

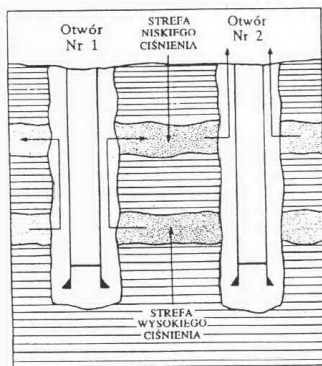
Marcin Kremieniewski\*, Stanisław Stryczek\*\*

## ZACZYNY CEMENTOWE ODPORNE NA ZJAWISKO MIGRACJI GAZU\*\*\*

### 1. WPROWADZENIE

Jednym z największych problemów w przemyśle naftowym jest zjawisko migracji płynu w przestrzeni pierścieniowej. Płynem tym może być zarówno faza ciekła, jak i gazowa. Migracja płynu w przestrzeni pierścieniowej może mieć miejsce zarówno w trakcie wiercenia, jak też przygotowywania do eksploatacji otworu.

Migracja cieczy w przestrzeni pierścieniowej polega na dopływie płynów złożowych do przestrzeni pierścieniowej wskutek braku równowagi ciśnień. Płyn przemieszcza się do strefy o niższym ciśnieniu lub nawet dociera do powierzchni (rys. 1).



Rys. 1. Schemat zjawiska migracji międzystrefowej [7]

\* Instytut Nafty i Gazu, Oddział Krosno

\*\* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Kraków

\*\*\* Praca wykonana w ramach działalności statutowej INiG nr 0036/KW/2010 oraz w ramach realizacji projektu badawczego nr N N524 369637 (37 konkurs projektowy)

Wiodące światowe firmy naftowe, na podstawie analiz cementowań, twierdzą, że około 15% wykonywanych zabiegów cementowania należałoby uznać za nieudane pod względem ekshalacji gazowych.

Obecnie problem migracji gazu występuje na większości złóż gazowych lub w otworach przygotowywanych do magazynowania gazu (zbiorniki gazu) i określany jest jako:

- łączność gazowa, przeciek gazowy,
- przepływ gazu w przestrzeni pierścieniowej,
- przepływ kanałowy gazu,
- przepływ gazu po cementowaniu,
- inwazja.

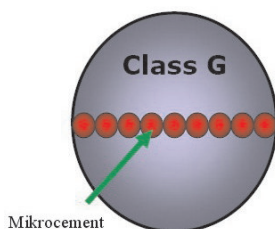
Skala zagrożenia zjawiskiem przepływu gazu jest bardzo duża – począwszy od występowania delikatnych poduszek gazowych i ciśnień rzędu kilku atmosfer na głowicy, a skończywszy na najbardziej niebezpiecznych, czyli erupcjach.

W obecnym stanie rozpoznania możemy wytypować czynniki przyczynowe wpływające na proces migracji gazu:

- geologiczne – w głównej mierze budowa geologiczna rozpatrywanych rejonów; w rejonie Karpat migracje gazowe są wynikiem płytkiego zalegania warstw (ok. 50÷500 m) horyzontów gazowych i poziomów ilasto-piaskowych nasyconych gazem o bardzo dobrych własnościach kolektorskich; wpływa to bezpośrednio na brak skutecznego uszczelnienia rur;
- techniczno-technologiczne – jakość rur okładzinowych i stan ich powierzchni zewnętrznej, szczelność połączeń na gwincie, uzbrojenie kolumny rur, możliwości techniczne, sprawność sprzętu cementacyjnego i aparatury kontrolno-pomiarowej, konstrukcja otworu, długość i średnica kolumny rur okładzinowych, powierzchnia przekroju przestrzeni pierścieniowej, stan techniczny i przygotowanie otworu do rurowania i cementowania, komplikacje podczas wiercenia rurowania i cementowania, centryczność kolumn rur w otworze, rodzaje i parametry płuczek wiertniczych, charakterystyka osadu filtracyjnego, skład, objętość i parametry zaczynu cementowego, charakter przepływu podczas tłoczenia, poruszanie i obracanie kolumną rur podczas cementowania, ciśnienia wywierane w otworze i przestrzeni międzyrurowej po ukończeniu cementowania [3];
- mechaniczne – udary oraz wibracje świda i przewodu wiertniczego podczas zwiercania korka cementowego, buta i dalsze wiercenie, perforacja rur, zmiany ciśnienia w otworze podczas wykonywania próbowań i zabiegów stymulacyjnych [3];
- organizacyjne – 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 [3].

W celu ograniczenia lub wyeliminowania migracji gazu przez wiążący zaczyn cementowy stosuje się specjalnego rodzaju dodatki, które oprócz wpływu na regulację parametrów reologiczno-strukturalnych zapobiegają przechodzeniu gazu przez zaczyn podczas wiązania i po jego związaniu.

Jednym z dodatków stosowanych jest mikrocement, który dzięki wielkości ziaren dziesięć razy mniejszej od wielkości ziaren cementu (rys. 2) wpływa w sposób doszczelniający na matrycę stwardniałego kamienia cementowego powstałego z zaczynu utworzonego na bazie zwykłego cementu.



**Rys. 2.** Porównanie wielkości ziaren cementu klasy G i mikrocementu

Kolejnym dodatkiem przeciwdziałającym ekshalacji jest nowy środek zapobiegający migracji gazu. Jest to wielkocząsteczkowy polimer kationowy, który:

- nie wymaga dodatków antykoagulacyjnych,
- może być stosowany z cementem portlandzkim, żuźlowym i pucolanowym, wiertniczym,
- może być stosowany w zaczynie cementowym zarabianym solanką,
- może być stosowany razem z przyspieszaczem  $\text{CaCl}_2$ .

Ze względu na budowę geologiczną przewierczanych warstw wymagane jest stosowanie zaczynów o właściwościach odpowiadających konkretnym warunkom cementowania. Do zaczynów takich należą m.in. zaczyny o obniżonej gęstości, które otrzymuje się poprzez wprowadzenie do mieszaniny lekkich dodatków mineralnych lub surowców odpadowych. Zaczyny takie muszą się charakteryzować następującymi właściwościami: zerowym odstożem wody, niską wartością filtracji, odpowiednim czasem gęstnienia, wiązania, oraz wczesną wytrzymałością na ściskanie i zdolnością zapobiegania dopływowi gazu w fazie transformacji

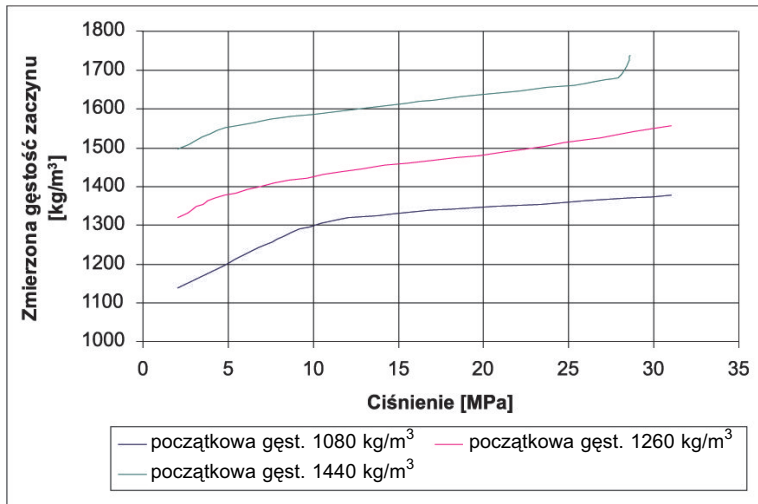
Zaczyny o obniżonej gęstości stosuje się w przypadku podnoszenia cieczy uszczelniającej w przestrzeni pozarurowej na duże wysokości oraz przewiercania profilu geologicznego. Dzieje się tak, kiedy mamy do czynienia ze skałami słabo chłonnymi oraz podczas wiercenia w profilu skał słabo związanych i na poziomach produktywnych o niskim ciśnieniu złożowym (zapobieganie ucieczkom w słabsze strefy).

Zaczyny „lekkie” otrzymuje się poprzez wprowadzenie do nich surowców mineralnych o obniżonej gęstości. W celu obniżenia ciężaru właściwego zaczynu stosowanego do uszczelnienia technicznej kolumny rur okładzinowych najczęściej stosuje się dodatek mikrosfer [2].

**Mikrosfera** – jest to proszek w postaci małych kulek wypełnionych gazem (rys. 3). Ich ciężar właściwy waha się w przedziale  $0,4\div 0,6\text{ g/cm}^3$ . Gęstość zaczynów modyfikowanych przez dodatek mikrosfer można obniżyć nawet do  $1,02\text{ g/cm}^3$ . Kamień powstały z takiego zaczynu charakteryzuje się wysoką wytrzymałością oraz niską przepuszczalnością. Występują dwa rodzaje mikrosfer: ceramiczna i szklana [2]. W przypadku lekkich zaczynów uszczelniających ograniczeniem w stosowaniu mikrosfer jest ciśnienie hydrostatyczne (maks. 35 MPa, dla niektórych odmian mikrosfer 70 MPa). Wraz ze wzrostem ciśnienia cząsteczki mikrosfer ulegają ściśnięciu, niekiedy zniszczeniu, natomiast wzrostowi ciśnienia towarzyszy wzrost gęstości (rys. 4).



Rys. 3. Obraz mikroskopowy mikrosfer



Rys. 4. Wzrost gęstości zaczynu w zależności od wzrostu ciśnienia

W trakcie opracowywania i modyfikacji zaczynów uszczelniających odpornych na zjawiska ekshalacji uwzględnia się aspekt przechodzenia zaczynu z cieczy w stan stały. W trakcie takiej transformacji zaczyn hydratyzuje, co może umożliwiać migrację gazu przez zaczyn. Kolejnym etapem hydratacji jest odpływanie wody wolnej, co powoduje skurcz wiążącego cementu.

W celu wyeliminowania zjawiska migracji gazu zaczyn powinien charakteryzować się następującymi właściwościami:

- zerowy odstęp wody,
- niska filtracja,
- odpowiedni czas zatłaczania,
- wczesna wytrzymałość na ściskanie,
- zdolność zapobiegania dopływowi gazu w fazie transformacji.

Aby zapobiec migracji gazu zaczynów uszczelniających, modyfikuje się je, stosując dostępne środki zapobiegające migracji. Ich przydatność określa się na podstawie testów prowadzonych za pomocą aparatu do badań migracji gazu w warunkach otworopodobnych. W artykule przedstawiono badania zaczynów lekkich odpornych na migrację gazu wykonane przy użyciu skonstruowanego w INiG urządzenia (rys. 5), które odzwierciedla warunki otworowe i umożliwia śledzenie zjawisk zachodzących w zaczynie podczas wiązania.



Rys. 5. Aparat do badania migracji gazu przez wiązany zaczyn cementowy (konstrukcja INiG)

## 2. BADANIA LABORATORYJNE

Wstępne badania laboratoryjne migracji gazu w trakcie wiązania zaczynu cementowego przeprowadzono w Laboratorium Zaczynów Uszczelniających Zakładu Technologii Wiercenia INiG Oddział Krosno zgodnie z normami: PN-85/G-02320: *Cementy i zaczyny cementowe do cementowania w otworach wiertniczych*; PN-EN 01426-2: *Przemysł naftowy i gazowniczy. Cementy i materiały do cementowania otworów. Część 2: Badania cementów wiertniczych* oraz API SPEC 10: *Specification for materials and testing for well cements*.

Natomiast główne testy migracji gazu w trakcie wiązania zaczynu cementowego wykonano w warunkach otworopodobnych (HTHP) za pomocą skonstruowanego w INiG urządzenia (rys. 5), które symuluje warunki otworowe i umożliwia śledzenie zjawisk zachodzących w zaczynie podczas wiązania.

Celem badań było opracowanie zaczynów uszczelniających, które będą odporne na zjawisko migracji gazu w danych warunkach otworowych. Badania rozpoczęto od wytypowania składów zaczynów cementowych stosowanych w przemyśle lub mogących znaleźć zastosowanie do uszczelniania otworów gazowych, w których istnieje możliwość ekshalacji gazu.

Podczas opracowywania zaczynu wprowadzano dodatki w celu uzyskania zaczynu odpornego na zjawisko migracji gazu. Testy przeprowadzone zostały dla czterech wartości temperaturowych (25 °C, 40 °C, 60 °C oraz 80 °C).

Zaczyny sporządzane były na wodzie wodociągowej i poddawane modyfikacji pod kątem właściwości reologicznych w taki sposób, aby parametry reologiczne wynosiły odpowiednio:

- lepkość plastyczna ok. 60÷105 mPa·s,
- granica płynięcia 2÷6 Pa,
- wytrzymałość strukturalna 2÷10 Pa.

Dodatki upłynniające miały na celu udoskonalenie przetłaczalności podczas zabiegu uszczelniania, co korzystnie wpływa na dokładne wypełnienie przestrzeni międzyrurowej.

Do badań użyto cementu portlandzkiego CEM I 32,5 R oraz cementu wiertniczego G HSR, który jest powszechnie stosowany przez serwisy cementowe do wypełniania przestrzeni międzyrurowej. Po wytypowaniu odpowiedniego składu zaczynu przystąpiono do badań migracji gazu w trakcie wiązania. Efektem końcowym było wskazanie ewentualnie zmodyfikowanie zaczynu w celu umożliwienia jego stosowania w warunkach ekshalacyjnych.

Podczas badań wstępnych do testu na migrację gazu w trakcie wiązania wytypowano po trzy składy (różne ciężary właściwe) dla każdej temperatury, tj. 25 °C, 40 °C, 60 °C oraz 80 °C (dla trzech ciężarów właściwych zaczynów) (tab. 1–8, rys. 6–17).

**Tabela 1**

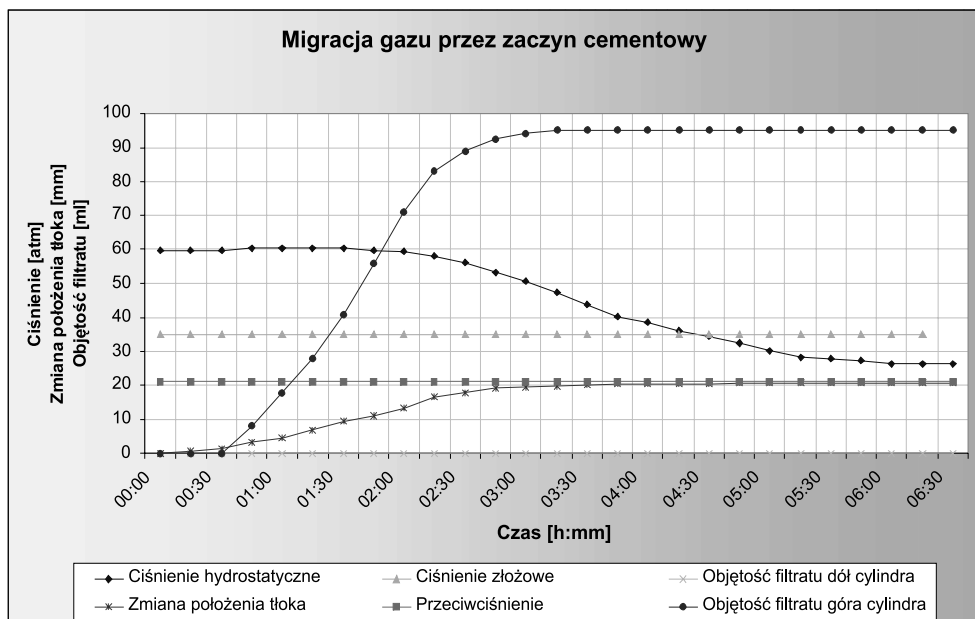
Składy wytypowanych zaczynów w temperaturze 25 °C

Temperatura 25 °C, ciśnienie 3 MPa			
SKŁAD	ZACZYN 23	ZACZYN 24	ZACZYN 25
Woda wodociągowa	w/c = 0,52	w/c = 0,58	w/c = 0,64
Bentonit (bwow), %	–	0,3	0,3
Dodatek odpieniający, %	1,0	1,0	1,0
Dodatek upłynniający, %	0,3	0,3	0,3
Dodatek antyfiltracyjny, %	0,1	0,25	0,3
Lateks, %	10,0	10,0	10,0
Stabilizator lateksu, %	2,0	2,0	2,0
Dodatek przyspieszający czas gęstnienia, %	4,0	3,5	3,5
Mikrocement, %	20,0	20,0	20,0
Mikrosfery, %	–	10,0	20,0
Cement Cem I 32,5 R, %	100,0	100,0	100,0
Dodatek spęczniający, %	0,3	0,3	0,3

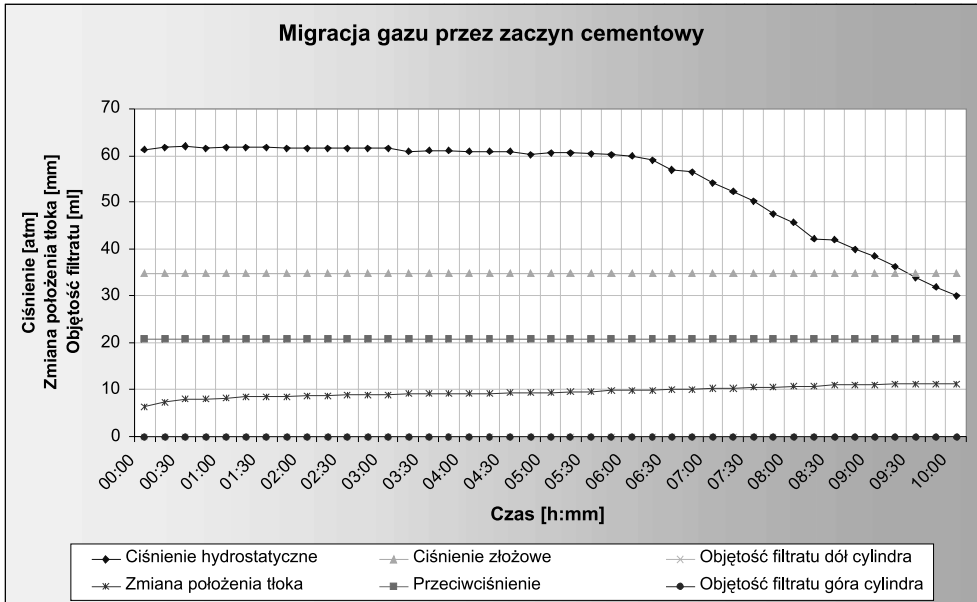
**Tabela 2**

Parametry wytypowanych zaczynów w temperaturze 25 °C

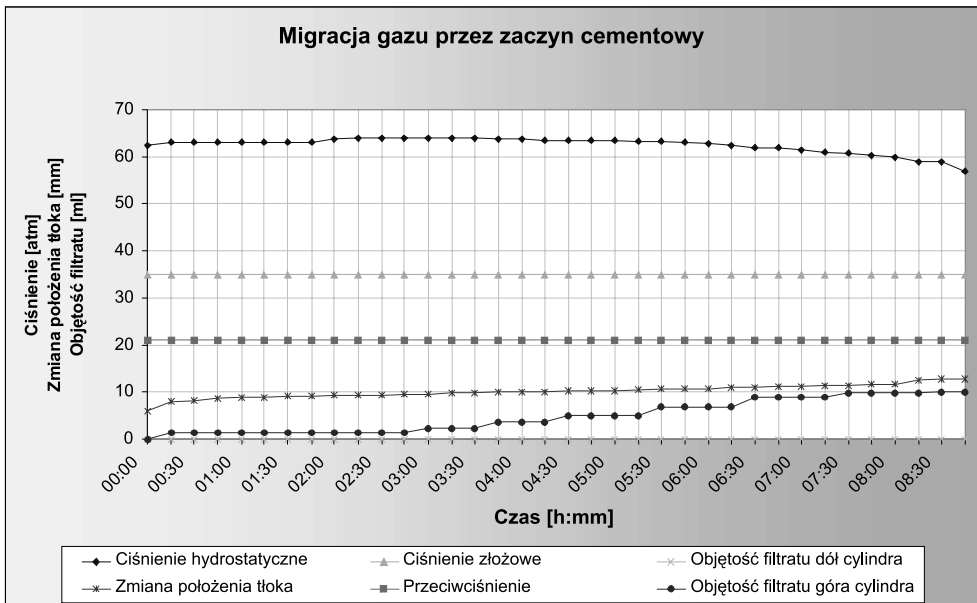
Parametr	ZACZYN 23	ZACZYN 24	ZACZYN 25
Gęstość, g/cm <sup>3</sup>	1,75	1,61	1,51
Rozlewność, mm	240	260	270
Filtracja, cm <sup>3</sup> /30 min	56,0	10,8	10,4
Lepkość plastyczna, mPa·s	64,5	91,5	102
Granica płynięcia, Pa	6,5	9,4	7,7
Wytrzymałość strukturalna, Pa	23,5	8,2	8,6
Odstój wody, %	0,2	0,0	0,0
Początek wiązania / koniec wiązania	3-00 / 3-30	7-00 / 8-00	6-00 / 7-00
Czas gęstnienia ( $t = 25\text{ °C}^*$ , $p = 3\text{ MPa}$ ) *czas dojścia do temperatury 10 minut	30 Bc	2÷13	2÷50
	100 Bc	2÷40	3÷48



**Rys. 6.** Migracja gazu przez zaczyn 23  
(temp. 25 °C, ciśn. 3 MPa, 0,0% mikrosfery)



**Rys. 7.** Migracja gazu przez zaczyn 24  
(temp. 25 °C, ciśn. 3 MPa, 10,0% mikrosfery)



**Rys. 8.** Migracja gazu przez zaczyn 25  
(temp. 25 °C, ciśn. 3 MPa, 20,0% mikrosfery)



**Tabela 3**

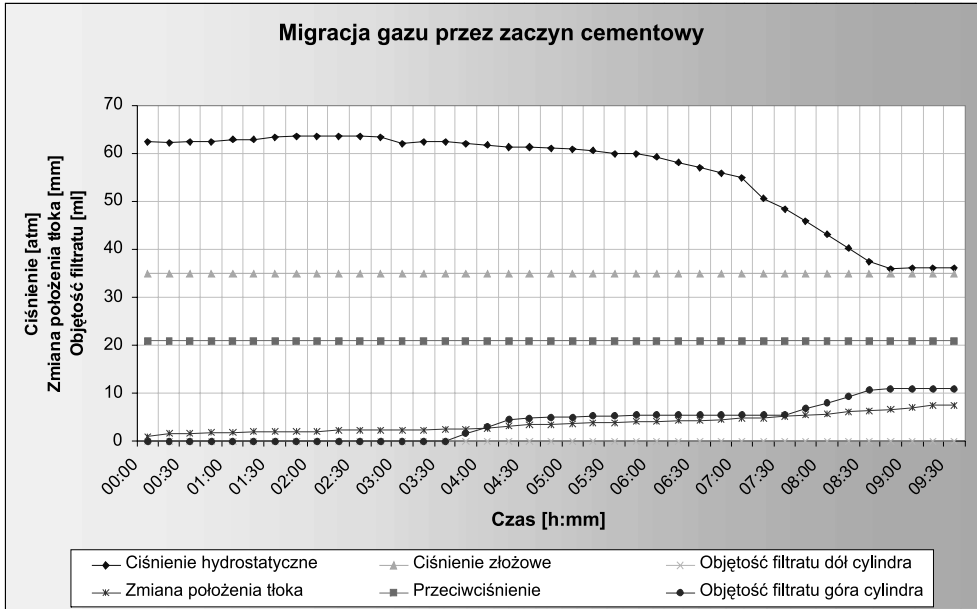
Składy wytypowanych zaczynów w temperaturze 40 °C

Temperatura 40 °C, ciśnienie 15 MPa			
SKŁAD	ZACZYN 14	ZACZYN 19	ZACZYN 22
Woda wodociągowa	w/c = 0,52	w/c = 0,53	w/c = 0,60
Bentonit (bwow), %	–	0,3	0,3
Dodatek odpieniający, %	1,0	0,5	0,5
Dodatek upłynniający, %	0,1	0,1	0,15
Dodatek antyfiltracyjny, %	0,2	0,25	0,25
Lateks, %	10,0	10,0	10,0
Stabilizator lateksu	2,0	2,0	2,0
Dodatek przyspieszający czas gęstnienia, %	1,5	–	0,1
Mikrocement, %	20,0	20,0	20,0
Mikrosfery, %	–	10,0	20,0
Cement Cem I 32,5 R, %	100,0	100,0	100,0
Dodatek spęczniający, %	0,3	0,3	0,3

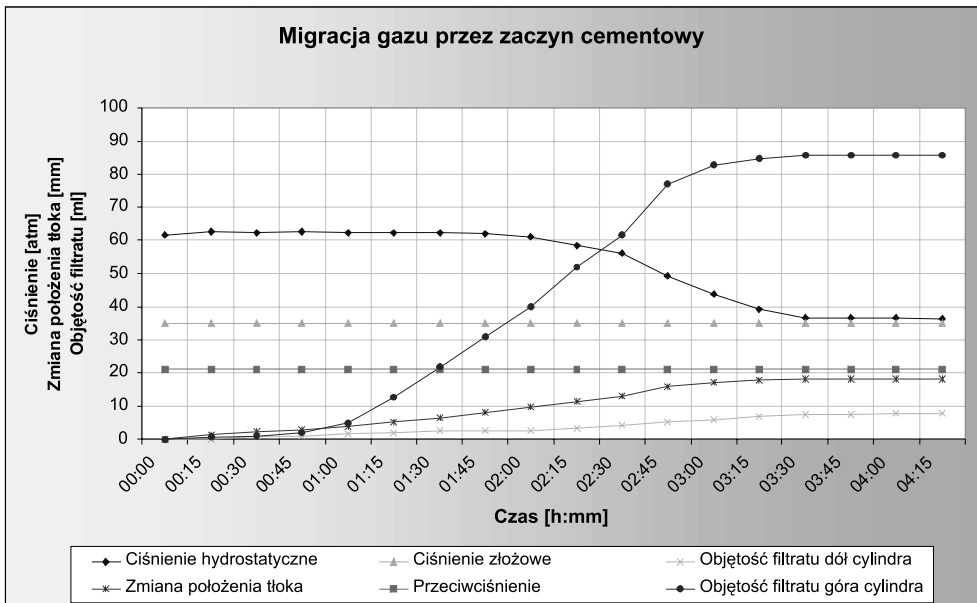
**Tabela 4**

Parametry wytypowanych zaczynów w temperaturze 40 °C

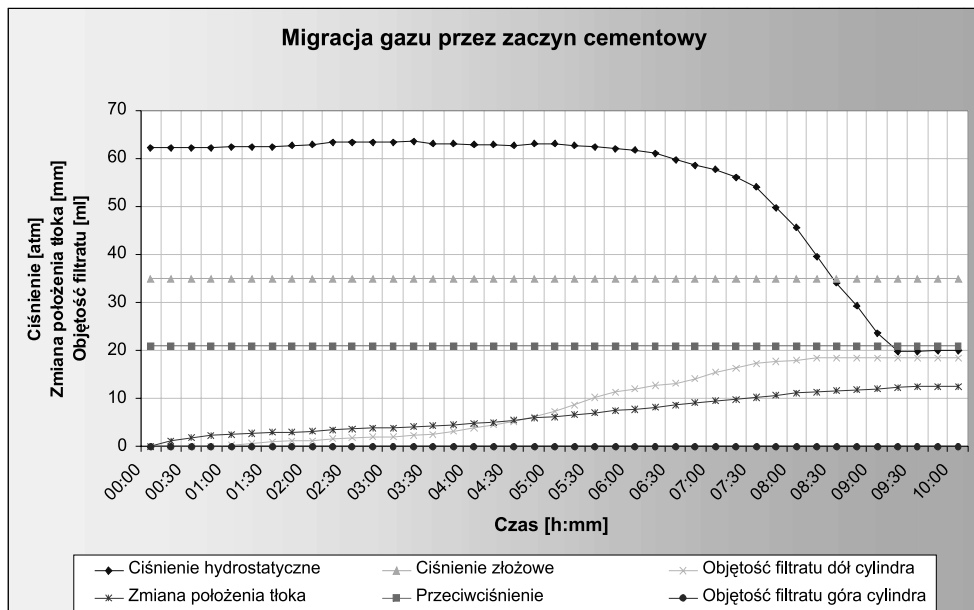
Parametr	ZACZYN 14	ZACZYN 19	ZACZYN 22	
Gęstość, g/cm <sup>3</sup>	1,79	1,64	1,49	
Rozlewność, mm	290	275	280	
Filtracja, cm <sup>3</sup> /30 min	48,0	3,6	4,0	
Lepkość plastyczna, mPa·s	70,5	69,0	78,0	
Granica płynięcia, Pa	3,6	38	1,9	
Wytrzymałość strukturalna, Pa	5,3	4,3	3,8	
Odstój wody, %	0,4	0,0	0,0	
Początek wiązania / koniec wiązania	5-30 / 6-30	3-30 / 4-00	4-15 / 5-00	
Czas gęstnienia (t = 40 °C*, p = 15 MPa) *czas dojścia do temperatury 30 minut	30 Bc	2÷14	2÷02	2÷45
	100 Bc	2÷37	2÷44	3÷03



**Rys. 9.** Migracja gazu przez zaczyn 14  
(temp. 40 °C, ciśn. 15 MPa, 0,0% mikrosfery)



**Rys. 10.** Migracja gazu przez zaczyn 19  
(temp. 40 °C, ciśn. 15 MPa, 10,0% mikrosfery)



**Rys. 11.** Migracja gazu przez zaczyn 22  
(temp. 40 °C, ciśn. 15 MPa, 20,0% mikrosfery)

**Tabela 5**

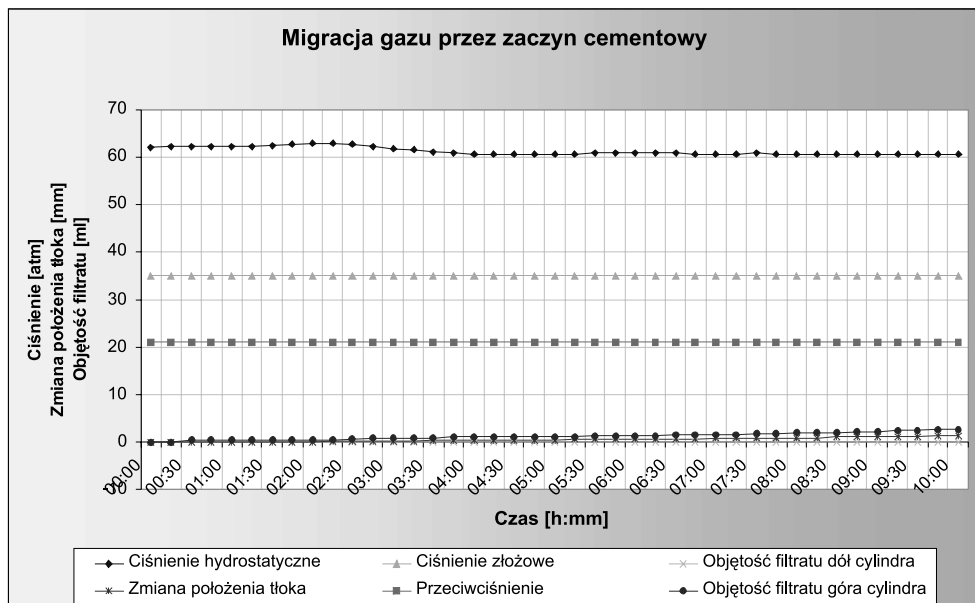
Składy wytypowanych zaczynów w temperaturze 60 °C

Temperatura 60 °C, ciśnienie 35 MPa			
SKŁAD	ZACZYN 13	ZACZYN 8	ZACZYN 12
Woda wodociągowa	w/c = 0,45	w/c = 0,5	w/c = 0,55
Bentonit (bwow), %	–	0,3	0,3
Dodatek odpieniający, %	0,5	0,5	0,5
Dodatek opóźniający czas gęstnienia, %	0,1	–	0,1
Dodatek upłynniający, %	0,2	0,2	0,2
Dodatek antyfiltracyjny, %	0,2	0,3	0,3
Lateks, %	10,0	10,0	10,0
Stabilizator lateksu, %	2,0	2,0	2,0
Mikrocement, %	15,0	10,0	15,0
Mikrosfery, %	–	10,0	20,0
Cement GHSR, %	100,0	100,0	100,0
Dodatek spęczniający, %	0,3	0,3	0,3

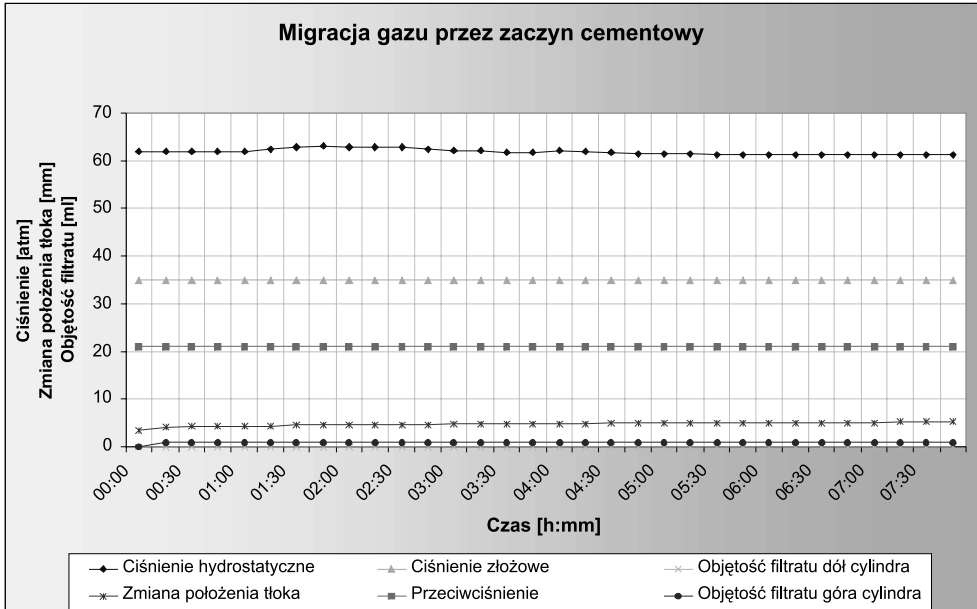
**Tabela 6**

Parametry wytypowanych zaczynów w temperaturze 60 °C

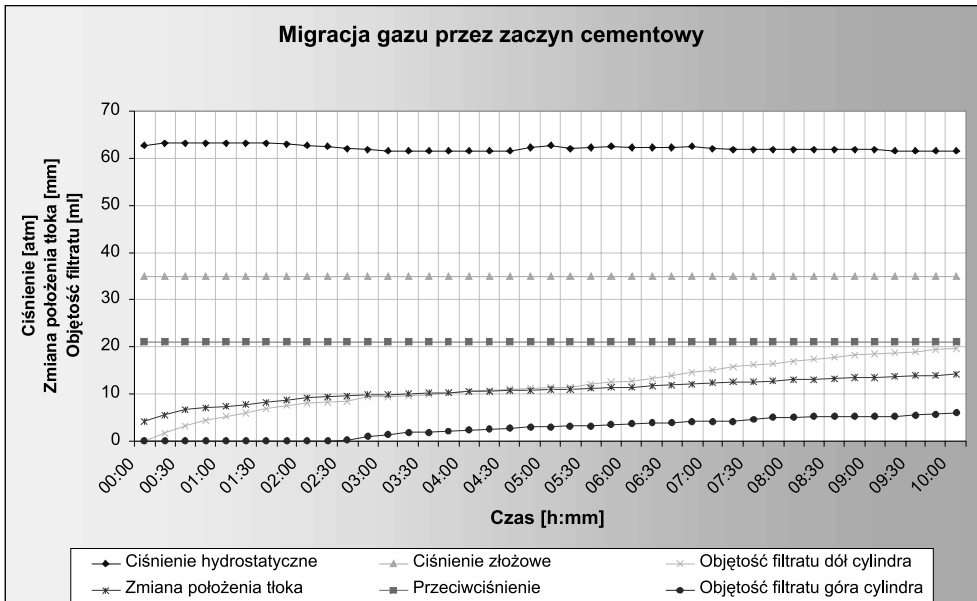
Parametr	ZACZYN 13	ZACZYN 8	ZACZYN 12
Gęstość, g/cm <sup>3</sup>	1,84	1,61	1,48
Rozlewność, mm	310	300	295
Filtracja, cm <sup>3</sup> /30 min	18,0	19,0	15,0
Lepkość plastyczna, mPa·s	72,0	78,0	120,0
Granica płynięcia, Pa	2,4	5,3	3,8
Wytrzymałość strukturalna, Pa	3,8	9,1	6,7
Odstój wody, %	0,0	0,0	0,0
Początek wiązania / koniec wiązania	9-00 / 10-00	5-45 / 6-15	8-45 / 10-00
Czas gęstnienia ( <i>t</i> = 60 °C*, <i>p</i> = 35 MPa) *czas dojścia do temperatury 10 minut	30 Bc	4÷35	4÷26
	100 Bc	5÷05	5÷11



**Rys. 12.** Migracja gazu przez zaczyn 13  
(temp. 60 °C, ciśn. 35 MPa, 0,0% mikrosfery)



**Rys. 13.** Migracja gazu przez zaczyn 8  
(temp. 60 °C, ciśn. 35 MPa, 10,0% mikrosfery)



**Rys. 14.** Migracja gazu przez zaczyn 12  
(temp. 60 °C, ciśn. 35 MPa, 20,0% mikrosfery)

**Tabela 7**

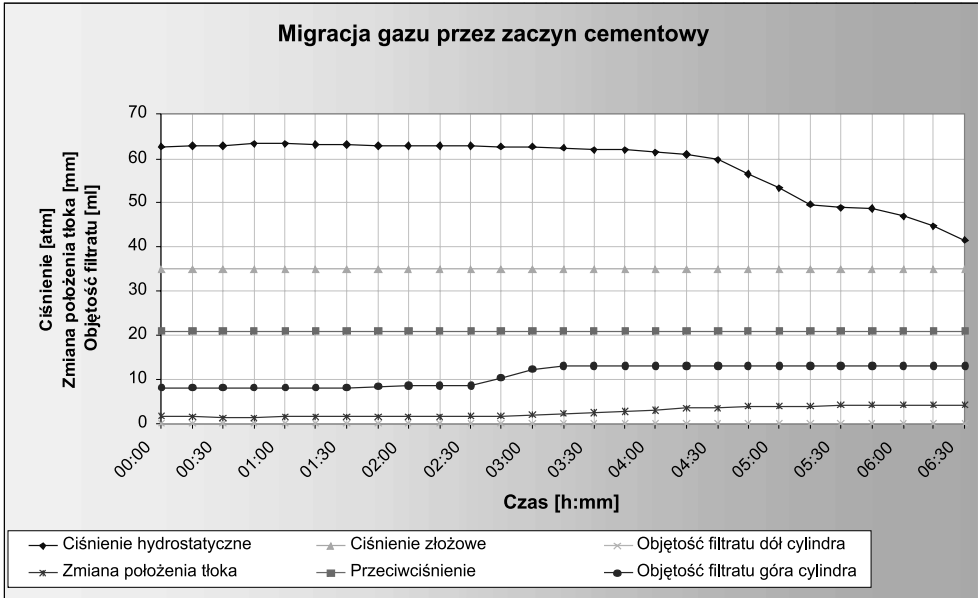
Składy wytypowanych zaczynów w temperaturze 80 °C

Temperatura 80 °C, ciśnienie 42 MPa			
SKŁAD	ZACZYŃ 29	ZACZYŃ 31	ZACZYŃ 32
Woda wodociągowa	w/c = 0,50	w/c = 0,55	w/c = 0,58
Bentonit (bwow), %	–	0,3	0,3
Dodatek odpieniający, %	0,5	0,5	0,5
Dodatek upłynniający, %	0,25	0,25	0,2
Dodatek antyfiltracyjny, %	0,2	0,20	0,15
Lateks, %	10,0	10,0	10,0
Stabilizator lateksu, %	2,0	2,0	2,0
Mikrocement, %	20,0	20,0	20,0
Mikrosfery, %	–	10,0	20,0
Cement GHSR, %	100,0	100,0	100,0
Dodatek spęczniający, %	0,3	0,3	0,3

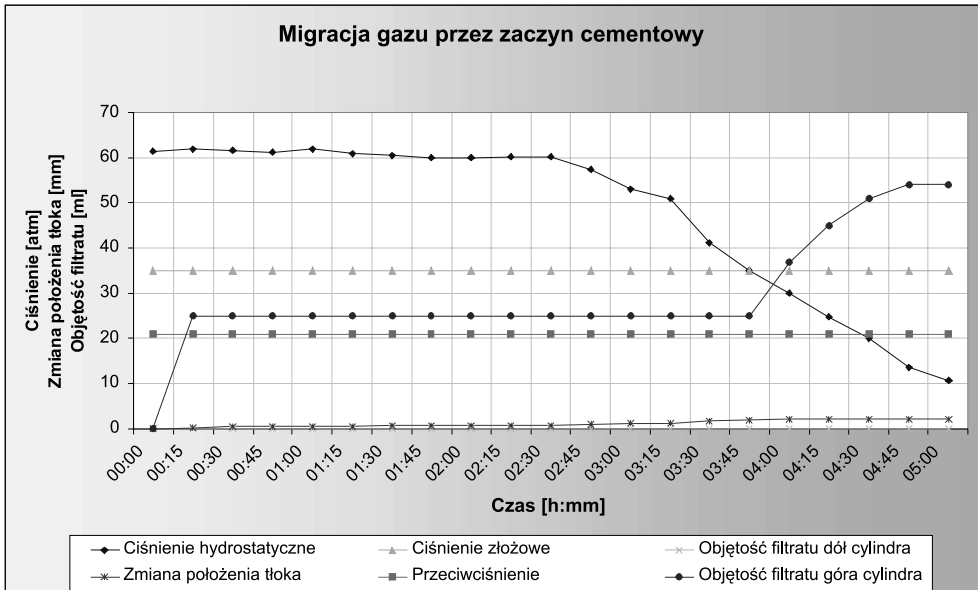
**Tabela 8**

Parametry wytypowanych zaczynów w temperaturze 80 °C

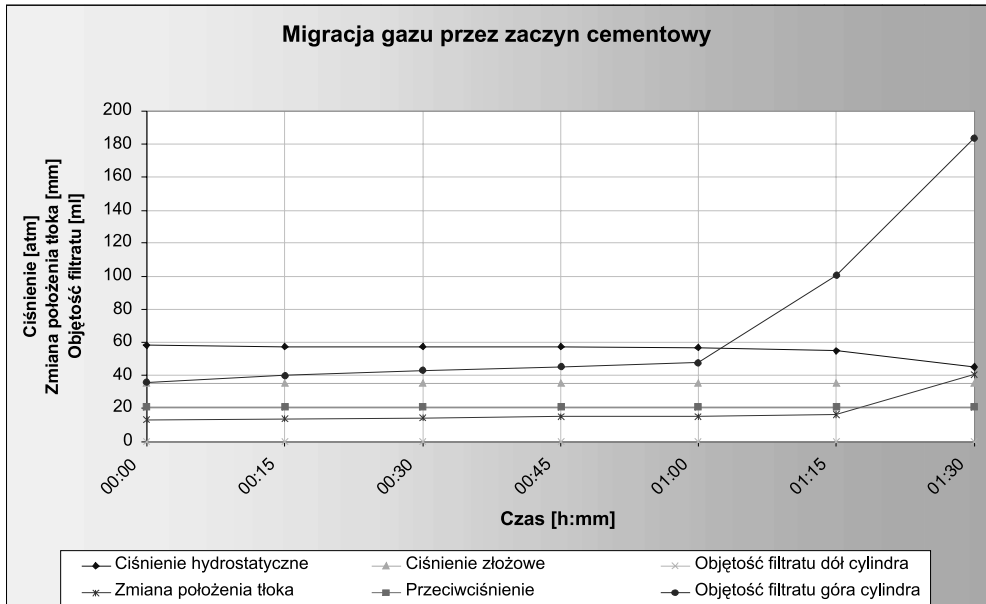
Parametr	ZACZYŃ 29	ZACZYŃ 31	ZACZYŃ 32	
Gęstość, g/cm <sup>3</sup>	1,83	1,66	1,54	
Rozlewność, mm	300	280	230	
Filtracja, cm <sup>3</sup> /30 min	56,0	5,2	39	
Lepkość plastyczna, mPa·s	70,0	49,5	66,0	
Granica płynięcia, Pa	3,1	2,6	5,3	
Wytrzymałość strukturalna, Pa	4,8	4,8	12,0	
Odstój wody, %	0,0	0,0	0,4	
Początek wiązania / koniec wiązania	5-45 / 6-15	4-00 / 4-45	3-00 / 4-00	
Czas gęstnienia ( $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}^*$ , $p = 42\text{ MPa}$ ) *czas dojścia do temperatury 80 minut	30 Bc	5÷08	4÷32	3÷49
	100 Bc	5÷35	4÷52	4÷30



**Rys. 15.** Migracja gazu przez zacin 29 (temp. 80 °C, ciśn. 42 MPa, 0,0% mikrosfer)



**Rys. 16.** Migracja gazu przez zacin 31 (temp. 80 °C, ciśn. 42 MPa, 10,0% mikrosfer)



**Rys. 17.** Migracja gazu przez zaczyn 32  
(temp. 80 °C, ciśn. 42 MPa, 20,0% mikrosfer)

Badane zaczyny poddano testowi migracji gazu przez wiążący zaczyn cementowy oraz odnotowano czasy początku i końca wiązania. Na podstawie badań stwierdzono, że przez zaczyny w czasie wiązania nie przechodził gaz. Świadczyła o tym stosunkowo niewielka ilość wydzielonego filtratu oraz powolny jednostajny ruch tłoka, który na koniec pomiaru zatrzymywał i jego położenie nie ulegało zmianie.

Na podstawie porównania testu migracji podczas wiązania zaczynu z osiąganym czasem początku i końca wiązania oceniono, czy zaczyn posiada właściwości zapobiegające migracji gazu. Gdy wartość ciśnienia hydrostatycznego spadnie poniżej wartości ciśnienia porowego przed odnotowaniem początku wiązania zaczynu, wówczas nie jest on odporny na zjawisko migracji gazu. Podczas powyższych badań tylko zaczyny 31 oraz 32 wykazały się taką zależnością. Spowodowane to jest ograniczeniem stosowalności dodatku mikrosfery wynoszącej odpowiednio 10% w zaczynie 31 oraz 20% w zaczynie 32. Mikrosfery pod wpływem wysokiego ciśnienia 42 MPa oraz temperatury 80 °C ulegają destrukcji, co jednocześnie przyczynia się do niszczenia tworzącej się struktury żelowej zaczynu podczas transformacji z fazy ciekłej.

### 3. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań wyciągnięto następujące wnioski:

- 1) W celu opracowania zaczynu odpowiedniego do uszczelniania otworów gazowych należy zwrócić szczególną uwagę na różnorodne parametry technologiczne.



Parametry te to:

- odpowiedni dla danych warunków czas gęstnienia,
  - zawartość dodatku mikrosfery w zależności od ciśnienia,
  - odpowiednia lepkość plastyczna, granica płynięcia, wytrzymałość strukturalna,
  - niska filtracja zaczynu,
  - zerowy odstęp wody.
- 2) Zaczyny mające za zadanie przeciwdziałać migracji gazu powinny być przebadane z uwzględnieniem konkretnych warunków otworowych na urządzeniu do tego celu przeznaczonym.
  - 3) Opracowany zaczyn powinien wykazywać przechodzenie z fazy ciekłej przez żelową do fazy stałej (osiągnięcie czasu końca wiązania) przed spadkiem ciśnienia hydrostatycznego poniżej wartości zadanego ciśnienia porowego.
  - 4) Wzrost temperatury i ciśnienia powodował ograniczenia w stosowaniu mikrosfery jako dodatku obniżającego ciężar właściwy zaczynu cementowego.
  - 5) Wytypowane zaczyny spełniały wymagania dla zaczynów odpornych na zjawisko migracji gazu.

Ponadto na skuteczność uszczelniania kolumn rur okładzinowych wpływa szereg czynników. Występowanie wielu nieprzewidywalnych procesów fizyczno-chemicznych w układzie: zaczyn uszczelniający – skała – płyny złożowe, oraz mechanicznych w układzie kamień cementowy – skała, może przyczyniać się do powstawania dróg migracji gazu. Z tego względu nie należy uogólniać zjawiska migracji gazu i w związku z tym każdy przypadek należy rozpatrywać indywidualnie w odniesieniu do konkretnych warunków otworowych. Częściowym rozwiązaniem problemu mogłoby być badanie zaczynu przeznaczonego do uszczelniania trudnych ekshalacyjnych odwiertów przed zabiegiem cementowania w laboratorium na urządzeniu do tego przeznaczonym.

## LITERATURA

- [1] Baret J.F.: *Why are Cement Fluid-Loss Additives Necessary?* Paper SPE 17630, 1988.
- [2] Carter L.G., Slagle K.A.: *Study of Completion Practices to Minimize Gas Communication.* Paper SPE 3164, 1970.
- [3] Herman Z.: *Problemy migracji i ekshalacji gazu w odwiertach.* Technické univerzity, Ostrava 2005.
- [4] Kątna Z.: *Metodyka badania migracji gazu przez zaczyn cementowy w czasie wiązania.* INiG, Kraków 2005.
- [5] Kremieniewski M.: *Zaczyn cementowy o obniżonej gęstości do uszczelniania technicznych kolumn rur okładzinowych.* INiG, Kraków 2009.
- [6] Kurdowski W.: *Dodatki mineralne do cementu a trwałość betonu.* Cement, Wapno, Beton, nr 6, 1991, s. 144–148.

- [7] Raczkowski J. i in.: *Ekspertyza dotycząca stanu technicznego odwiertów na PMG Husów-105K, Husów-132K i Wierzchowice WM-A*. Dokumentacja IGNiG, Kraków 1997.
- [8] Raczkowski J. i in.: *Zaczyny do uszczelniania w otworach wiertniczych*. Skrypty Uczelniane AGH, nr 612, Kraków 1978.
- [9] Rzepka M.: *Obciążone zaczyny polimerowe zapobiegające migracji gazu w warunkach występowania pokładów solnych*. Kraków 1999.
- [10] Nelson E.B.: *Well cementing*. Schlumberger Educational Services, Houston 1990.
- [11] *Cementowanie otworów wiertniczych* (praca zbiorowa). Warszawa 1993.