

Marcin Kremieniewski, Marcin Rzepka

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Przyczyny i skutki przepływu gazu w zacementowanej przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego oraz metody zapobiegania temu zjawisku

W artykule zaprezentowano zagadnienia dotyczące migracji gazu. Omówione zostały poszczególne etapy występowania tego niepożądanego zjawiska. Przedstawiono przyczyny powstawania migracji gazu, skutki jego przepływu w przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego oraz metody mające na celu zapobieganie temu zjawisku.

Słowa kluczowe: zaczyn cementowy, kamień cementowy, ekshalacja gazu, płaszcz cementowy, mikrostruktura porowa.

The causes and effects of gas flow in the cemented annular space of borehole and methods to prevent this phenomenon

The article presents the issues related to gas migration. Various stages of the occurrence of this undesirable phenomena were discussed. Causes of gas migration, the effects of the gas flow in annular space and methods to prevent this phenomenon were presented.

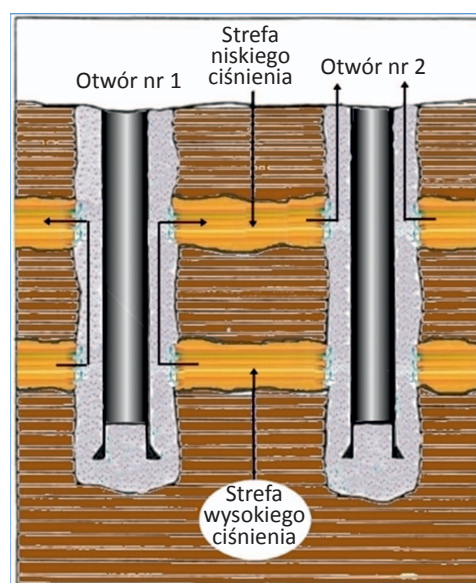
Key words: cement slurry, set cement, gas exhalation, cement sheath, microstructure or pore characteristic.

Wstęp

Przepływ płynu (cieczy lub gazu) w przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego stanowi poważny problem w przemyśle naftowym. Zjawisko to może występować na różnych etapach wiercenia otworu, jak również po zakończeniu prac wiertniczych [12].

Przepływ w przestrzeni pierścieniowej następuje wskutek dopływu płynów złożowych do tej przestrzeni przy braku równowagi ciśnień. Płyn może przemieszczać się ze stref o wyższym ciśnieniu do stref o ciśnieniu niższym (mówimy wtedy o międzystrefowej migracji gazu – rysunek 1, otwór nr 1) lub też gaz może wypływać na powierzchnię, co nazywamy ekshalacją gazu (rysunek 1, otwór nr 2). Bardziej problematyczna, a także częściej występująca i bardzo niebezpieczna jest migracja medium gazowego.

Zagadnienie migracji gazu jest rozpatrywane w aspekcie wpływu na bezpieczeństwo, ochronę środowiska oraz ze względu na obowiązujące przepisy prawne. Aspekt ten poruszany jest w wielu opracowaniach jednostek



Rys. 1. Schemat zjawiska przepływu gazu (międzystrefowa migracja gazu – otwór nr 1, ekshalacja gazu – otwór nr 2 (opracowanie własne))

naukowo-badawczych, a także stał się przedmiotem analiz przedsiębiorstw naftowych i urzędów górniczych.

Problem migracji gazu znany jest w przemyśle naftowym od wielu lat, stąd też wymaga się dążenia do ciągłej poprawy przygotowywania otworów wiertniczych do zabiegów cementowania oraz stosowania progresywnych mieszanin uszczelniających poprawiających skuteczność uszczelniania przestrzeni pozarurowej, zwłaszcza utworów ilastych [9].

Problem migracji gazu w naszym kraju występuje na wielu złożach gazowych, głównie w rejonie przedgórze Karpat. Migracje gazu mogą następować z różnym nasileniem, od

minimalnych wpływów, skutkujących wzrostem ciśnienia o kilka atmosfer na głowicy, aż do wpływów sięgających kilku metrów sześciennych w ciągu godziny (np. otwór J15, wiercony w 2015 roku). Działania zapobiegające temu zjawisku obejmują analizę zagadnień dotyczących [10, 14]:

- odpowiedniego usuwania osadu płuczkowego ze ścian otworu,
- kontroli gęstości zaczynu cementowego,
- doboru właściwości reologicznych płuczki wiertniczej, cieczy buforowej oraz zaczynów cementowych,
- przebiegu wiązania na kontakcie zaczynu cementowy–formacja skalna.

Przyczyny migracji gazu

Przepływ gazu w zacementowanej przestrzeni pierścieniowej obserwowany jest najczęściej w rejonie przedgórze Karpat i w Karpatach. Niewątpliwie ma to związek ze skomplikowaną budową geologiczną oraz płytko zalegającymi horyzontami gazonośnymi występującymi głównie w utworach miocenu autochtonicznego. Złoża gazu ziemnego zakumulowane są w słabo związanych piaskowcach, laminowanych utworami ilastymi, które zalegają w pułapkach typu strukturalnego [10, 16]. Wskazania gazowe rejestrowane przez aparaturę kontrolno-pomiarową i potwierdzone przez pomiary geofizyczne dowodzą ich występowania zarówno w seriach piaszczystych, jak i ilastych już od głębokości 20÷40 m, tuż pod utworami czwartorzędu [10]. Problemy migracji gazu dotyczą głównie zakresu głębokości od 0 m do około 600 m (podczas cementowania rur 13³/₈" i 9⁵/₈". Migracja z większej głębokości, zwłaszcza z interwałów izolowanych kolumną eksploatacyjną 7", następuje bardzo rzadko [6].

Ekshalacje gazowe często rejestrowane są w znacznie większej odległości od osi odwiertu (nawet kilkadziesiąt metrów). Stwarza to poważne zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi oraz stanowi zagrożenie dla środowiska [16].

Problemy migracji gazu po zabiegu cementowania występowały na wielu złożach. Brak skutecznego uszczelnienia w pierwszych odwiertach na złożu może doprowadzić do przepływu gazu między poziomami skał przepuszczalnych pomiędzy sąsiadującymi ze sobą otworami eksploatacyjnymi.

Analiza dostępnych pozycji literaturowych [10, 15] wykazała, że nie można podać głównej przyczyny migracji gazu. Możliwe jest jednak wskazanie zespołu czynników wpływających na ten proces, którymi są:

- czynniki geologiczne – decyduje o nich głównie budowa geologiczna rozpatrywanych rejonów, właściwości przewiercanych skał, rozkład ciśnień porowych i szczelinowania w profilu otworu, cechy petrofizyczne ośrodka

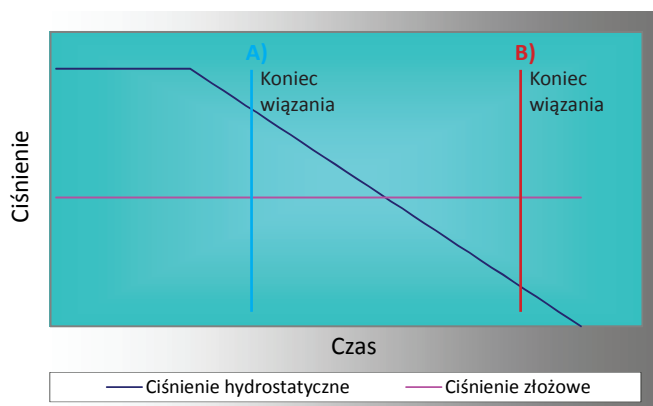
skalnego, rodzaje płynów złożowych, ilość i miąższość warstw przepuszczalnych [9],

- czynniki techniczno-technologiczne – tj. jakość i stan powierzchni zewnętrznej rur okładzinowych, szczelność połączeń gwintowych, stan powierzchni rur okładzinowych, sprawność sprzętu, konstrukcja otworu, długość i średnica kolumny rur okładzinowych, powierzchnia przekroju przestrzeni pierścieniowej, centryczność kolumn rur w otworze, rodzaje i właściwości płuczek wiertniczych, grubość osadu filtracyjnego, własności zaczynu cementowego, charakter przepływu podczas tłoczenia [9],
- czynniki mechaniczne – do których należą głównie udary i wibracje świdra oraz przewodu wiertniczego podczas zwiercania korka cementowego, buta oraz dalsze wiercenie, perforacja rur, zmiany ciśnienia w otworze podczas wykonywania opróbowań i zabiegów stymulacyjnych [7, 9],
- czynniki organizacyjne – do których należy zaliczyć projekty rurowania i cementowania (zakres wykorzystania informacji geofizycznych, geologicznych i wiertniczych przy ich opracowaniu, zgodność wykonawstwa zabiegu cementowania z projektem i ewentualne komplikacje, czynności po cementowaniu, wyposażenie zaplecza laboratoryjnego, przygotowanie teoretyczne i zawodowe ekipy cementacyjnej [7, 9].

Obecność gazu w przestrzeni pierścieniowej może być spowodowana wieloma czynnikami wpływającymi na skuteczność uszczelniania rur okładzinowych. Po zatłoczeniu zaczynu w przestrzeń pierścieniową i rozpoczęciu wiązania następuje proces powolnego obniżania się ciśnienia hydrostatycznego zaczynu cementowego. Jeżeli ciśnienie hydrostatyczne słupa zaczynu spadnie poniżej ciśnienia złożowego przed uzyskaniem końca wiązania zaczynu cementowego, może nastąpić wtargnięcie gazu w strukturę płaszcza cementowego (rysunek 2).

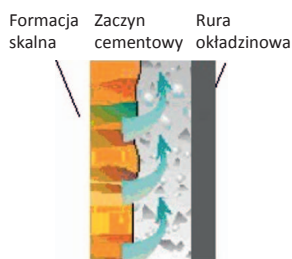
Na podstawie literatury [1, 4, 9, 10] można wyróżnić serię przyczyn pojawienia się gazu w przestrzeni pierścieniowej. Przyczynami tymi są:

- stosowanie zaczynu o niewłaściwej gęstości, co może doprowadzić do zachwiania równowagi hydrostatycznej w przestrzeni pierścieniowej i w konsekwencji do migracji gazu przez strukturę wiążącego zaczynu uszczelniającego (rysunek 3);
- niedostateczne wyparcie płuczki wiertniczej i słabe usunięcie osadu filtracyjnego, co powoduje powstawanie kanałków dla migrującego gazu (rysunek 4) [9, 10];
- zbyt szybkie żelowanie cementu, co przyczynia się do powstawania nieciągłości kamienia cementowego, a w konsekwencji drogi dla przepływu gazu (rysunek 5);
- zbyt wysoka filtracja zaczynu cementowego powodująca obniżenie objętości zaczynu, w wyniku czego powstaje przestrzeń, do której może wnikać gaz i obniżyć ciśnienie hydrostatyczne w kolumnie zaczynu uszczelniającego (rysunek 6);
- powstawanie nieciągłości w zaczynie cementowym, przez które może zachodzić zjawisko migracji gazu (rysunek 7);
- nadmierny skurcz kamienia cementowego, powodujący powstawanie naprężeń i spękań; stwardniały zaczyn może się odklejać od rur okładzinowych oraz skały i na pęknięciach powstaną drogi dla migracji gazu (rysunek 8);

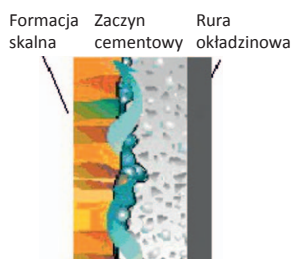


Rys. 2. Spadek ciśnienia hydrostatycznego zaczynu cementowego w trakcie wiązania: A – zaczyn uzyskał koniec wiązania przed obniżeniem ciśnienia hydrostatycznego poniżej ciśnienia złożowego – migracja gazu nie powinna wystąpić; B – zaczyn wiązał zbyt długo, ciśnienie hydrostatyczne obniżyło się poniżej ciśnienia złożowego przed końcem wiązania – istnieje możliwość wystąpienia migracji gazu

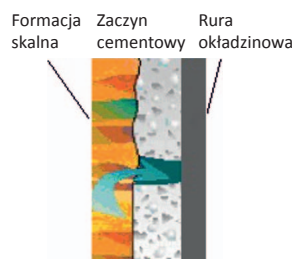
- niszczenie kamienia cementowego w otworze pod wpływem naprężeń wywołanych przez oddziaływanie górotworu lub odkształcenia rur podczas opróbowania, skutkujące powstawaniem dróg migracji gazu (rysunek 9);
- niedostateczne związanie kamienia cementowego ze strukturą skalną i rurami okładzinowymi powleczonymi środkami chroniącymi przed korozją (rysunek 10) [9, 10].



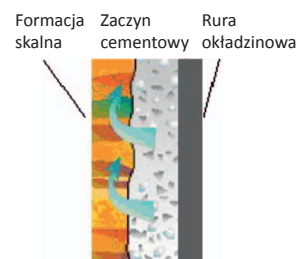
Rys. 3. Źle dobrana gęstość zaczynu [2]



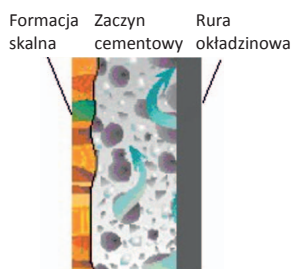
Rys. 4. Niedokładne wyparcie płuczki [2]



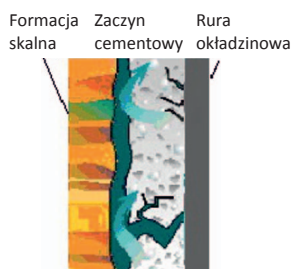
Rys. 5. Przedwczesne żelowanie zaczynu (powstawanie „kieszeni” lub „pustek” w płaszczu cementowym) [2]



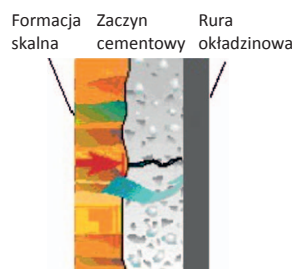
Rys. 6. Nadmierna filtracja zaczynu [2]



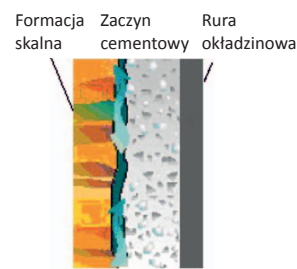
Rys. 7. Nieodpowiednio dobrane parametry reologiczne zaczynu [2]



Rys. 8. Skurcz kamienia cementowego [2]



Rys. 9. Naprężenia niszczące kamień cementowy [2]



Rys. 10. Brak wiązania z rurami i formacją skalną [2]

Skutki migracji gazu

W praktyce przemysłowej występuje wiele potencjalnych skutków negatywnych zjawiska migracji gazu po zabiegu cementowania, jednak nie zawsze udaje się je zidentyfikować. W skrajnych przypadkach mogą one prowadzić nawet do konieczności likwidacji otworu. Niekiedy jednak możliwe jest wykonanie zabiegu docementowania strefy nieszczelnej w celu wyeliminowania nieszczelności płaszczu cementowego.

Nie zawsze zabieg docementowania jest skuteczny z uwagi na trudności w zlokalizowaniu kanalików, przez które przepływa gaz. Kolejnym utrudnieniem jest rozmiar kanali-

ków uniemożliwiający wypełnienie ich zaczynem uszczelniającym. Ponadto w trakcie zabiegu doszczelniania istnieje możliwość uszkodzenia płaszczu cementowego lub szczelinowanie skały, co w konsekwencji pogarsza problem [14].

Występowanie zjawiska migracji międzystrefowej jest dużym problemem do wychwycenia. W takim przypadku ocena wglębnej migracji gazu może być dokonana np. za pomocą sondy akustycznej [3]. Na skutek migracji gaz przedostaje się bezpośrednio do gruntu, wód gruntowych lub do atmosfery, co z kolei stwarza poważne zagrożenia dla ludzi i środowiska [16].

Metody zapobiegania migracji gazu

Możliwość powstania kanałów w płaszczu cementowym przy ustalonym ciśnieniu hydrostatycznym zaczynu cementowego zależy od jego składu i właściwości. Dlatego w celu przeciwdziałania zjawisku migracji gazu wprowadzane są do zaczynu specjalne dodatki, które blokują przepływ gazu podczas przechodzenia zaczynu z fazy ciekłej w fazę stałą. Dochodzi wówczas do spadku ciśnienia hydrostatycznego poniżej ciśnienia złożowego [11]. Podlegający hydratacji w otworze zaczynu cementowy w naturalny sposób prowadzi do obniżenia ciśnienia hydrostatycznego kolumny wiążącego zaczynu cementowego, umożliwiając penetrację gazu, a następnie migrację w obrębie płaszczu cementowego [5, 16]. Aby wyeliminować ewentualność powstawania mikropęknięć, opracowywane są zaczyny cementowe wykazujące regulowany wzrost objętości w trakcie wiązania.

W celu zapobiegania powstawaniu ekshalacji gazu zaleca się [9, 16, 17]:

- odpowiedni dobór właściwości reologiczno-strukturalnych zaczynu cementowego,
- utrzymywanie możliwie niskiej filtracji zaczynu cementowego,
- wyeliminowanie odstoju wody,
- odpowiednie dobranie czasu wiązania zaczynu cementowego do konkretnych warunków otworowych (temperatura, ciśnienie),
- opracowanie zaczynu charakteryzującego się krótkim czasem przejścia od wartości konsystencji 30 Bc do wartości konsystencji 100 Bc (tzw. zaczynu typu RAS¹).

Podczas opracowywania zaczynów mających za zadanie przeciwdziałanie migracji gazu stosuje się specjalne (polimerowe lub mineralne) dodatki modyfikujące parametry za-

czynny. Tworzą one barierę w postaci nieprzepuszczalnej błony rozciągniętej między ziarnami fazy stałej i mikroziaren upakowanych pomiędzy hydratyzującymi ziarnami klinkieru cementowego.

Stan fizyczny zaczynu uszczelniającego zmienia się w czasie, począwszy od fazy ciekłej w trakcie tłoczenia zaczynu, poprzez fazę przejściową – żel (w trakcie transformacji), a skończywszy na fazie stałej – stwardniały zaczyn (związany kamień cementowy). Widoczna jest tutaj różnorodność każdej z trzech odmian fazowych. Podczas projektowania receptury zaczynu uszczelniającego należy tak dobierać jego parametry, aby zaczyn osiągał szybki czas przejścia, tzw. *transition time*². Dla zaczynów mających przeciwdziałać migracji gazu literatura [4, 13] podaje wartość TT na poziomie nieprzekraczającym 60 minut. Potwierdzają to również badania w INiG – PIB.

W Instytucie Nafty i Gazu – Państwowym Instytucie Badawczym prowadzone są badania mające na celu ograniczenie oraz wyeliminowanie przepływów gazu po zacementowaniu otworu. W tym celu pracownicy Laboratorium Zaczynów Uszczelniających przy użyciu nowoczesnej aparatury, m.in. UCA + SGSM (fotografia 1) badają parametry decydujące o efektywności uszczelniania zaczynów cementowych oraz modyfikują dotychczas stosowane zaczyny bądź projektują nowe receptury. Zarówno badania laboratoryjne, jak i wyniki prac przemysłowych potwierdzają, że dążenia do ograniczenia bądź wyeliminowania przepływów gazowych skutkują pozytywnymi efektami prac w kontekście projektowanego zaczynu. Duży potencjał badawczy w postaci za-

¹ Zaczyn typu RAS – *right angle set*.

² *Transition time* – czas przejścia zaczynu cementowego od wartości statycznej wytrzymałości strukturalnej (SWS) równej 48 Pa do wartości SWS 240 Pa.

równowocześnie wykwalifikowanej kadry pracowniczej, jak i nowoczesnej aparatury badawczej oraz kontrolno-pomiarowej po-

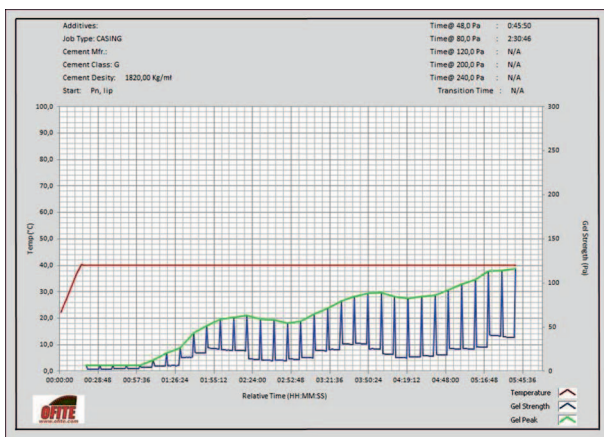


Fot. 1. Dwukomorowy ultradźwiękowy analizator cementu z miernikiem statycznej wytrzymałości strukturalnej umożliwiającym określenie czasu *transition time*

zwoił na uzyskanie znacznej poprawy skuteczności uszczelnienia przestrzeni pierścieniowej.

Na fotografiach 2–5 oraz rysunkach 11 i 12 zestawiono porównanie wyników zaczynu nieodpornego oraz odpornego na przepływ kanałowy gazu. Rysunek 11 przedstawia narastanie wytrzymałości strukturalnej nieodpornego na migrację gazu zaczynu cementowego. Zaczyn bardzo długo żeluje i nie osiąga wartości statycznej wytrzymałości strukturalnej 240 Pa, przez co istnieje możliwość wtargnięcia gazu w strukturę płaszczu cementowego. Potwierdzeniem tego jest fotografia nr 2, na której widoczna jest porowata, z widocznymi kanalikami struktura płaszczu cementowego. Również mikrostruktura stwardniałego zaczynu badana metodą mikrotomografii rentgenowskiej wykazuje obecność dużej ilości makroporów (wysoka intensywność koloru zielonego oznaczającego obecność przestrzeni porowych – fotografia 3).

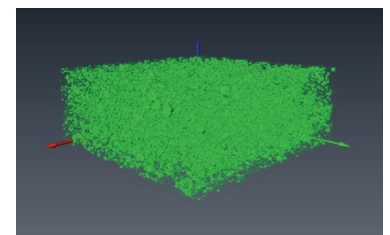
Przykładem odpowiednio zmodyfikowanego zaczynu cementowego odpornego na migrację gazu jest receptura, dla



Rys. 11. Wynik badania narastania statycznej wytrzymałości strukturalnej

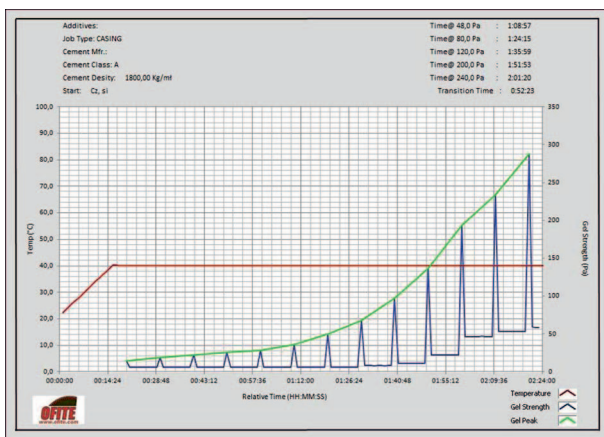


Fot. 2. Makroskopowa struktura płaszczu cementowego (widoczne kanalki w strukturze)



Fot. 3. Mikrostruktura porowa płaszczu cementowego wykazującego dużą porowatość (wysoka intensywność koloru zielonego)

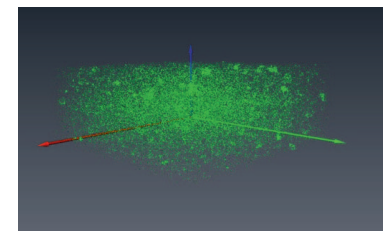
Zaczyn niezapobiegający przepływom gazu



Rys. 12. Wynik badania narastania statycznej wytrzymałości strukturalnej



Fot. 4. Makroskopowa struktura płaszczu cementowego (struktura jednolita)



Fot. 5. Mikrostruktura porowa płaszczu cementowego wykazującego małą porowatość (niska intensywność koloru zielonego)

Zaczyn zapobiegający przepływom gazu

której badanie narastania SWS przedstawiono na rysunku 12. Zaczyn uzyskał czas przejścia (TT) poniżej jednej godziny, co powinno zabezpieczyć przed wtargnięciem gazu w strukturę

wiążącego zaczynu cementowego. Na fotografii 4 widoczna jest jednolita i skompaktowana struktura stwardniałego zaczynu, z niewielką ilością porów, widocznych na fotografii 5.

Podsumowanie

Zaleca się [4, 5, 8] na każdym etapie projektowania otworu przestrzeganie niezbędnych procedur, które mogą zapewnić skuteczne uszczelnienie przestrzeni pierścieniowej podczas cementowania i wyeliminować zjawisko migracji gazu:

- a) na etapie projektowania otworu:
- ustalenie schematu zarurowania otworu na podstawie analizy wcześniej wierconych otworów z przewidywaniem ewentualnej migracji gazu z odpowiedniej przestrzeni,
 - odpowiedni dobór właściwości płuczki w czasie wiercenia i cementowania otworu,
 - precyzyjne projektowanie zabiegów cementowania, z odpowiednim doбором środków,
 - projektowanie nowych zaczynów uszczelniających z dodatkami innych środków ograniczających zjawisko migracji gazu,
 - wykorzystanie wyników badań Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego w zakresie ograniczenia migracji gazu przez zaczyn cementowy oraz pozostałych parametrów decydujących o efektywności uszczelnienia przestrzeni pierścieniowej;
- b) na etapie wiercenia i cementowania otworu:
- weryfikację założeń do projektu cementowania na podstawie danych otworowych z uwzględnieniem potencjalnych źródeł migracji gazu,
 - centralizację rur okładzinowych (min. 75% stand-off),

- odpowiednie przygotowanie otworu do cementowania i dostosowanie parametrów reologicznych płuczki (obniżenie jej parametrów reologicznych płuczki przed zabiegiem cementowania) do parametrów buforu i zaczynu cementowego w celu maksymalnego wyparcia płuczki,
 - w zabiegu cementowania stosowanie zaczynów cementowych o niskiej filtracji oraz szybkim gęstnieniu (szybkie przejście od wartości 30 Bc do 100 Bc – podczas badania czasu gęstnienia zaczynu uszczelniającego),
 - weryfikowanie składu zaczynu uszczelniającego ze względu na możliwość wystąpienia migracji gazowych (kontrola i badania INiG – PIB),
 - stosowanie zaczynów z użyciem lateksu, mikrocementu, środka pęczniącego i innych dodatków optymalizujących właściwości zaczynu pod kątem danych warunków,
 - stosowanie przemywek i buforów w celu oczyszczenia ścian otworu, rur i dobrego wyparcia płuczki,
 - obracanie (jeśli to możliwe) rurami w trakcie przygotowania otworu i wytłaczania zaczynu;
- c) na etapie oceny skuteczności zacementowania otworu:
- wprowadzanie pomiarów CBL, RBT w celu wykrycia istnienia mikroszczeliny na kontakcie rura–cement (aktualnie także FAM),
 - analizowanie kompleksowo zabiegów cementowania rur okładzinowych.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2016, nr 9, s. 722–728, DOI: 10.18668/NG.2016.09.06

Artykuł nadesłano do Redakcji 26.02.2016 r. Zatwierdzono do druku 27.05.2016 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Badanie przestrzeni porowej stwardniałych zaczynów cementowych przeciwdziałających migracji gazu za pomocą mikrotomografii rentgenowskiej* – praca INiG na zlecenie MNiSW; nr archiwalny: DK-4100-/71/12, nr zlecenia: 0071/KW/12.

Literatura

- [1] Abbas R., Cunningham E.: *Solutions for Long-Term Zonal Isolation*. Oilfield Review, Autumn 2002, vol. 14, no. 3, s. 16–29.
- [2] Bonett A., Pafitis D.: *Getting to the Root of Gas Migration*. Oilfield Review 1996, Spring, vol. 8, no. 1, s. 36–49.
- [3] Ciechanowska M. i in.: *Ekshalacje gazu ziemnego – polsko-ukraiński problem Przedgórze Karpat. Analiza i ocena zagrożeń ekshalacjami gazu*. Projekt NEB/PL/PDK/2.1/06/45, INiG, Kraków 2008.
- [4] Dębińska E.: *Wyznaczanie statycznej wytrzymałości strukturalnej i wczesnej wytrzymałości mechanicznej zaczynów cementowych*. Nafta-Gaz 2013, nr 2, s. 134–142.
- [5] Dohnalik M., Zalewska J.: *Korelacja wyników laboratoryjnych uzyskanych metodą rentgenowskiej mikrotomografii, jądrowego rezonansu magnetycznego i porozymetrii rtęciowej*. Nafta-Gaz 2013, nr 10, s. 735–743.
- [6] Gawlik P., Szymczak M.: *Migracje gazowe w przestrzeniach międzyrurowych otworów realizowanych na przedgórzu Karpat*. Nafta-Gaz 2006, nr 7–8, s. 349–358.
- [7] Gonet A., Stryczek S.: *Reologia wybranych zaczynów uszczelniających wykonanych z cementów Górażdże Cement S.A.* Sympozjum Naukowo-Techniczne „Cementy w budownictwie, robotach wiertniczych i inżynierskich oraz hydrotechnice”, Piła–Płotki 2001.

- [8] Helfen L., Dehn F., Mikulik P., Baumbach T.: *Synchrotron radiation X-ray tomography: A method for the 3D verification of cement microstructure and its evolution during hydration*, *Proceeding*. First International Congress on Nanotechnologies in the Construction Industry, Glasgow, June 2003.
- [9] Herman Z., Migdał M.: *Problemy cementowania rur okładzinowych na Niżu Polskim*. Nafta-Gaz 1998, nr 12, s. 542–553.
- [10] Kremieniewski M.: *Ograniczenie ekshalacji gazu w otworach wiertniczych poprzez modyfikację receptur oraz kształtowanie się struktury stwardniałych zaczynów uszczelniających*. Praca doktorska, AGH, Kraków 2015.
- [11] Kremieniewski M., Rzepka M.: *Zaczyny typu Gas-Stop przeznaczone do uszczelniania otworów kierunkowych i horyzontalnych*. *Wiadomości Naftowe i Gazownicze* 2013, nr 9 (185), s. 4–9.
- [12] Lu S., Landis E. N., Keane D. T.: *X-ray microtomographic studies of pore structure and permeability in Portland cement concrete*. *Materials and Structures* 2006, vol. 39, s. 611–620.
- [13] Mohammadi Pour M., Moghadi J.: *New Cement Formulation that Solves Gas Migration Problems in Iranian South Pars Field Condition*. SPE-105663-MS, SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference, Manama, Bahrain 11–14 March 2007, s. 1–8.
- [14] Nelson E. B. et al.: *Well Cementing*. Schlumberger Educational Service, Houston, Teksas 1990, s. 1–8 do 8–20.
- [15] Radecki S., Witek W.: *Dobór technik i technologii cementowania w aspekcie występowania zjawiska migracji gazu*. *Nafta-Gaz* 2000, nr 9, s. 487–497.
- [16] Uliasz M.: *Kompleksowa analiza przyczyn migracji gazu w otworach realizowanych na przedgórzu Karpat i w Karpatach pod kątem właściwości cieczy wiertniczych stosowanych w czasie wiercenia i cementowania kolumn rur okładzinowych*. Praca niepublikowana, INiG, Kraków 2012, s. 4–10.
- [17] Zima G.: *Analiza przyczyn ekshalacji gazu w rejonach płytkiego miocenu w strefach występowania warstw gazonośnych i wtórnych nagromadzeń gazu w otworze Przeworsk-17 oraz propozycje rozwiązań dla nowych otworów planowanych na złożu Przeworsk*. Praca niepublikowana, INiG, Kraków 2013, s. 8–14.



Dr inż. Marcin KREMIEŃEWSKI
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



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

OFERTA

ZAKŁAD GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

Zakres działania:

- badania tomograficzne skał:
 - » trójwymiarowa wizualizacja i analiza wewnętrznej struktury przestrzeni porowej skał metodą mikrotomografii rentgenowskiej (micro-CT),
 - » tomografia metrowych odcinków skał, profilowanie zmian parametrów petrofizycznych rdzenia (porowatość, gęstość objętościowa);
- badania metodą jądrowego rezonansu magnetycznego:
 - » określanie rozkładu nasycenia wodą przestrzeni porowej próbek,
 - » generacja map T1-T2, szacowanie nasycenia wodą/węglowodorami,
 - » identyfikacja obecności substancji organicznej TOC;
- oznaczanie jakościowego i ilościowego składu mineralnego skał oraz wydzielonej frakcji ilastej na podstawie analizy rentgenowskiej;
- wyznaczenie zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych: uranu, toru i potasu w skałach, płuczkach wiertniczych i materiałach budowlanych;
- ocena elektrycznych parametrów skał (wskaźnika struktury porowej i zwilżalności);
- określanie zależności elektrycznej oporności właściwej płuczek wiertniczych od temperatury;
- ocena prędkości propagacji fal ultradźwiękowych w skałach, kamieniach cementowych i płuczkach wiertniczych;
- badanie przewodności cieplnej skał;
- wyznaczenie współczynnika przepuszczalności;
- badanie gęstości, gęstości właściwej i porowatości;
- interpretacja profiliowań geofizycznych w zakresie oceny stanu zacementowania rur okładzinowych w otworach;
- badania serwisowe:
 - » analiza chemiczna skał metodą fluorescencji rentgenowskiej;
 - » spektrometryczne pomiary gamma na rdzeniu wiertniczym: ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th , total gamma przy wykorzystaniu mobilnego urządzenia „Gamma Logger”.



Kierownik: dr inż. Marek Dohnalik
Adres: ul. Bagrowa 1, 30-733 Kraków
Telefon: 12 650 67 70
Faks: 12 617 74 70, 12 653 16 65
E-mail: marek.dohnalik@inig.pl

