu wytworzenia osadu, natomiast po jego wytworzeniu zmniejszyła się do ok. 10 cm³ (fotografia 35).

Tablica 7. Wartości filtracji płuczki potasowo-polimerowej z dodatkiem zestawu materiałów uszczelniających, przez dysk ceramiczny o wielkości porów 20 µm i przepuszczalności 5 Darcy, z wyciętą szczeliną o długości 30 mm i szerokości 3 mm

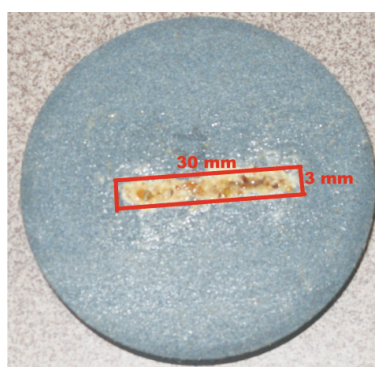
Płuczka potasowo-polimerowa + 0,3 XCD			
Skład mieszaniny uszczelniającej	Bez dodatku materiałów uszczelniających	+ 1,5% GM8 + 1% GM12 + 1% GM20 + 1% GM30 + 1% K2	+ 1,5% łupiny orzechowe <i>coarse</i> + 1,5% łupiny orzechowe <i>fine</i> + 1% makuchy rzepakowe + 1,0% Mt (0,35÷0,7) + 1% K2
Temperatura [°C]	65	65	65
Ciśnienie [MPa]	0,7	0,7	0,7
Czas [min]	Aktualna objętość filtratu [cm ³]		
1	Całkowita	14	16
5		18	19
7,5		25	23
10		26,2	24
15		27,4	24,6
20		27,6	24,8
25		27,8	25
30		28	25,2
Filtracja [cm ³ /30 min]		56	52,4
Filtracja po utworzeniu osadu [cm ³ /30 min]		6	4,4

Tablica 8. Wartości filtracji płuczki potasowo-polimerowej z dodatkiem zestawu materiałów uszczelniających, przez dysk ceramiczny o wielkości porów 20 µm i przepuszczalności 5 Darcy, z wyciętą szczeliną o długości 30 mm i szerokości 5 mm

Płuczka potasowo-polimerowa + 0,3 XCD			
Skład mieszaniny uszczelniającej	Bez dodatku materiałów uszczelniających	+ 1,0% wytloki buraczane + 1,0% GM8 + 1% GM12 + 1% GM20 + 1% GM30 + 1% K2	+ 1,0% wytloki buraczane + 1,5% Mt (1,5÷3,0) + 1,5% Mt (1,0÷2,0) + 1,0% Mt (0,35÷0,7) + 1% DI
Temperatura [°C]	65	65	65
Ciśnienie [MPa]	0,7	0,7	0,7
Czas [min]	Aktualna objętość filtratu [cm ³]		
1	Całkowita	25,6	32,0
5		28,4	34,6
7,5		30,4	35,8
10		31,6	37,2
15		32,2	38,8
20		33,6	42,8
25		34,8	44,6
30		35,4	46,2
Filtracja [cm ³ /30 min]		70,8	92,4
Filtracja po utworzeniu osadu [cm ³ /30 min]		10	20,8

Płuczka potasowo-polimerowa z dodatkiem materiałów: wytłoki buraczane, Mt (1,5÷3,0), Mt (1,0÷2,0), Mt (0,35÷0,7) oraz D1 (tablica 8) charakteryzowała się znacznie większą filtracją – 92,4 cm³, co świadczy o gorszych właściwościach uszczelniających zastosowanych materiałów. Wytworzony z ww. blokatorów osad nie był wystarczająco szczelny, by skutecznie obniżyć filtrację płuczki.

Analizując otrzymane wartości filtracji, można zauważyć jej znaczny wzrost po 1 minucie, natomiast w kolejnych interwałach czasowych następowało stopniowe jej obniżanie. Po około 10 minutach intensywność filtracji została ograniczona i ulegała zmianom jedynie w niewielkim



Fot. 34. Szczelina o długości 30 mm i szerokości 3 mm, wypełniona osadem z płuczki potasowo-polimerowej z dodatkiem łupin orzechowych *coarse*, łupin orzechowych *fine*, makuchów rzepakowych, Mt (0,35÷0,7) oraz K2



Fot. 35. Szczelina o długości 30 mm i szerokości 5 mm, wypełniona osadem z płuczki potasowo-polimerowej z dodatkiem: wytłoki buraczane, GM8, GM12, GM20, GM30 oraz K2

stopniu. W przypadku zapobiegania intensywnym zanikom płuczek wskazanym jest, by płuczka szybko tworzyła osad uszczelniający. Po wytworzeniu osadu i zablokowaniu szczeliny zaniki płuczki zostają ograniczone.

Materiały stosowane do ograniczania ucieczki płuczek wiertniczych w formacje skalne nie powinny powodować znacznego pogorszenia przepuszczalności, ponieważ zastosowane blokatory organiczne będą ulegać biodegradacji, a nieorganiczne – działaniu cieczy kwasującej. Włókna polipropylenowe nie ulegają biodegradacji i działaniu cieczy kwasującej, dlatego też nie powinny być stosowane do ograniczania zaników płuczek wiertniczych w strefach produktywnych.

Podsumowanie

1. Badania wykazały, że kluczowe znaczenie w zapobieganiu ucieczkom płuczek wiertniczych w formacje skalne odgrywa odpowiedni dobór materiałów – pod względem ich uziarnienia i koncentracji. Dodatkowymi czynnikami wpływającymi na skuteczność uszczelnienia porów i szczelin są właściwości materiałów, takie jak: kształt, wytrzymałość, elastyczność, chropowatość itp.
2. Skuteczne uszczelnienie porów i szczelin skał można osiągnąć stosując zestawy materiałów różniących się między sobą kształtem, powierzchnią, elastycznością oraz granulacją. Jeżeli powyższe cechy są zoptymalizowane, wówczas szybsze zablokowanie zaników i skuteczniejsze uszczelnienie może nastąpić przy zwiększonej koncentracji cząstek w cieczy. Uziarnienie materiałów uszczelniających nie powinno być dobierane według przypadku, lecz na podstawie dostępnych danych geologicznych lub przeprowadzonych badań laboratoryjnych.
3. Materiały o większej granulacji mają zdolność do mostkowania szerszych spękań i szczelin, jednak zbyt duża koncentracja cząstek o większych rozmiarach – bez dodatku szeregu mniejszych – nie zapobiegnie w dostatecznym stopniu migracji cieczy wiertniczych w skały. Maksymalna wielkość cząsteczek materiałów powinna być dobierana do górnej przewidywanej wielkości szczeliny, aby zapewnić optymalne mostkowanie i zamykanie spękań i szczelin o dużych rozmiarach.
4. Podczas badań wykazano, że aby zapewnić optymalne uszczelnienie cząsteczki blokatorów powinny charakteryzować się strukturą o pewnej „chropowatości”. Materiał uszczelniający w postaci łupin orzechowych okazał się bardziej skuteczny niż np. Mt. Ze względu na swą nieregularną powierzchnię, zapewnia on dobry punkt zakotwiczenia dla dodatkowych materiałów uszczelniających.

5. Materiały elastyczne skutecznie dopasowują się do rozmiarów szczelin, jednak z uwagi na ich zdolność do odkształcania się wymagają stosowania dodatkowych uszczelnaczy, w postaci materiałów sztywnych.
6. Charakterystyka i morfologia cząstek oraz odpowiednie ich proporcje mają duży wpływ na skuteczne uszczelnienie spękań i szczelin. Materiały włókniste (np. włókna polipropylenowe) lub środki o dużym zakresie granulacji (np. Mt) ogólnie nie wykazują dużej skuteczności, która jednak znacznie wzrasta, gdy są dodawane wraz z innymi materiałami – w postaci mieszaniny uszczelniającej.
7. W badaniach wykazano, że najlepszymi blokatorami, skutecznie uszczelniającymi pory i szczeliny skał, były: lupiny z orzechów o różnej granulacji, materiały z celulozy, materiały płatkowe (wytłoki buraczane) oraz blokatory organiczne (GM i K2). Materiały te mogą być wykorzystywane do optymalizacji obiegu płuczkowego podczas wiercenia otworu, w strefach zaników płuczki.
8. Wprowadzanie materiałów uszczelnianych o odpowiednim rozkładzie granulometrycznym daje największą szansę na zminimalizowanie, bądź całkowite wyeliminowanie problemu zaników płuczek.

Artykuł nadesłano do Redakcji 4.11.2010 r. Przyjęto do druku 13.01.2011 r.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Józef Raczkowski

Literatura

- [1] Arbizu A., Reid P., Santos H.: *Field results of ultra-low invasion drilling fluids demonstrate reduced wellbore instability, reduced mud losses, wellbore strengthening and improved well productivity*. AAE-06-DF-HO-15, Houston, Texas 2006.
- [2] Fang C.C., Thaemlitz C., Mathes J., Pate B., Whitfill D.: *A new polymer sealant for curing severe lost circulation events*. AAE-06-DF-HO-14, Houston, Texas 2006.
- [3] Hoff T., O'Connor R., Growcock F.: *Drilling fluid selection to minimize formation invasion – a new test method*. AAE-05-NTCE-73, Houston, Texas 2005.
- [4] Reid P., Santos H., Labenski F.: *Associative polymers for invasion control in water- and oil-based muds and in cementing spacers: laboratory and field case histories*. AAE-04-DF-HO-33, Houston, Texas 2004.
- [5] Sanders M., Young S., Friedheim J.: *Development and testing of novel additives for improved wellbore stability and reduced losses*. AAE-08-DF-HO-19, Houston, Texas 2008.
- [6] Shaker Selim S.: *Loss of circulation: Causes and consequences in geopressured systems*. AAE-08-DF-HO-22, Houston, Texas 2008.
- [7] Smith J.R., Growcock F.B., Rojas J.C.: *Wellbore strengthening while drilling above and below salt in the Gulf of Mexico*. AAE-08-DF-HO-21, Houston, Texas 2008.
- [8] Uliasz M. i in.: *Opinia do projektu płuczkowego dla otworu Strachocina H-2*. Dokumentacja INiG, Kraków, lipiec 2009.
- [9] Whitfill Donald L., Miller M.: *Developing and Testing Lost Circulation Materials*. AAE-08-DF-HO-24, Houston, Texas 2008.



Mgr inż. Sławomir BŁAŻ – absolwent Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Pracownik Zakładu Technologii Wiercenia Instytutu Nafty i Gazu Oddział Krosno. Zajmuje się tematyką związaną z technologią płuczek wiertniczych.