

O konieczności prowadzenia serwisowych badań parametrów technologicznych zaczynów uszczelniających

About the necessity to conduct service tests of technological parameters of cement slurries

Marcin Kremieniewski

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: W publikacji omówiona została konieczność prowadzenia specjalistycznych badań serwisowych przed zabiegiem cementowania i w trakcie uszczelniania otworów wiertniczych. Ze względu na zapotrzebowanie na poprawę parametrów mechanicznych płaszcz cementowego powstałego z lekkich zaczynów oraz z uwagi na występujące niekiedy różnice w parametrach zaczynów badanych w laboratorium oraz w warunkach otworowych postanowiono omówić przykładowe efekty realizowanych prac. Płaszcz cementowy powstały z zaczynu o obniżonej gęstości wymaga odpowiednio długiego czasu oczekiwania na związanie. Również wymagana wartość wytrzymałości na ściskanie jest osiągana po dłuższym czasie, niż dzieje się to w przypadku zaczynów o normalnej gęstości. W związku z powyższym bardzo ważne jest określenie w Instytucie Nafty i Gazu – Państwowym Instytucie Badawczym, po jakim czasie możliwe będzie przystąpienie do określonych czynności po cementowaniu. Ponadto prowadzone w trakcie zabiegu cementowania pomiary parametrów technologicznych zaczynów cementowych umożliwiają wprowadzenie korekty w składzie receptury podczas przygotowywania zaczynu do uszczelniania danej kolumny rur okładzinowych. Omówione w niniejszej publikacji receptury zaczynów zostały użyte do uszczelnienia kolumn rur okładzinowych dwóch otworów wiertniczych. Jedna receptura zaczynu nie została poddana poprzedzającym testom kontrolno-korygującym, natomiast drugi zaczyn został zweryfikowany uprzednio w laboratorium Instytutu Nafty i Gazu. Na podstawie przedstawionego w niniejszym artykule przykładu potwierdzono, że brak testów kontrolno-korygujących dla przygotowywanego do cementowania zaczynu może skutkować nieefektywnym przeprowadzeniem zabiegu cementowania. Badania parametrów zaczynów cementowych prowadzone przez Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy w znacznym stopniu przyczyniają się do poprawy efektywności uszczelniania otworów wiertniczych zarówno wskutek modyfikowania i projektowania receptur zaczynów cementowych, jak też poprzez monitorowanie oraz korygowanie parametrów technologicznych zaczynu sporządzanego w warunkach otworowych w trakcie zabiegu cementowania.

Słowa kluczowe: badania parametrów technologicznych, zaczyn cementowy, badania kontrolne, cementowanie otworów wiertniczych, stan zacementowania.

ABSTRACT: The publication discusses the necessity of conducting specialist service tests before cementing and during sealing of boreholes. Due to the need to improve the mechanical parameters of the cement stone made of lightweight cement slurries, and due to the differences in the parameters of slurries tested in the laboratory, and in borehole conditions, it was decided to discuss the exemplary effects of the works carried out. A cement coat made of a slurry with reduced density requires a sufficiently long waiting time for bonding. Also, the required compressive strength value is achieved after a longer time than is the case with normal density cement slurries. Therefore, it is very important to determine at the Oil and Gas Institute – National Research Institute after what time it will be possible to proceed to specific activities after cementing. In addition, during the cementing process, measurements of the technological parameters of cement slurries enable the correction of the composition of the slurry during the preparation of the grout for sealing a given column of casing pipes. The leaven formulations discussed in this publication were used to seal the columns of casing pipes of two boreholes. One leaven formulation was not subjected to previous control and correction tests, while the second leaven was verified previously in the laboratory of the Oil and Gas Institute. Based on the example presented in this article, it was confirmed that the lack of control and correction tests for the grout prepared for cementation may result in ineffective cementing. The research on the parameters of cement slurries conducted by the Oil and Gas Institute – National Research Institute significantly contributes to improving the efficiency of sealing wells both as a result of modifying and designing cement slurries formulas as well as monitoring and correcting technological parameters of grout prepared in borehole conditions during cementing.

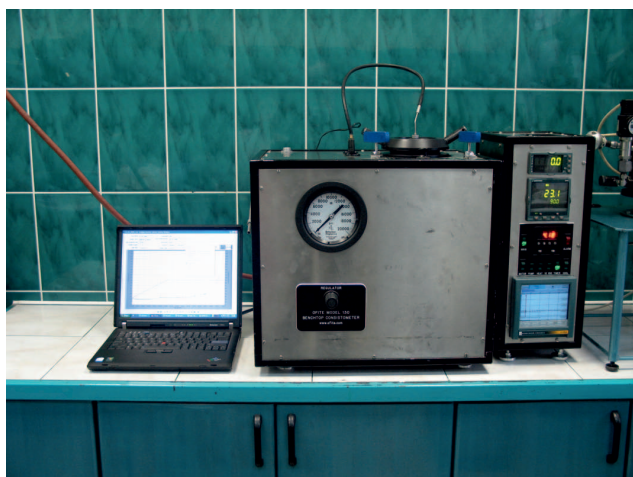
Key words: Tests of technological parameters, cement slurry, control tests, cementing of boreholes, condition of cementation.

Autor do korespondencji: M. Kremieniewski, e-mail: marcin.kremieniewski@inig.pl

Artykuł nadesłano do Redakcji 24.10.2018 r. Zatwierdzono do druku 7.01.2019 r.

Wprowadzenie

Zaczyny cementowe przeznaczone do uszczelniania poszczególnych kolumn rur okładzinowych w otworach wiertniczych muszą spełniać restrykcyjne wymagania dotyczące parametrów technologicznych. Z biegiem czasu wymagania dla zaczynów uszczelniających stają się coraz wyższe, co jednocześnie przekłada się na zwiększenie skuteczności uszczelniania przestrzeni pierścieniowej. Do znacznego postępu w rozwoju technologii cieczy wiertniczych przyczyniły się również prace badawczo-rozwojowe oraz prace serwisowe Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego. Na podstawie umowy z Polskim Górnictwem Naftowym i Gazownictwem INiG – PIB prowadzi badania serwisowe w warunkach otworowych podczas zabiegu cementowania. Celem tych badań jest oznaczanie parametrów zaczynu in situ. Realizacja prac serwisowych w obecności grupy badawczej INiG – PIB na wiertni w trakcie zabiegu cementowania wpływa na poprawę jakości uszczelnienia kolumn rur okładzinowych. Wykonanie testów w trakcie zabiegu cementowania możliwe jest poprzez wykorzystanie wysokiej klasy aparatury kontrolno-pomiarowej, takiej jak: przewoźny konsystometr ciśnieniowy (fot. 1), prasa filtracyjna (fot. 2), lepkościomierz, aparat do badania przepuszczalności gazu, aparat do badania migracji gazu (fot. 3), stanowisko do oznaczania kompatybilności poszczególnych cieczy wiertniczych (płuczka, bufor, zaczyn cementowy). Dodatkowo w laboratorium stacjonarnym INiG – PIB wykorzystywany jest analizator narastania statycznej wytrzymałości strukturalnej zaczynu cementowego (SGSM – *static gel strength measurement*), ultradźwiękowy analizator parametrów mechanicznych stwardniałego zaczynu cementowego (UCA – *ultrasonic cement analyzer*), porozymetr rтęciovy (fot. 5) oraz hydrauliczna prasa wytrzymałościowa do badań parametrów mechanicznych stwardniałych zaczynów cementowych.



Fot. 1. Przewoźny konsystometr wysokociśnieniowy
Fig. 1. A mobile high pressure consistometer



Fot. 2. Prasa filtracyjna
Fig. 2. Filter press



Fot. 3. Aparat do badania migracji gazu
Fig. 3. The device for testing gas migration device

Kryteria prawidłowego uszczelniania przestrzeni pierścieniowych i pozarurowych

Zabieg cementowania uznawany jest za najważniejszy etap realizacji otworu wiertniczego. Od skuteczności prac wykonanych na tym etapie wiercenia zależy powodzenie danego przedsięwzięcia. Ze względu na to, że jakość zaczynu cementowego przeznaczonego do uszczelniania otworu wiertniczego odgrywa kluczową rolę, to każdą recepturę należy poddać szczegółowym badaniom laboratoryjnym przed zabiegiem cementowania. Badaniami objęte są wszystkie parametry technologiczne mogące pośrednio bądź bezpośrednio wpływać na

przebieg oraz skuteczność wykonania zabiegu cementowania. Dodatkowo niezbędne jest prowadzenie testów kontrolno-pomiarowych lub kontrolno-korygujących dla obecnej w otworze cieczy wiertniczej oraz przygotowywanego na wiertni zaczynu cementowego. Takie działania ma na celu wczesne wykrycie, a następnie wyeliminowanie ewentualności powstawania błędów, które mogą wpłynąć na niepowodzenie zabiegu uszczelniania kolumn rur okładzinowych.



Fot. 4. UCA + SGSM (ultradźwiękowy analizator cementu + analizator narastania statycznej wytrzymałości strukturalnej)

Fig. 4. UCA + SGSM (ultrasonic cement analyzer + static gel strength measurement analyzer)



Fot. 5. Porozymetr rtęciowy

Fig. 5. Mercury porosimeter

Odpowiednie zaprojektowanie zaczynu cementowego przeznaczonego do uszczelniania przestrzeni pierścieniowej, przeprowadzenie serwisowych badań parametrów technologicznych zaczynu, kontrola jego jakości w trakcie prowadzenia zabiegu cementowania oraz prawidłowe wykonanie samego zabiegu cementowania przyczyniają się do uzyskania długoletniej trwałości i szczelności płaszczu cementowego.

Recepturę i parametry zaczynu dostosowuje się do występujących warunków geologiczno-technicznych panujących

w otworze, w którym następuje proces wiązania i tworzenia się płaszczu cementowego. Uwzględniany jest również rodzaj przewiercanych struktur geologicznych, głębokość końcowa, temperatura dynamiczna i statyczna oraz ciśnienie złożowe i ciśnienie szczelinowania. W związku z powyższym stosowane zaczyny cementowe powinny (Nelson i Guillot, 2006; Rzepka et al., 2012; Kremieniewski, 2018a):

- posiadać parametry umożliwiające przetłoczenie zaczynu cementowego przez czas konieczny do umiejscowienia go w przestrzeni pierścieniowej lub pozarurowej powiększonej o margines bezpieczeństwa;
- wiązać w niedługim czasie po wtłoczeniu do przestrzeni pierścieniowej lub pozarurowej (jednocześnie czas od momentu wtłoczenia płynnego zaczynu cementowego do momentu, w którym przechodzi on w fazę stałą, uzyskując zdolności szczelnego płaszczu cementowego, powinien być jak najkrótszy) (Małolepszy i Wójcik, 1987);
- uzyskać krótki czas przejścia (*transition time*) od wartości 50 Pa do wartości 250 Pa podczas pomiaru narastania statycznej wytrzymałości strukturalnej (SWS) (Dębińska, 2013; Kremieniewski et al., 2014);
- posiadać właściwości reologiczne pozwalające na skuteczne wypieranie płuczki i cieczy buforowej z otworu przy zachowaniu jak najmniejszych oporów hydraulicznych, a także umożliwiające uzyskanie maksymalnego promienia rozplywu w uszczelnianej przestrzeni (Gonet i Stryczek, 2001; Stryczek et al., 2009, 2014; Stryczek, 2011);
- wykazywać stabilność sedymentacyjną, zerowy odstęp wody, a także możliwie niską wartość filtracji (na poziomie nieprzekraczającym 50 cm³/30 minut) (Małolepszy i Wójcik, 1987; Gawlik i Szymczak, 2006; Kremieniewski i Rzepka, 2012).

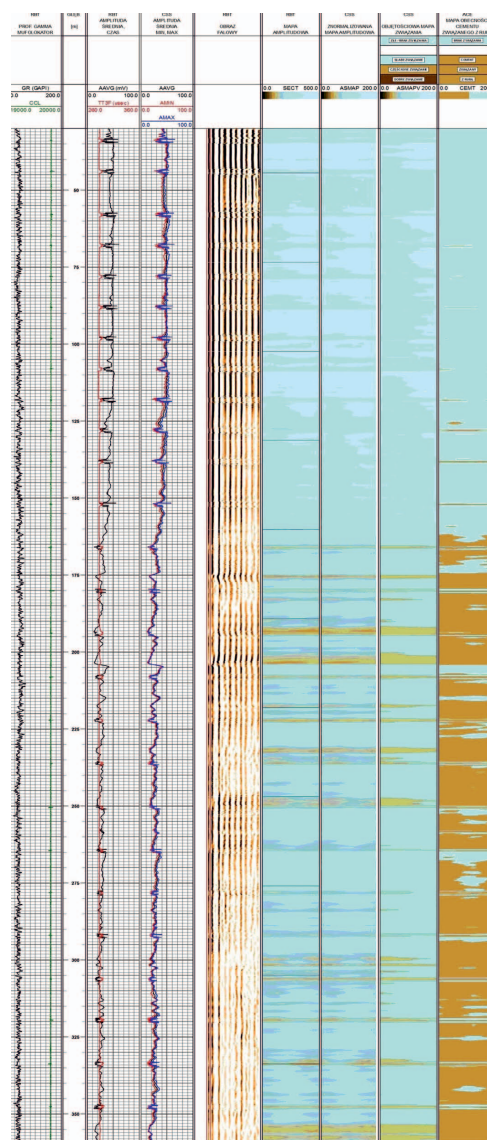
Natomiast struktura płaszczu cementowego utworzonego z zaczynu uszczelniającego w przestrzeni pierścieniowej bądź pozarurowej powinna (Małolepszy i Wójcik, 1987; Bensted, 2004; Bensted i Smith, 2008; Kremieniewski i Rzepka, 2017):

- wykazywać dobre związanie z kolumną rur okładzinowych i z formacją skalną oraz posiadać zerową bądź minimalną przepuszczalność, a także jak najmniejszą porowatość, czego efektem będzie odpowiednia izolacja międzystrefowa;
- posiadać wymagane parametry mechaniczne wytrzymałości na ściskanie, wytrzymałości na zginanie oraz przyczepności do rur stalowych;
- izolować kolumnę rur przed niszczącym działaniem płynów złożowych, a także przed zgnieceniem spowodowanym przez pęcznienie formacji skalnych;
- charakteryzować się brakiem skurczu podczas twardnienia (wyeliminowanie możliwości odklejenia od kolumny rur okładzinowych oraz formacji skalnej).

Zaznaczyć należy, że w ostatnich latach obserwuje się trend skracania czasu wymaganego do rozpoczęcia dalszych prac po cementowaniu oraz czasu oczekiwania na pomiary geofizyczne po załoczeniu i związaniu cementu. Powyższe znajduje przełożenie głównie na aspekt ekonomiczny i dotyczy przyspieszenia prac związanych z realizacją kolejnych etapów wiercenia otworu. Niestety przystąpienie do dalszych prac przed osiągnięciem wymaganych parametrów mechanicznych stwardniałego zaczynu może skutkować brakiem uzyskania odpowiedniej skuteczności uszczelnienia, z kolei wykonanie pomiarów po zbyt krótkim czasie wiązania zaczynu cementowego może powodować otrzymanie niemiernego obrazu stanu zacementowania, co przedstawiono na rysunkach 1 i 2. W związku z powyższym badanie parametrów mechanicznych próbki zaczynu cementowego pobranego bezpośrednio podczas zabiegu cementowania pozwala określić, po jakim czasie próbka osiągnie wartość wytrzymałości na ściskanie 3,5 MPa, czyli minimalny czas potrzebny do dalszych prac po cementowaniu (*woc*¹), oraz czas, po jakim próbka osiągnie wytrzymałość 14 MPa, która to wartość jest wymagana do przeprowadzenia pomiarów stanu zacementowania (Kremieniewski, 2016, 2018b, 2018c).

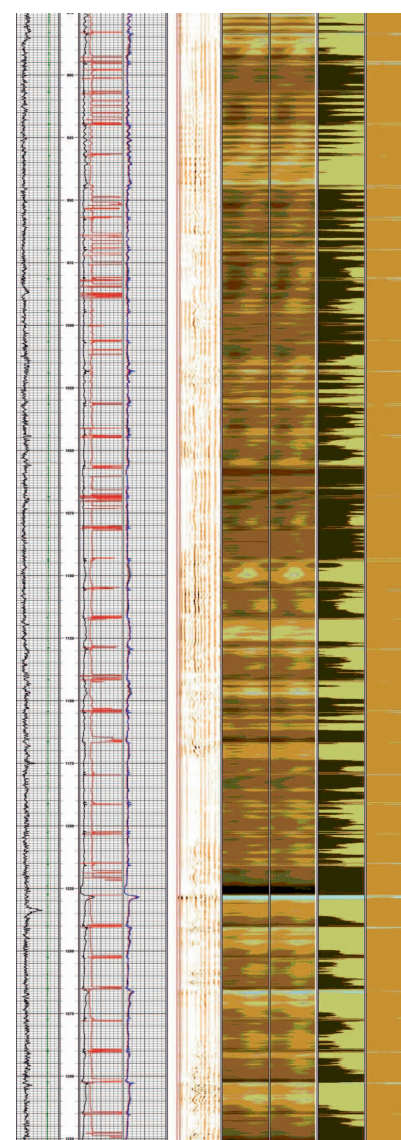
Ze względu na to, że od odpowiednio dobranych parametrów technologicznych zaczynu cementowego oraz poprawnie przeprowadzonego zabiegu cementowania zależy powodzenie całego przedsięwzięcia, to na tym etapie skupiona jest szczególna uwaga. Powyższe wręcz wymusza prowadzenie specjalistycznych badań serwisowych zaczynu cementowego zarówno w laboratorium przed zabiegiem cementowania,

¹ *woc* – z ang. *waiting on cement* – czas oczekiwania na cement



Rys. 1. Obraz stanu zacementowania wykonany przed osiągnięciem wymaganej wytrzymałości na ściskanie płaszcza cementowego – widoczny w prawej górnej części brak zaczynu w przestrzeni pierścieniowej, częściowe lub słabe związanie (kolor niebieski)

Fig. 1. Picture of the cementing state made before reaching the required compressive strength of the cement – visible in the upper right part, no hardened cement slurry in the annular space, partial or weak bonding (blue)



Rys. 2. Obraz stanu zacementowania wykonany po uzyskaniu wymaganej wytrzymałości na ściskanie płaszcza cementowego – pełne lub całkowite związanie zaczynu cementowego (kolor brązowy w prawej części)

Fig. 2. Image of the cementing state made after obtaining the required compressive strength of the cement – full or complete bonding of the hardened cement slurry (brown color in the right part)

jak też w trakcie prowadzenia prac cementacyjnych. Jest to niezwykle istotne, ponieważ ewentualność nieprawidłowego uszczelnienia (zwłaszcza strefy horyzontów produktywnych) powoduje powstawanie komplikacji przekładających się na trudności w likwidowaniu ekshalacji i ewentualnych wpływów medium złożowego z przestrzeni międzyrurowych i pozarurowych.

Konieczność prowadzenia badań serwisowych zaczynów cementowych jest szczególnie ważna w dwóch etapach:

- 1) badania zaczynów w laboratorium przed zabiegiem cementowania;
- 2) badania zaczynów na wiertni w trakcie prowadzenia zabiegu cementowania.

Podział taki pozwala na dokładniejsze śledzenie procesu uszczelniania przestrzeni pierścieniowej, co przyczynia się do prac mających na celu opracowanie coraz lepszych zaczynów uszczelniających poprzez ich modyfikację.

Badania prowadzone w laboratorium przed zabiegiem cementowania polegają na zweryfikowaniu receptury zaczynu pod kątem doboru optymalnych parametrów do danych warunków geologiczno-technicznych. Zaczyn sporządzany jest przy użyciu wszystkich dodatków i domieszek w składzie zarówno ilościowym, jak i jakościowym zgodnym z recepturą zaczynu przeznaczonego do uszczelniania danego otworu wiertniczego. Stosuje się również wodę zarobową z wiertni w celu uzyskania zgodności mineralogicznej cieczy zarobowej. Tak sporządzony zaczyn uszczelniający zostaje poddany badaniom zgodnie z normą PN-EN ISO 10426. Badane parametry zaczynu powinny być zgodne z założonymi w projekcie cementowania. W razie wystąpienia znacznych rozbieżności następuje weryfikacja składu receptur z jednostką wykonującą zabieg cementowania (serwisem cementacyjnym) w celu wdrożenia korekty składu zaczynu cementowego. W przypadku braku rozbieżności (parametry pokrywają się) wyniki również zostają przekazane do serwisu cementacyjnego i następnie podejmowana jest decyzja o zastosowaniu danego zaczynu podczas zabiegu cementowania.

Drugim etapem jest badanie zaczynu uszczelniającego w laboratorium mobilnym podczas prowadzenia zabiegu cementowania. Sporządzone na wiertni cieczy wiertnicze (ciecz przemysłowa, bufor oraz zaczyn cementowy) poddawane są badaniom zgodnie z obowiązującymi normami. Próbkę cieczy oraz zaczynu uszczelniającego pobierane są bezpośrednio z tzw. *bath mixerów* – „mieszalników” w celu weryfikacji parametrów zaczynu oraz wprowadzenia ewentualnej korekty w składzie. Podobnie jak w poprzednim cyklu badawczym (badania w laboratorium stacjonarnym), również podczas badań terenowych w przypadku braku rozbieżności parametrów (głównie gęstości oraz parametrów reologicznych) informacja o jakości zaczynu jest przekazywana do serwisu cementacyjnego, który następnie przystępuje do zabiegu cementowania. Dodatkowo próbki zaczynu badane są pod kątem obecności odstojów wody, filtracji zaczynu, czasu gęstnienia zaczynu.

Konieczność prowadzenia dodatkowych badań wynika z faktu, że mimo iż zabieg cementowania

jest już w trakcie (trwa zatłaczanie zaczynu w przestrzeń pierścieniową), to weryfikacja powyższych parametrów umożliwia wprowadzenie propozycji modyfikacji zaczynów przeznaczonych do dalszych zabiegów cementowań w formacjach charakteryzujących się porównywalnymi warunkami geologiczno-technicznymi.

Należy również dodać, że odwzorowanie warunków laboratoryjnych w warunkach terenowych jest niezwykle trudne do osiągnięcia, dlatego też z punktu widzenia nadzoru inwestorskiego badania *in situ* pozwalają na bardziej szczegółowe przedstawienie informacji o parametrach zastosowanego zaczynu cementowego. Dodatkowo w razie wystąpienia ewentualnych komplikacji jednostka wykonująca zabieg cementowania posiada swego rodzaju potwierdzenie poprawności wykonania prac i prawidłowego sporządzenia zaczynu.

Porównanie parametrów zaczynów uszczelniających po korekcie serwisu INiG – PIB oraz bez wprowadzenia korekty parametrów zaczynu przez laboratorium polowe

W poniższej części publikacji w tabeli 1 przedstawiono dwie receptury zaczynów zastosowanych w porównywalnych warunkach otworowych. Były to zaczyny dla temperatury 25°C i 30°C i ciśnienia 8 MPa oraz 10 MPa.

Pierwsza receptura zaczynu to skład z otworu SK 10. Dla receptury zaczynu użytego w tym otworze nie przeprowadzono wstępnych badań kontrolno-korygujących. Drugi zaczyn, zastosowany w otworze oznaczonym BW 2, został poddany

Tabela 1. Składy receptur zaczynów

Table 1. Compositions of cement slurry

Oznaczenie otworu dla warunków kolumna rur/temperatura/ciśnienie	SK 10 9 5/8"/25°C/8,1 MPa	BW 2 7"/30°C/10 MPa
Woda wodociągowa	w/c = 0,43	w/c = 0,49
Dodatek odpieniający	0,1%	0,5%
KCl (bwow)	–	3,0%
Dodatek upłynniający	–	0,2%
Dodatek antyfiltracyjny	–	0,1%
Wielkocząsteczkowy polimer antymigracyjny	6,0%	–
Lateks	–	8,0%
Stabilizator lateksu	–	1,0%
Dodatek skracający czas gęstnienia	2,0%	1,0%
Mikrocement	–	10,0%
Cement wiertniczy G HSR	100,0%	100,0%
Dodatek spęczniający	–	0,1%

Oznaczenia:

w/c – współczynnik wodno-cementowy, bwow – w stosunku do masy wody zarobowej

badaniom kontrolno-korygującym, w których parametry zaczynu zostały zweryfikowane przed zabiegiem cementowania z parametrami zapisanymi w projekcie.

Zaczyn o oznaczeniu SK 10 użyty do uszczelniania kolumny 9⁵/₈" zawierał środek odpieniający, polimer antymigracyjny oraz środek przyspieszający czas wiązania. Druga receptura to zaczyn zastosowany do uszczelniania kolumny rur 7" w otworze BW 2. W skład zaczynu wchodziły: środek odpieniający, upłynniający, antyfiltracyjny, lateks i stabilizator lateksu, środek przyspieszający gęstnienie oraz zastosowano 10-proc. ilość dodatku mikrocementu w celu doszczelnienia matrycy płaszczu cementowego. Spoiwem wiążącym w obydwu zaczynach był cement wiertniczy klasy G HSR. Składy ilościowe zestawiono w tabeli 1.

W tabeli 2 zestawiono parametry zaczynów. Analizując uzyskane wyniki badań stwierdzono znaczne rozbieżności w recepturze zaczynu niepoddanej wcześniejszym testom kontrolno-korygującym (otwór SK 10). Największe rozbieżności widoczne są w parametrach reologicznych zaczynu, gdzie założona lepkość plastyczna miała wynosić około 50 mPa · s, natomiast podczas zabiegu cementowania lepkość wynosiła 102 mPa · s. Ze względu na to, że serwis nie miał możliwości upłynnienia zaczynu na otworze, podjęto decyzję o zastosowaniu zarobionego zaczynu. Drugim parametrem wykazującym znaczne odstępstwo jest czas gęstnienia. W założeniach projektowych czas początku gęstnienia wynosił nieco ponad 6 godzin, a czasu końca gęstnienia miał nastąpić po około 7 godzinach. Jednakże po sporządzeniu niniejszego składu w trakcie cementowania czas początku gęstnienia uzyskano po 9 godzinach, natomiast czas końca gęstnienia nie został odnotowany do 12 godzin trwania testu.

Drugi skład zaczynu, który zastosowano do uszczelniania otworu BW 2, to receptura poddana badaniom w INiG – PIB w celu weryfikacji składu. Zestawienie parametrów w tabeli 2

przedstawia porównywalne wyniki parametrów założonych z parametrami uzyskanymi z próbki zaczynu sporządzonego podczas zabiegu cementowania. Różnice w lepkości plastycznej zawierają się w zakresie błędu pomiaru, ewentualnie ich obecność może wynikać z różnic temperatury otoczenia w warunkach laboratoryjnych i warunkach polowych. Również różnice w czasie gęstnienia zaczynu są minimalne i wynoszą od 4 do maksymalnie 8 minut w porównaniu do założeń projektowych.

Występujące różnice w parametrach zaczynów znajdują potwierdzenie w analizie makroskopowej próbek stwardniałego zaczynu. Na poniższym zestawieniu widoczne są nieciągłości i wgłębienia (fot. 6) w przekroju płaszczu cementowego uzyskanego z zaczynu, dla którego nie przeprowadzono poprzedzających badań kontrolno-korygujących (otwór SK 10). Również po naruszeniu struktury (odłam, fot. 7) występują wyraźne wgłębienia i pustki świadczące o niejednorodnej strukturze stwardniałego zaczynu. Fotografia 8 obrazuje ewentualność niepełnego wypełnienia uszczelnianej przestrzeni pierścieniowej. Widoczne jest nierównomierne rozplątanie się zaczynu podczas wykonywania próbek w formie, co może być efektem znacznie podwyższonej wartości lepkości plastycznej.

Porównując próbki stwardniałego zaczynu z receptury podanej wcześniejszym badaniom kontrolno-korygującym, zaobserwowano odwrotność w porównaniu do wcześniejszych próbek. Przekrój płaszczu cementowego przedstawiony na fotografii 9 jest jednolity bez widocznych wgłębień. Widoczny na fotografii 10 odłam próbki ukazuje jednolitą strukturę, świadczącą o prawidłowo zaprojektowanym i sporządzonym zaczynie cementowym, natomiast uzyskana z formy belka (fot. 11) stwardniałego zaczynu wykazuje jednorodność w całej objętości, co świadczy o odpowiedniej reologii zaczynu cementowego sporządzonego w warunkach otworowych.

Tabela 2. Parametry zaczynów (założone i realne na otworze)

Table 2. Cement slurries parameters (assumed and real on the borehole)

Rodzaj zaczynu		Zaczyn bez uprzednich testów kontrolno-korygujących		Zaczyn zweryfikowany uprzednio w laboratorium INiG – PIB	
		SK 10		BW 2	
Oznaczenie zaczynu		parametry założone	parametry na otworze	parametry założone	parametry na otworze
Gęstość [kg/m ³]		1800	1790	1800	1800
Filtracja [cm ³ /30 min]		12,0	8,0	28,0	30,0
Lepkość plastyczna [mPa · s]		50,2	102,0	99,0	84,0
Granica płynięcia [Pa]		16,9	16,3	5,3	5,3
Odstój wody [%]		0,0	0,4	0,0	0,0
Czas gęstnienia [h:min]	35 Bc	6:14	9:02	2:30	2:38
	100 Bc	6:53	ponad 12 godz.	3:15	3:11

Struktura stwardniałego zaczynu cementowego
bez poprzedzających badań kontrolno-korygujących

The structure of hardened cement slurry without preceding
control and correction tests



Fot. 6. Przekrój płaszczu cementowego (nieciągłości stwardniałego zaczynu)

Fig. 6. Cross-section of cement sheath (discontinuity of hardened cement slurry)



Fot. 7. Odłamek z próbki płaszczu cementowego (widoczne pustki)

Fig. 7. A fragment from a cement sheath sample (visible pore)



Fot. 8. Brak jednorodności w wypełnieniu uszczelnianej przestrzeni

Fig. 8. Lack of homogeneity in filling the sealed annular space

Struktura stwardniałego zaczynu cementowego
poddanego badaniom kontrolno-korygującym

Structure of hardened cement slurry after control
and correction



Fot. 9. Przekrój płaszczu cementowego (jednolita struktura)

Fig. 9. Cross-section of cement sheath (uniform structure)



Fot. 10. Odłamek z próbki płaszczu cementowego (jednolita struktura)

Fig. 10. A fragment from a cement coat sheath (uniform structure)



Fot. 11. Całkowite wypełnienie uszczelnianej przestrzeni

Fig. 11. Complete filling the sealed annular space

Wnioski

W niniejszej publikacji zaprezentowano wyniki badań zaczynu uszczelniającego poddanego badaniom wstępnym oraz bez prowadzonych wcześniej badań weryfikacyjnych. Stwierdzono różnice w parametrach zaczynów, które mogą mieć związek

z brakiem wcześniejszego pomiaru kontrolnego. Zaobserwowany wzrost parametrów reologicznych zaczynu nietestowanego wcześniej mógł skutkować niedokładnym wypełnieniem przestrzeni pierścieniowej, natomiast zbyt długi czas gęstnienia zaczynu mógł stwarzać możliwość wtargnięcia gazu w strukturę wiążącego zaczynu, co w konsekwencji będzie mogło wpływać

na niekontrolowane przepływy gazu wewnątrz tworzących się kanałów gazowych. W przypadku zastosowania zaczynu podanego wcześniej w badaniach w laboratorium – nie stwierdzono odstępstw od parametrów założonych w projekcie.

Konkluzje, jakie się nasuwają w związku z zaprezentowanymi wynikami badań, pozwalają na stwierdzenie, że prowadzenie serwisowych badań parametrów technologicznych zaczynów uszczelniających przed zabiegiem cementowania oraz w trakcie samego zabiegu przyczynia się w znacznym stopniu do poprawy efektywności uszczelnienia kolumn rur okładzinowych. Należy również mieć na uwadze, że badania prowadzone przez serwis INiG – PIB mają na celu ciągłą poprawę parametrów zaczynów przeznaczonych do stosowania w perspektywnym rejonie.

Artykuł powstał na podstawie pracy badawczej pt. *Analiza możliwości poprawy wczesnej wytrzymałości mechanicznej płaszcza cementowego z zaczynów lekkich* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 14/KW/18, nr archiwalny: DK-4100/14/18.

Literatura

- Bensted J., 2004. Cementy wiertnicze. Cz. 2. Stosowanie cementów wiertniczych do cementowania odwiertów. *Cement Wapno Beton*, 2: 61–72.
- Bensted J., Smith J.R., 2008. Cementy wiertnicze z historycznej perspektywy. *Cement Wapno Beton*, 3: 124–135.
- Dębińska E., 2013. Wyznaczanie statycznej wytrzymałości strukturalnej i wczesnej wytrzymałości mechanicznej zaczynów cementowych. *Nafta-Gaz*, 2: 134–142.
- Gawlik P., Szymczak M., 2006. Migracje gazowe w przestrzeniach międzyrurowych otworów realizowanych na przedgórzu Karpat. *Nafta-Gaz*, 7–8: 349–358.
- Gonet A., Strzyżek S., 2001. Reologia wybranych zaczynów uszczelniających wykonanych z cementów Górażdzie Cement S.A. Piła-Płotki: Sympozjum Naukowo-Techniczne „Cementy w budownictwie, robotach wiertniczych i inżynierskich oraz hydrotechnice”.
- Kremieniewski M., 2016. Ograniczenie ekshalacji gazu w otworach wiertniczych poprzez modyfikację receptur oraz kształtowanie się struktury stwardniałych zaczynów uszczelniających. *Prace Naukowe Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego*, 199. Kraków: INiG – PIB. DOI: 10.18668/PN2016.199.
- Kremieniewski M., 2018a. Ocena skuteczności oczyszczania kolumny rur okładzinowych przed cementowaniem na podstawie badań przy użyciu wiskozymetru obrotowego. *Nafta-Gaz*, 9: 59–66. DOI: 10.18668/NG.2018.09.06.
- Kremieniewski M., 2018b. Poprawa wczesnej wytrzymałości mechanicznej płaszcza cementowego powstałego z zaczynu lekkiego. *Nafta-Gaz*, 8: 599–605. DOI: 10.18668/NG.2018.08.06.
- Kremieniewski M., 2018c. Wpływ środków regulujących czas wiązania na parametry reologiczne zaczynu cementowego. *Nafta-Gaz*, 11: 18–28. DOI: 10.18668/NG.2018.11.07.
- Kremieniewski M., Rzepka M., 2012. Badania zaczynów cementowych przeznaczonych do uszczelniania otworów wiertniczych. *Wiadomości Naftowe i Gazownicze*, 4: 9–13.
- Kremieniewski M., Rzepka M., 2017. Celowość prowadzenia prac badawczych nad nowymi środkami obniżającymi filtrację zaczynów cementowych. *Nafta-Gaz*, 8: 583–590. DOI: 10.18668/NG.2017.08.05.
- Kremieniewski M., Rzepka M., Dębińska E., 2014. Statyczna wytrzymałość strukturalna zaczynów przeznaczonych do uszczelniania otworów o podwyższonym ryzyku występowania migracji gazu. *Nafta-Gaz*, 9: 608–616.
- Małolepszy J., Wójcik J., 1987. Wpływ dodatków chemicznych na procesy hydratacji genelitu. Cz. I. *Cement-Wapno-Gips*, 6: 114–118.
- Nelson E.B, Guillot D., 2006. Well Cementing. Sugar Land, Tex.: Schlumberger.
- Rzepka M., Kremieniewski M., Dębińska E., 2012. Zaczyny cementowe przeznaczone do uszczelniania eksploatacyjnych kolumn rur okładzinowych na Niżu Polskim. *Nafta-Gaz*, 8: 512–522.
- Strzyżek S., 2011. Wpływ superplastyfikatorów na właściwości reologiczne zaczynów cementowych. *Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie*: 60–62.
- Strzyżek S., Wiśniowski R., Gonet A., Ferens W., 2009. Parametry reologiczne świeżych zaczynów uszczelniających w zależności od czasu ich sporządzania. *Wiertnictwo, Nafta, Gaz*, 26(1–2): 369–382.
- Strzyżek S., Wiśniowski R., Gonet A., Złotkowski A., 2014. The influence of time of rheological parameters of fresh cement slurries. *AGH Drilling, Oil, Gas*, 31(1): 123–133.



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