

Marcin Rzepka

Institut Nafty i Gazu, Oddział Krosno

Zaczyny cementowe do uszczelniania kolumn rur okładzinowych w podziemnych magazynach gazu

Wprowadzenie

W ostatnich latach firmy wykonujące otwór wiertniczy skupiają uwagę głównie na sposobie wykonania zabiegu cementowania rur okładzinowych – dotyczy to szczególnie otworów wierconych dla potrzeb podziemnego magazynowania gazu. Podstawową rolę w procesie prawidłowego uszczelniania otworu wiertniczego odgrywa jakość użytego zaczynu uszczelniającego, dlatego też każdy zaczyn cementowy przed zastosowaniem go do uszczelniania rur okładzinowych w otworze wiertniczym powinien być szczegółowo zbadany w laboratorium w warunkach otworopodobnych. Badania te muszą obejmować wszystkie

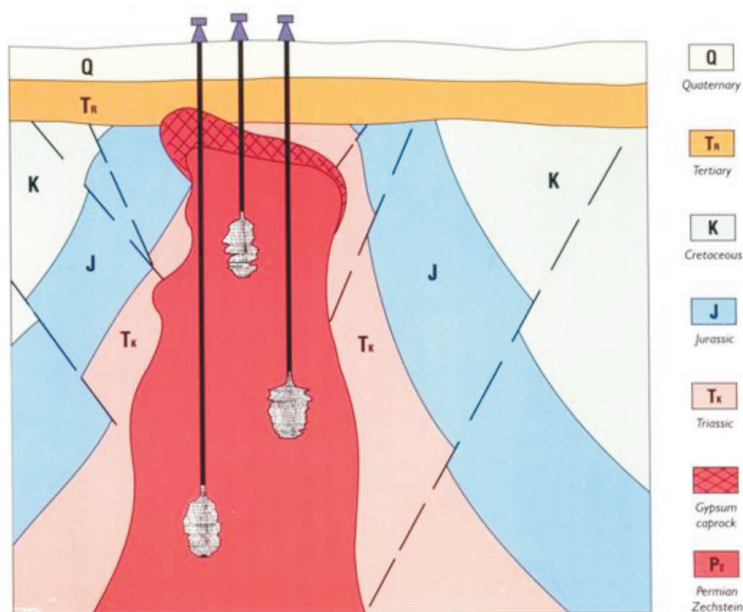
parametry technologiczne zaczynu i kamienia, które mogą bezpośrednio wpływać na przebieg i skuteczność wykonania zabiegu cementowania.

W Laboratorium Zaczynów Uszczelniających Instytutu Nafty i Gazu od kilku lat prowadzone są badania m.in. nad opracowywaniem i modyfikacją zaczynów cementowych do uszczelniania rur w wysadach solnych podziemnych magazynów gazu. Laboratorium to dysponuje nowoczesną aparaturą badawczą, umożliwiającą prowadzenie kompleksowych badań zaczynów i kamieni cementowych.

Stosowane w kraju zaczyny cementowe do uszczelniania rur w podziemnych magazynach gazu

Specyficzna praca podziemnego magazynu gazu, która polega na cyklicznym zatłaczaniu (latem) i pobieraniu (zimą) medium gazowego ze złoża, wymaga użycia specjalnego rodzaju zaczynu cementowego, zapewniającego właściwe uszczelnienie rur. Zaczyn ten powinien być nieprzepuszczalny dla gazu, posiadać dodatnie zmiany objętościowe oraz tzw. własności elastyczne [1, 3, 5].

W ostatnich latach na PMG Wierzchowice zabiegi cementowania wykonywane przez firmę Schlumberger prowadzono przy użyciu cementu elastycznego FlexSTONE, na 20-procentowej solance NaCl z dodatkami środków przeciwnieprzepuszczających, obniżających filtrację, opóźniających i wywołujących pęcznienie. Podczas prowadzenia prac cementacyjnych na tym PMG temperatura dynamiczna wynosiła około 40°C, a ciśnienie – ok. 20 MPa.



Rys. 1. Schemat PMG Mogilno, utworzonego w wysadzie solnym [4]

W kawernowym PMG Mogilno podczas cementowania otworów używane były zaczyny cementowe o pełnym zasoleniu (wodą zarobową była solanka NaCl o gęstości $1,2 \text{ g/cm}^3$), z dodatkami przeciwiopięnnymi, antyfiltracyjnymi, upłynniającymi i wywołującymi pęcznienie, z dodatkiem $8\div 10\%$ gipsu modelowego. Do cementowania otworów używano cementu klasy G HSR (z cementowni Rejowiec). W otworach Mogilno Z-17 i Z-16 do zaczynów dodawano również mikrocement. Temperatura dynamiczna podczas prowadzenia prac cementacyjnych na tym PMG

wynosiła – w zależności od otworu – około $30\div 45^\circ\text{C}$, a ciśnienie – ok. $15\div 20 \text{ MPa}$.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat PMG Mogilno w złożu cechsztyńskiej soli kamiennej, które ma formę wysadu. Sam wysad solny jest szczelny, z racji plastyczności jaką sól nabywa pod ciśnieniem. W soli wierconych jest szereg otworów, w których podczas procesu ługowania powstają komory magazynowe (kawerny). Komory te znajdują się na różnej głębokości ($600\div 1600 \text{ m}$), co jest związane z budową geologiczną wysadu.

Badania laboratoryjne

Badania laboratoryjne mające na celu opracowanie składów zaczynów cementowych do warunków panujących w podziemnych magazynach gazu wykonywano w Zakładzie Technologii Wiercenia Instytutu Nafty i Gazu Oddział Krosno zgodnie z normami:

- PN-EN 10426-2 *Przemysł naftowy i gazo wniczy – Cementy i materiały do cementowania otworów – część 2: Badania cementów wiertniczych*,
- PN-85/G-02320 *Cementy i zaczyny cementowe do cementowania w otworach wiertniczych*, oraz
- API SPEC 10 *Specification for materials and testing for well cements*.

W Instytucie Nafty i Gazu opracowano zaczyn dla PMG w wysadach solnych Mogilno i Kosakowo. Przykładowa receptura, oznaczona symbolem „A”, była stosowana na wiertniach podczas cementowania rur okładzinowych w latach 2009–2010 [2].

Przed każdym zabiegiem cementowania wykonywano pomiary parametrów technologicznych płynnego zaczynu cementowego (reologia, odstój wody, rozlewność, gęstość, początek i koniec wiązania oraz zmiany objętości).

Po związaniu zaczynu wykonywano próbki kamieni cementowych, a następnie badano je po siedmiu, czternastu i dwudziestu ośmiu dniach hydratacji (wyniki tych badań przedstawiono na rysunku 2).

W Laboratorium prowadzono oznaczenia:

- wytrzymałości na zginanie i ściskanie (fotografia 1) na maszynie wytrzymałościowej (fotografia 2),
- przyczepności kamienia cementowego do soli (fotografia 3),
- przyczepności kamienia cementowego do rur stalowych (fotografia 4),
- przepuszczalności kamienia cementowego dla gazu na kontakcie z rurą okładzinową i solą (fotografie 5–7).

Tablica 1. Ramowy skład i parametry zaczynu A

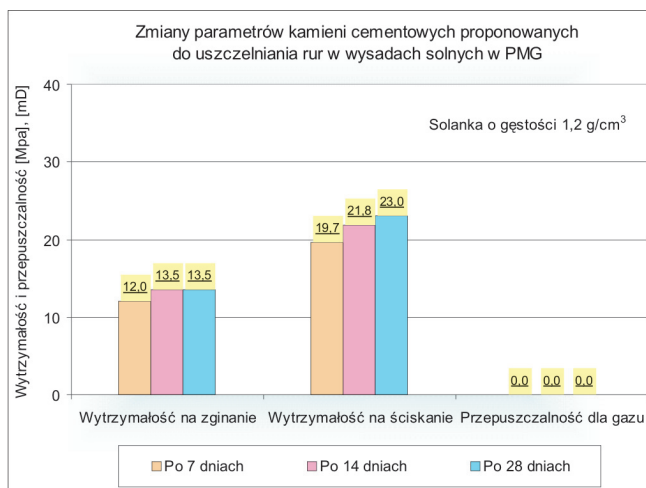
Solanka o gęstości $1,2 \text{ g/cm}^3$	w/c, około 0,6
Dodatek odpieniający	około 0,5%
Dodatek upłynniający	około 0,5%
Dodatek antyfiltracyjny	około 0,1%
Mikrocement	$5\div 10\%$
Cement G HSR Rejowiec	100%
Gips modelowy	$8\div 10\%$
Dodatek wywołujący pęcznienie	$0,15\div 0,3\%$

Tablica 2. Parametry zaczynu cementowego A

Rozlewność [mm]	240
Gęstość [g/cm^3]	1,90
Odstój wody [%]	0,0
Lepkość plastyczna [$\text{mPa}\cdot\text{s}$]	46,5
Granica płynięcia [Pa]	8,4

Tablica 3. Parametry zaczynu cementowego A

Czas gęstnienia [h]	40°C 20 MPa	30 Bc	ok. 10 h	Zmiany objętości [%] 40°C	
Początek wiązania [h]	40°C	ok. 8 h		24 godz.	+0,120
Koniec wiązania [h]		poniżej 24 h		48 godz.	+0,140



Rys. 2. Parametry kamienia cementowego A



Fot. 1. Próbkę do badań wytrzymałości na zginanie i ściskanie



Fot. 2. Maszyna wytrzymałościowa do oznaczenia parametrów mechanicznych próbek



Fot. 3. Próbkę do badań przyczepności kamienia cementowego do soli



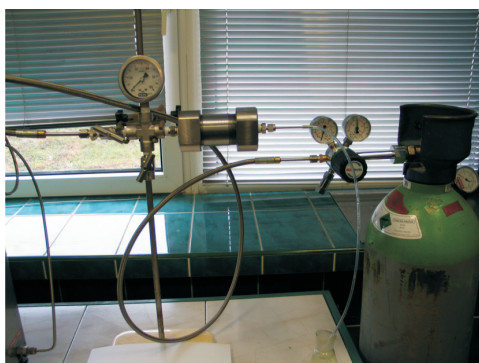
Fot. 4. Próbkę do badań przyczepności kamienia cementowego do stalowej rury



Fot. 5. Próbkę do badania przepuszczalności kamienia cementowego dla gazu



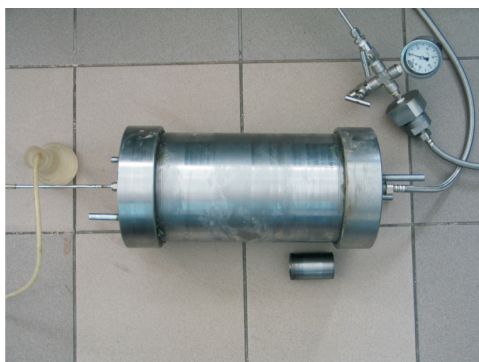
Fot. 6. Próbkę do badania przepuszczalności na kontakcie: sól-kamień cementowy



Fot. 7. Aparat do badania przepuszczalności dla medium gazowego

W Instytucie Nafty i Gazu sporządzono również specjalne stanowisko do badania przepuszczalności dla gazu na kontakcie: kamień cementowy-sól i kamień cementowy-rura. Komorę wykonano z fragmentu siedmiocalowej rury, której końce zostały nagwintowane. Przykrywy do komory wykonano ze stali nierdzewnej i nawiercono w nich otwory: od góry – w celu podłączenia ciśnienia z butli poprzez zbrojony wąż, oraz od dołu – w celu przymocowania rurki wylotowej, do obserwacji ewentualnego przechodzenia gazu (fotografie 8–10).

Dostarczony z otworu rdzeń solny umieszczono w płuczce wiertniczej (fotografia 11), a po dziesięciu dniach



Fot. 8. Stanowisko do badania przepuszczalności na kontakcie: kamień cementowy-sól oraz kamień cementowy-rura okładzinowa



Fot. 9. Rdzeń solny umieszczony w rurze okładzinowej 7" i zalany zaczynem cementowym



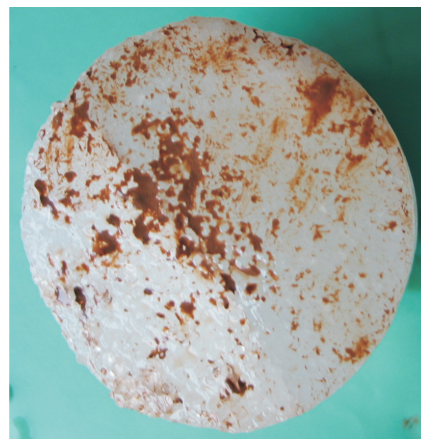
Fot. 10. Rdzeń solny umieszczony w rurze okładzinowej 7" i zalany zaczynem cementowym

przemity go cieczą przemylającą (solanka oraz *Mud Clear*) zastosowaną na wiertni. Przemity rdzeń (fotografia 12) umieszczono w specjalnie skonstruowanym stanowisku do badań przepuszczalności. Przestrzeń pomiędzy komorą aparatu, a rdzeniem solnym zalano zaczynem cementowym o składzie zastosowanym w otworze.

Badanie przepuszczalności dla gazu polegało na wywieraniu na próbkę ciśnienia z butli ze sprężonym powietrzem. Ciśnienie z butli zwiększane było stopniowo, od 5 do 25 bar (co 2 godziny jego wartość podnoszono o 5 barów). Na wylocie z próbki obserwowano, czy nie następuje przepływ gazu na kontakcie: kamień cementowy-sól i kamień cementowy-rura okładzinowa. Badanie przeprowadzono po 28 dniach od związania zaczynu. Na podstawie badania



Fot. 11. Rdzeń przechowywany w płucze



Fot. 12. Rdzeń przemity cieczą przemylającą na bazie solanki NaCl 1,2 g/cm³ oraz środka *Mud Clear*

przeprowadzonego dla zaczynu zastosowanego na wiertni na PMG, nie stwierdzono przepuszczalności dla gazu.

Podsumowanie

1. Opracowane w Instytucie Nafty i Gazu receptury zaczynów zostały wielokrotnie wykorzystane przy cementowaniu rur w podziemnych magazynach gazu

w wysadach solnych, w temperaturze 25÷45°C. Cementowano nimi m.in. PMG Mogilno (otwory Z15, Z16 i Z17), a także PMG Kosakowo.

2. W pierścieniu Vicat'a początek wiązania zaczynów następuje po ok. 8 godzinach, a koniec wiązania – przed upływem 24 godzin.
3. Badania prowadzone w Instytucie Nafty i Gazu wykazały, że kamienie cementowe nie wykazują przepuszczalności dla gazu na kontakcie z rurą okładzinową i skałą (solą).
4. Powstałe po związaniu zaczynów kamienie cementowe po 28 dniach posiadają wytrzymałość na ścislenie przekraczającą 20 MPa oraz cechują się wysoką przyczepnością do rur stalowych i soli.
5. Kamienie cementowe są odporne na cykliczne zmiany temperatury, a co się z tym wiąże – są też odporne na obciążenia mechaniczne w czasie wieloletniej eksploatacji podziemnych magazynów gazu.

Artykuł nadesłano do Redakcji 17.06.2011 r. Przyjęto do druku 4.08.2011 r.

Recenzent: prof. zw. dr hab. inż. Józef Raczkowski

Literatura

- [1] Bensted J.: *Oilwell cements. Part 3. Ductile oil well cement compositions for better long term durability*. Cement Wapno Beton nr 1, s. 13–32, 2005.
- [2] CEMPLAST* – zgłoszenie patentowe – Nr zgłoszenia P.391133.
- [3] ElastiCem – Resilient Slurry Systems – materiały firmy Halliburton, USA 2008.
- [4] www.chemkop.pl/index.php?lang=pl&view=rozwoj
- [5] www.halliburton.com – ElastiCem Resilient Slurry System.



Dr inż. Marcin RZEPKA – absolwent AGH w Krakowie. Pracownik Instytutu Nafty i Gazu Oddział w Krośnie. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z doborem i opracowaniem składów zaczynów cementowych o zróżnicowanych właściwościach technologicznych dla różnorodnych warunków złożowych oraz badaniami testującymi parametry świeżych i stwardniałych zaczynów cementowych.

ZAKŁAD TECHNOLOGII WIERCENIA

- opracowywanie składów i technologii sporządzania płuczek wiertniczych, cieczy do dowiercania, opróbowania i rekonstrukcji odwiertów, zaczynów cementowych i mieszanin wiążących dla różnych warunków geologiczno-technicznych wiercenia;
- kompleksowe badania i ocena nowych rodzajów środków chemicznych, materiałów płuczkowych i wiążących, przeznaczonych do sporządzania i regulowania właściwości płuczek wiertniczych i zaczynów cementowych;
- pomiary parametrów technologicznych cieczy wiertniczych i kamienia cementowego w warunkach normalnej i wysokiej temperatury oraz ciśnienia;
- badania wpływu cieczy wiertniczych na przewiercane skały;
- dobór płuczek wiertniczych, zaczynów cementowych i cieczy buforowych w celu poprawy skuteczności cementowania otworów wiertniczych;
- badania serwisowe dla bieżących zabiegów cementowania;
- specjalistyczne badania laboratoryjne dotyczące oznaczania: współczynnika tarcia cieczy wiertniczych i napięcia powierzchniowego na granicy faz, sedymentacji materiału obciążającego, efektywności wynoszenia zwiercin w otworach kierunkowych i poziomych oraz wypłukiwania osadów ilowych ze skał przed zabiegiem cementowania, odporności na migrację gazu w wiążącym zaczynie cementowym w warunkach otworopodobnych, odporności korozyjnej kamienia cementowego w różnym środowisku złożowym, porowatości kamienia cementowego i skał, zawartości związków chemicznych w cieczach wiertniczych, stopnia toksyczności środków chemicznych i cieczy wiertniczych przy użyciu bakterii bioindykatorów;
- badania właściwości fizyczno-mechanicznych skał pod kątem ich zwiercalności.

Kierownik: dr inż. Małgorzata Uliasz

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

Telefon: 13 436-89-41 w. 219

Faks: 13 436-79-71

E-mail: malgorzata.uliasz@inig.pl