

Marcin Rzepka

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Zaczyny cementowe i cementowo-lateksowe sporządzane na bazie wody morskiej

W ostatnich latach coraz częściej w technologii cementacyjnej wykorzystywane są mieszaniny wiążące oparte na cieczach o różnym zasoleniu. Ma to związek z faktem, iż w wielu wypadkach konieczne jest użycie zmineralizowanej wody zarobowej, zawierającej znaczne ilości rozpuszczonych soli. Dotyczy to np. wierceń prowadzonych na platformach wiertniczych, w których jako ciecz zarobową można wykorzystać wodę morską. Woda morska jest powszechnie stosowana na wielu platformach wiertniczych, zwłaszcza w Zatoce Meksykańskiej, okolicach Alaski, Zatoce Perskiej i na Morzu Północnym. W literaturze [13] można znaleźć informacje, że woda morska jest odpowiednia do przygotowania zaczynów cementowych do uszczelniania rur okładzinowych, a własności technologiczne otrzymanych zaczynów z kilku prób są powtarzalne i stabilne. W artykule omówiono badania laboratoryjne wykonane w INiG – PIB, mające na celu opracowanie składów zaczynów cementowych zarabianych wodą morską. W wyniku przeprowadzonych badań opracowano dwa rodzaje receptur zaczynów cementowych na bazie wody morskiej (pobranej z Morza Bałtyckiego). Były to zaczyny cementowe oraz cementowo-lateksowe testowane w temperaturach 50 i 70°C i przy ciśnieniach 25 i 35 MPa. W celu opracowania odpowiedniego zaczynu cementowego należało dobrać głównie ilość środka opóźniającego wiązanie. Zaczyny cementowe posiadały gęstości od około 1790 kg/m³ (przy zastosowaniu cementu portlandzkiego CEM I 32,5) do około 1870 kg/m³ (przy użyciu cementu wiertniczego G). Czasy początku gęstnienia opracowanych zaczynów dla temperatur 50 i 70°C wynosiły około 3÷3 ½ godziny, natomiast czasy końca gęstnienia – około 4÷4 ½ godziny. Kamienie cementowe po 7 dniach hydratacji posiadały wytrzymałość na ściskanie wynoszącą około 20÷25 MPa.

Słowa kluczowe: zaczyn cementowy, stwardniały zaczyn cementowy, woda morska, cementowanie otworów.

Seawater based cement slurries and cement slurries with latex additive

In recent years, binding mixtures based on various salinity fluids are being used increasingly in cementing technologies. This is due to the fact that in many cases it is necessary to use mineralized mixing water, containing substantial quantities of dissolved salts. This applies for example to offshore drilling during which seawater can be used as mixing water. The seawater is commonly used on many offshore platforms, especially in the Gulf of Mexico, around Alaska, the Persian Gulf and the North Sea. In many publications we can find information that seawater is suitable for the preparation of cement slurries for sealing the casing and obtained cement slurries have reproducible and stable technological properties. This paper discusses the result of laboratory tests carried out in The Oil and Gas Institute – National Research Institute, for the development of formulas for cement slurries based on seawater. As a result of the tests, two kind of seawater based cement slurries (water from Baltic Sea) have been developed. Developed slurries: cement slurries and latex-based slurries were tested at temperatures 50°C and 70°C and at pressure 25 MPa and 35 MPa. The aim of laboratory tests was to develop cement slurries with the addition of an appropriate amount of retarders. Cement slurries had density in the range from 1790 kg/m³ (based on Portland cement class CEM I) to 1870 kg/m³ (based on drilling class cement G). The slurries analyses were performed at temperatures 50°C and 70°C, the beginning of their thickening time was approx. 3÷3 ½ hour, while the end of thickening time was approx. 4÷4 ½ hour. The compressive strength of cement stones was about 20÷25 MPa after 7 days of hydration.

Key words: cement slurry, set cement, sea water, cement job.

Wprowadzenie

Ostatnio coraz częściej w technologii cementacyjnej wykorzystywane są mieszaniny wiążące oparte na cieczach o róż-

nym zasoleniu. Jest to spowodowane faktem, iż w wielu wypadkach konieczne jest użycie zmineralizowanej wody zarob-

bowej, zawierającej znaczne ilości rozpuszczonych soli. Dotyczy to np. zagospodarowania szkodliwych dla środowiska zmineralizowanych solanek złożowych, pochodzących z odwiertów, uszczelniania warstw solnych lub też stref czułych na wodę słodką, a także wierceń prowadzonych w warunkach morskich [5, 6, 7, 9, 10, 14, 15]. Woda morska stanowi ponad 96% całej wody w formie ciekłej na powierzchni Ziemi. Są w niej rozpuszczone znaczne ilości związków chemicznych oraz większość pierwiastków chemicznych. Najbardziej charakterystyczną cechą wody morskiej jest wysokie stężenie kationów sodu (Na^+), wapnia (Ca^{2+}), potasu (K^+) i magnezu (Mg^{2+}), a także anionów chlorkowych (Cl^-), siarczanowych (SO_4^{2-}) oraz węglanowych (HCO_3^-), które łącznie nadają jej intensywnie gorzki lub gorzko-słony smak.

Zaczniny cementowe zarabiane wodą morską można z powodzeniem stosować podczas prowadzenia prac cementacyjnych na platformach wiertniczych. Jest to spowodowane faktem, iż dostarczenie dużych ilości wody słodkiej, potrzebnej

do wykonania zabiegu cementowania, na teren platformy często jest utrudnione i wymaga dodatkowych nakładów finansowych czy też przygotowania zaplecza technicznego (np. dodatkowe zbiorniki). Dlatego w szczególnych przypadkach (w sytuacji braku możliwości użycia wody słodkiej) do wykonania zaczynów cementowych używać można wody pobranej z morza [1, 4, 8]. Woda ta powinna być uprzednio dokładnie zbadana w laboratorium. Szczególnie należy dokonać analizy pod kątem zawartości jonów: Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , jak również obecności substancji organicznych powstałych z rozkładu różnorodnych materiałów. Zanieczyszczenia takie mogą wpływać na właściwości sporządzanych zaczynów cementowych opartych na cemencie portlandzkim czy też cemencie wiertniczym (np. zjawisko żelowania i zmiana czasu wiązania i gęstnienia zaczynu). Dlatego też szczególne badania laboratoryjne przed zabiegiem cementowania na platformie wiertniczej powinny być przeprowadzone na wodzie pobranej z okolic stacjonowania platformy wiertniczej.

Charakterystyka wody morskiej

Zasolenie wody mórz i oceanów ma różne nasycenie, ale zawsze te same proporcje różnorodnych soli i związków. Mówi o tym reguła Dietmara, opisując stały skład soli w wodzie morskiej następująco: około 77,8% chlorku sodu, 10,9% chlorku magnezu, 4,7% siarczanu magnezu, 3,6% siarczanu wapnia, 2,5% siarczanu potasu, 0,35% węglanu wapnia, 0,21% bromku magnezu oraz niewielkie ilości innych związków i pierwiastków (tablica 1). Średnie zawartości jonów w światowej wodzie morskiej przedstawiono w tablicy 2.

Bałtyk zalicza się do wód słonawych i określany jest jako morze półsłone. Średnie zasolenie wynosi około 7‰ [3]. Na ogół waha się ono w granicach od 2 do 12‰ (zimną zasolenie w Zatoce Gdańskiej nie przekracza 7,8‰). Na podstawie pomiarów stwierdzono, iż w Kattegacie i Skagerraku zasolenie wynosi około 20‰, w Beltach i Zatoce Kilońskiej oko-

ło 15÷17‰, przy polskich wybrzeżach około 7‰, w Zatoce Puckiej około 6,2‰ [3].

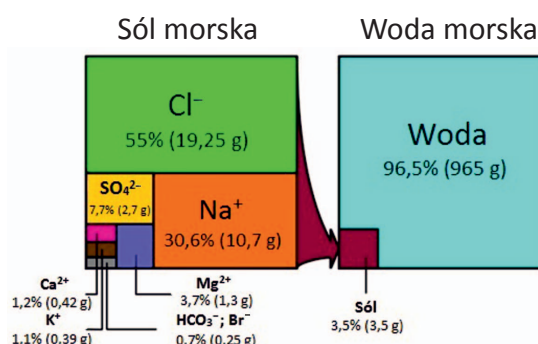
Przeciętne zasolenie wody morskiej i oceanicznej na świecie wynosi 35‰, co oznacza, że około 35 g soli rozpuszczonych jest w 1 kg wody (rysunek 1).

Tablica 2. Średnie zawartości jonów w wodzie morskiej [3]

Średnie zawartości jonów w wodzie morskiej (zasoby światowe)	Podano w [g/kg] wody morskiej
Cl^-	19,252
SO_4^{2-}	2,712
HCO_3^-	0,108
Br^-	0,067
Na^+	10,743
Mg^{2+}	1,283
Ca^{2+}	0,416
K^+	0,395

Tablica 1. Główne substancje rozpuszczone w 1 m³ wody morskiej [3]

Główne substancje rozpuszczone w 1 m ³ (1026 kg) wody morskiej (zasoby światowe)		
substancja	ilość	udział danej soli
Chlorek sodu, NaCl	27,213 kg	77,75%
Chlorek magnezu, MgCl ₂	3,807 kg	10,88%
Siarczan magnezu, MgSO ₄	1,658 kg	4,73%
Siarczan wapnia, CaSO ₄	1,260 kg	3,60%
Siarczan potasu, K ₂ SO ₄	865 g	2,47%
Węglan wapnia, CaCO ₃	123 g	0,35%
Bromek magnezu, MgBr ₂	76 g	0,21%



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie zawartości poszczególnych jonów w wodzie morskiej (zasoby światowe)

Badania laboratoryjne zaczynów cementowych

Woda morska jest powszechnie stosowana jako ciecz zarobowa na wielu platformach wiertniczych, zwłaszcza w Zatoce Meksykańskiej, okolicach Alaski, Zatoce Perskiej i na Morzu Północnym. R.C. Smith i D.G. Calvert [13] potwierdzili swoimi badaniami, iż jest ona odpowiednia do przygotowania zaczynów cementowych do uszczelniania rur okładzinowych, a własności technologiczne otrzymywanych zaczynów z kilku prób są powtarzalne i stabilne. Wspomniani autorzy zauważyli również (porównując zaczyny na bazie cementu portlandzkiego), że w zaczynach zarabianych wodą morską nastąpiło zredukowanie czasu wiązania i zwiększenie wytrzymałości na ściskanie kamienia cementowego w porównaniu z zaczynami sporządzonymi na bazie wody słodkiej (tablica 3). W zaczynach z wodą morską zauważono także większą tendencję do pienia się podczas procesu miksowania w zbiornikach cementacyjnych.

Tablica 3. Porównanie czasu wiązania i wytrzymałości mechanicznej na ściskanie dla zaczynów zarabianych wodą słodką i wodą morską [8, 13]

Rodzaj zaczynu	Czas wiązania [h:min] (dla głębokości otworu wiertniczego wynoszącej 2000 m)	Wytrzymałość na ściskanie [MPa] w temp. 100°C, po 24 godzinach
Zaczyn na bazie wody słodkiej	2:32	12,3
Zaczyn na bazie wody morskiej	2:05	14,8

Badania laboratoryjne mające na celu opracowanie składów zaczynów cementowych na bazie wody morskiej wykonywane były w Zakładzie Technologii Wiercenia

INiG – PIB [11, 16]. Prowadzono je zgodnie z normami: PN-EN 10426-1 oraz 10426-2 *Przemysł naftowy i gazowniczy – Cementy i materiały do cementowania otworów – część 1 i 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 tablicach 4 i 5 zamieszczono składy oraz wyniki badań ośmiu zaczynów cementowych zarabianych wodą morską (pobraną z Morza Bałtyckiego, z rejonu Kołobrzegu pod koniec stycznia 2016 r.) oraz zaczynów zarabianych wodą słodką. Zaczyny na bazie wody morskiej oznaczono symbolami: A, C, E i G (pozostałe zaczyny: B, D, F i H, wykonano z użyciem wodzy wodociągowej w celu porównania uzyskanych wyników). Do zaczynów cementowych wprowadzono szereg dodatków i domieszek. Środek odpieniający, upłynniający, antyfiltracyjny i opóźniający wiązanie do-

dawano bezpośrednio do cieczy zarobowej. W recepturach oznaczonych symbolami C, D, G i H wprowadzono 10% lateksu oraz 20% mikrocementu. Mieszaninę składników sypkich (mikrocement oraz cement) wsypano do cieczy zarobowej i mieszano przez okres 30 minut. Zaczyny (tak na bazie wody morskiej, jak i słodkiej) przeznaczone dla temperatury 50°C sporządzono z użyciem cementu portlandzkiego CEM I 32,5 R, natomiast zaczyny dla temperatury 70°C wykonywane były na bazie cementu wiertniczego G (cement portlandzki stosowano w niższej temperaturze, a dla temperatur wyższych, tj. powyżej około 60°C, zaleca się użycie cementu wiertniczego G).

Tablica 4. Składy zaczynów cementowych i cementowo-lateksowych

Składniki zaczynów cementowych*	Zaczyn							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Woda morska w/c	0,52	–	0,52	–	0,48	–	0,48	–
Woda wodociągowa (słodka) w/c	–	0,52	–	0,52	–	0,48	–	0,48
Dodatek przeciwpieniący	0,30%	0,30%	0,50%	0,50%	0,30	0,30	0,50	0,50
Dodatek obniżający filtrację	0,30%	0,30%	0,10%	0,10%	0,30	0,30	0,10	0,10
Dodatek opóźniający wiązanie	0,35%	0,35%	0,15%	0,15%	0,10	0,10	0,15	0,15
Dodatek upłynniający	0,20%	0,20%	0,20%	0,20%	0,20	0,20	0,20	0,20
Dodatek spęczniający	0,30%	0,30%	0,30%	0,30%	–	–	–	–
Stabilizator lateksu	–	–	2,00%	2,00%	–	–	2,00	2,00
Lateks	–	–	10,00%	10,00%	–	–	10,00	10,00
Mikrocement	–	–	20,00%	20,00%	–	–	20,00	20,00
Cement portlandzki CEM I 32,5	100%	100%	100%	100%	–	–	–	–
Cement wiertniczy G	–	–	–	–	100%	100%	100%	100%

* Ilości procentowe dodatków podano w stosunku do masy suchego cementu.

Tablica 5. Parametry technologiczne zaczynów cementowych i cementowo-lateksowych

Parametry zaczynów cementowych	Jednostka	Zaczyn							
		A	B	C	D	E	F	G	H
Temperatura/ciśnienie	°C/MPa	50/25	50/25	50/25	50/25	70/35	70/35	70/35	70/35
Gęstość	kg/m ³	1820	1815	1790	1785	1870	1870	1840	1835
Odstój wody	%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Czas gęstnienia* [h:min]	30 Bc	3:22	po 6 h: 8 Bc	3:12	4:15	3:45	po 6 h: 4 Bc	3:24	5:50
	100 Bc	4:41		3:44	4:42	4:02		3:38	6:19
Filtracja	cm ³ /30 min	214	196	48	42	244	220	36	34
Wczesna wytrzymałość na ściskanie z UCA po 48 godzinach	MPa	13,0	9,0	12,0	10,0	13,0	11,0	11,0	9,0
Wytrzymałość na ściskanie po 7 dniach	MPa	22,6	20,2	20,4	17,9	24,1	21,3	20,8	18,2
Przepuszczalność dla gazu po 7 dniach	mD	0,094	0,091	0,078	0,076	0,087	0,085	0,074	0,073

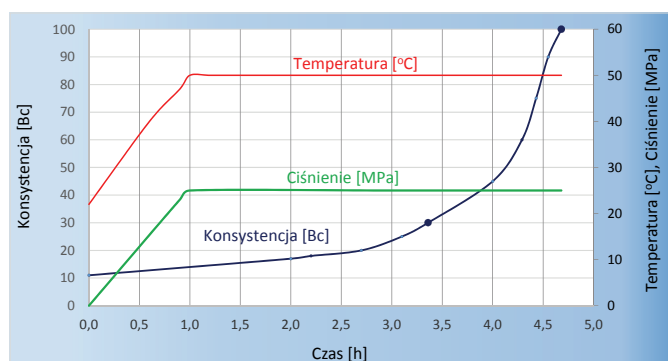
* Podano wartości konsystencji w jednostkach Beardena (Bc) – według normy EN-PN-10426.

Niepewność uzyskanych wyników pomiarów zaprezentowanych powyżej oznaczono na podstawie klasy dokładności urządzeń pomiarowych na poziomie: gęstość – 0,2%, odstój wody – 0,2%, czas gęstnienia – 1 minuta, wytrzymałość na ściskanie – 0,4%, przepuszczalność dla gazu – 0,1%.

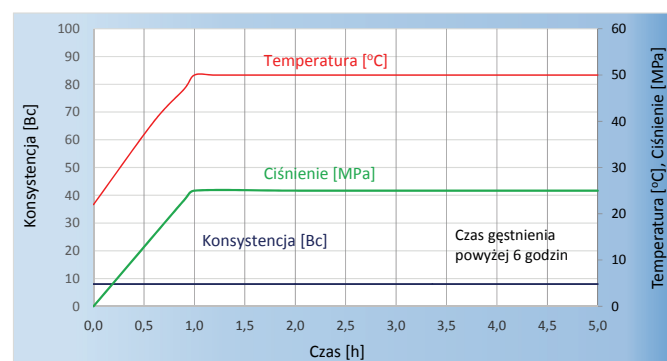
Po sporządzeniu zaczynu cementowego prowadzono badania parametrów reologicznych, określano gęstość i rozlewność. Regulowanie reologii zaczynów cementowych realizowano przy zastosowaniu upłynniacza. Mierzono odstój wody oraz czas gęstnienia zaczynu (oznaczano wartości konsystencji 30 Bc i 100 Bc, rysunki 2–9). Wyznaczano także filtrację oraz parametry technologiczne kamienia cementowego. Dla kamienia cementowego wykonywano oznaczenia wytrzymałości na ściskanie oraz przepuszczalności dla gazu. Dla wybranych receptur (na bazie wody morskiej oraz słodkiej) zamieszczono badania wytrzymałości mechanicznej za pomocą UCA (ultradźwiękowego analizatora cementu). Pomiar narastania wczesnej wytrzymałości mechanicznej prowadzono w sposób ciągły przez 48 godzin (zamieszczono je na rysunkach 10 i 11 dla przykładowych receptur oznaczonych symbolami E i F). Podczas opracowywania składów na bazie wody morskiej kierowano się wymaganiami, jakie powinien spełniać zaczyn cementowy, aby zapewnić sprawne

pod względem technicznym wykonanie zabiegu cementowania i skuteczne uszczelnienie rur okładzinowych w temperaturach 50 i 70°C. Temperatury takie panują bowiem na głębokościach: odpowiednio około 1500÷1600 metrów oraz około 2100÷2200 m pod dnem Bałtyku, gdzie prowadzona jest eksploatacja złóż węglowodorów. Dla przykładu: na złożu B-3 ropa naftowa znajduje się na głębokości około 1500 m pod dnem Bałtyku. Na innym złożu B-8 węglowodory zalegają na głębokości około 2100 m pod dnem morza, a na złożu B-23 – około 1600 m [2, 12]. Zwracano głównie uwagę na to, aby zaczyn cementowy nie miał zbyt dużych lepkości, posiadał zerowy odstój wody, jak również odpowiedni dla danych warunków czas gęstnienia, a także krótki czas pomiędzy konsystencją 30 Bc a 100 Bc.

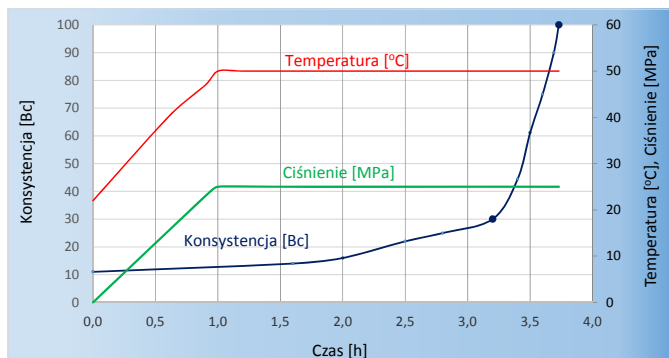
Wykresy obrazują przebieg zmian konsystencji dla ośmiu zaczynów cementowych i cementowo-lateksowych zarabianych wodą morską (rysunki 2, 4, 6, 8) i wodą wodociągową (rysunki 3, 5, 7, 9).



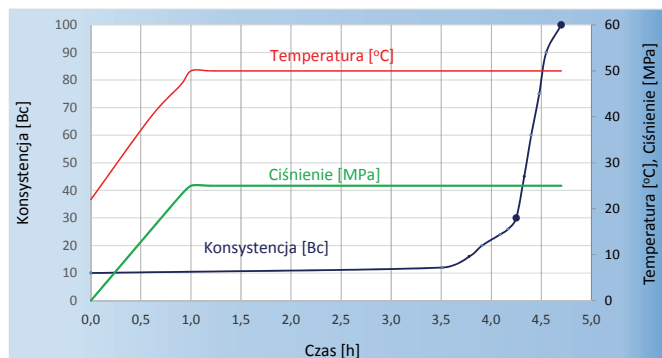
Rys. 2. Zmiany konsystencji zaczynu cementowego A



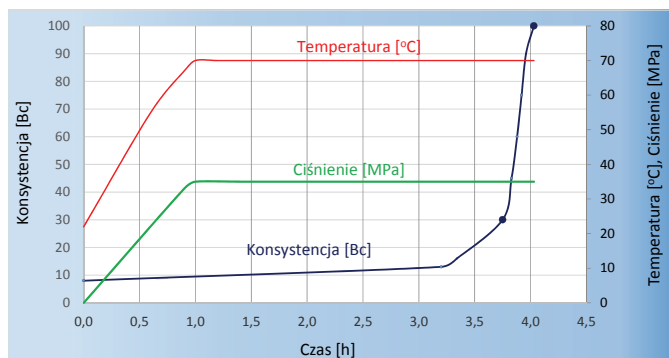
Rys. 3. Zmiany konsystencji zaczynu cementowego B



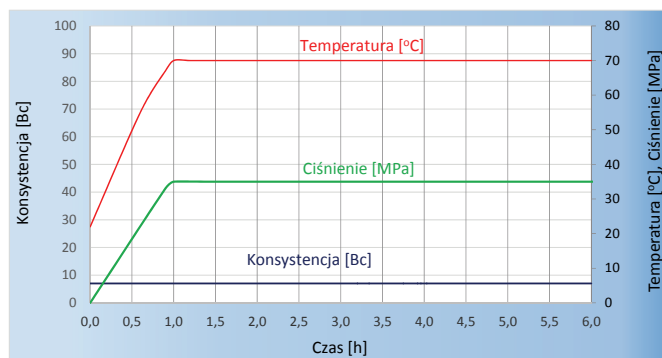
Rys. 4. Zmiany konsystencji zaczynu cementowego C



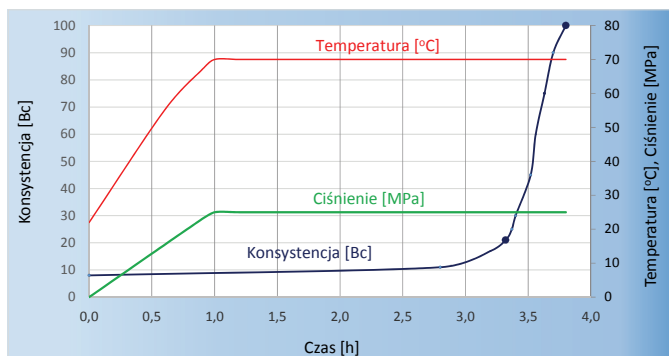
Rys. 5. Zmiany konsystencji zaczynu cementowego D



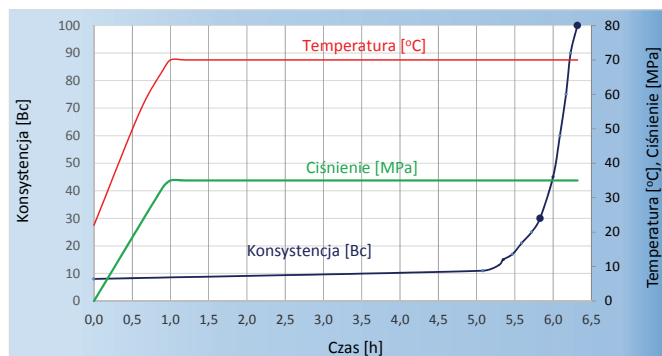
Rys. 6. Zmiany konsystencji zaczynu cementowego E



Rys. 7. Zmiany konsystencji zaczynu cementowego F



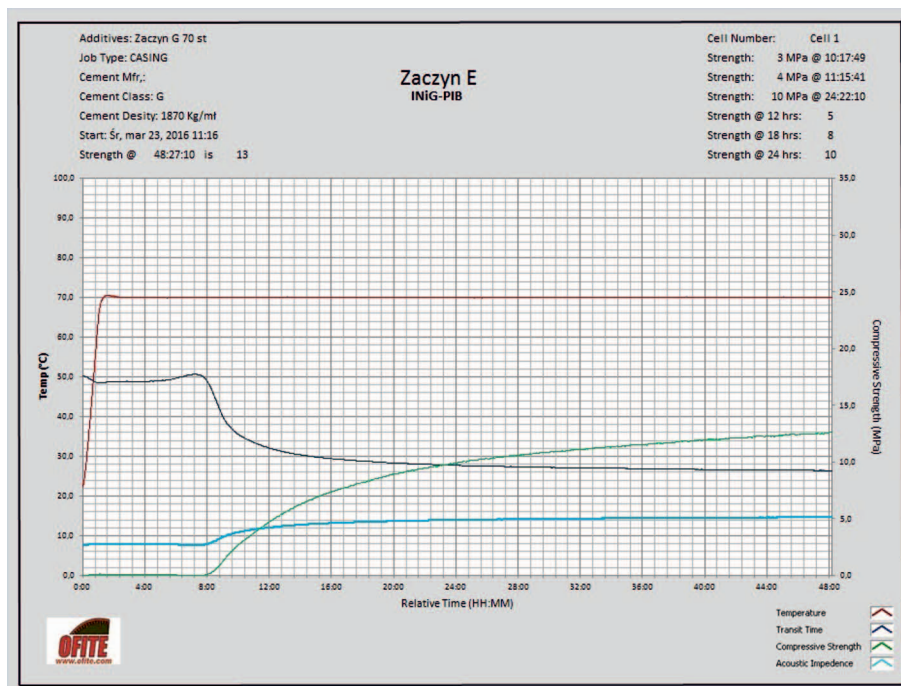
Rys. 8. Zmiany konsystencji zaczynu cementowego G



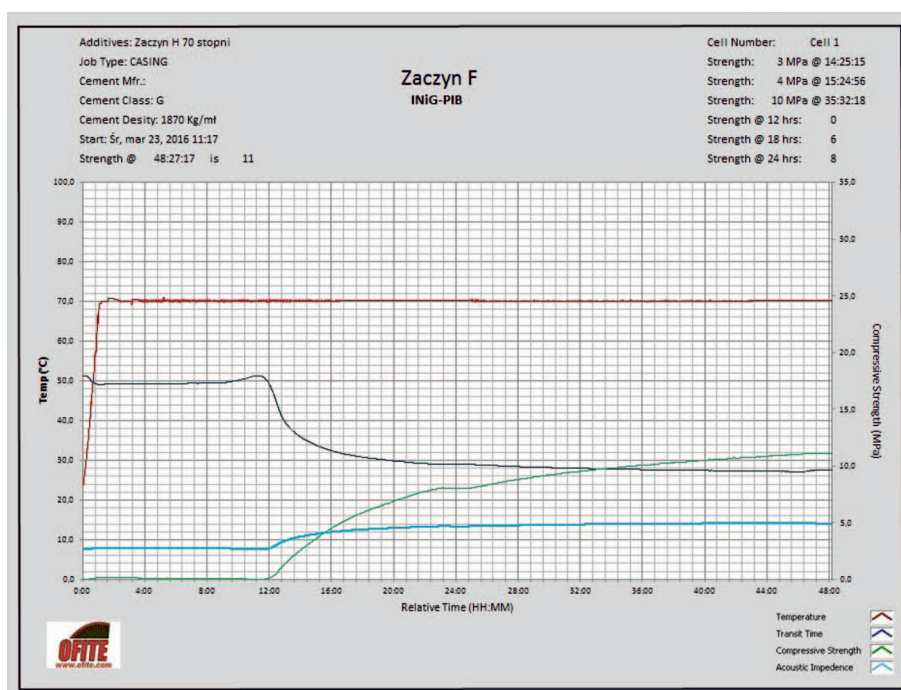
Rys. 9. Zmiany konsystencji zaczynu cementowego H

Podsumowanie

1. W wyniku przeprowadzonych w INiG – PIB badań laboratoryjnych opracowano dwa rodzaje receptur zaczynów cementowych na bazie wody morskiej (pobranej z Morza Bałtyckiego, z rejonu Kołobrzegu). Były to zaczyny cementowe oraz cementowo-lateksowe (oznaczone w artykule symbolami: A, C, E i G) testowane w temperaturach 50 i 70°C przy ciśnieniach 25 i 35 MPa.
2. W celu opracowania odpowiedniego zaczynu cementowego dobrano szereg środków modyfikujących parametry technologiczne receptur, a w szczególności ilości środka opóźniającego wiązanie. Optymalne ilości środków opóźniających (w zależności od rodzaju cementu i temperatury badania) wynosiły od 0,1% do 0,35% w stosunku do masy suchego cementu.
3. Zaczyny cementowe (bez udziału lateksu) posiadały gęstości około 1820 kg/m³ (przy zastosowaniu cementu portlandzkiego CEM I 32,5) oraz około 1870 kg/m³ (przy użyciu cementu wiertniczego G).
4. Czasy początku gęstnienia opracowanych zaczynów (bez udziału lateksu) dla temperatur 50 i 70°C wynosiły około 3 ½ godziny, natomiast czasy końca gęstnienia około 4÷4 ½ godziny.
5. Zaczyny (bez udziału lateksu) posiadały po 7 dniach hydratacji w warunkach otworopodobnych wytrzymałość na ściskanie wynoszącą około 22÷24 MPa. Przepuszczalności dla gazu próbek kamieni cementowych po tym okresie wynosiły około 0,08÷0,09 mD.
6. Receptury zaczynów cementowo-lateksowych cechowały



Rys. 10. Przebieg narastania wytrzymałości na ściskanie dla zaczynu E na bazie wody morskiej na podstawie badań z UCA (temperatura 70°C, ciśnienie 35 MPa)



Rys. 11. Przebieg narastania wytrzymałości na ściskanie dla zaczynu F na bazie wody wodociągowej na podstawie badań z UCA (temperatura 70°C, ciśnienie 35 MPa)

- się gęstościami około 1790 kg/m³ (zaczyny z cementu CEM I 32,5) oraz około 1840 kg/m³ (zaczyny z cementu G).
7. Czasy początku gęstnienia zaczynów cementowo-lateksowych dla temperatur 50 i 70°C wynosiły około 3÷3 ½ godziny, natomiast czasy końca gęstnienia około 3 ½÷4 godziny.
 8. Wytrzymałości na ściskanie próbek zaczynów cementowo-lateksowych osiągały po 7 dniach wartości około 20÷21 MPa. Próbki posiadały wówczas przepuszczalności dla gazu na poziomie około 0,07 mD.
 9. Po wykonaniu badań porównawczych (identyczne skła-

dy zaczynów na bazie wody morskiej i wody wodociągowej) stwierdzono, że czas gęstnienia zaczynów zarzabianych wodą morską jest wyraźnie krótszy (nawet o kilka godzin) w porównaniu z zaczynami sporządzanymi na bazie wody wodociągowej. Dla zaczynów wykonywanych z użyciem wody morskiej zaobserwowano także wyższą wytrzymałość mechaniczną kamieni cementowych w porównaniu z próbkami sporządzonymi z wody wodociągowej (może to być spowodowane reakcją chemiczną soli rozpuszczonych w wodzie morskiej z produktami hydratacji cementu podczas procesu wiązania).

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2017, nr 4, s. 250–256, DOI: 10.18668/NG.2017.04.05

Artykuł nadesłano do Redakcji 8.12.2016 r. Zatwierdzono do druku 15.02.2017 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt.: *Opracowanie nowych receptur mieszanin wiążących na osnowie solanek* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 0039/KW/16/01, nr archiwalny: DK-4100-39/2016.

Literatura

- [1] Barlet-Gouedard V., Goffe B.: *Cementing composition and application of such compositions for cementing oil wells or the like*. Patent US 6911078 B2. Numer zgłoszenia: US 10/239,459. Data publikacji: 28.06.2005.
- [2] Biedrzycka A.: *Złoza ropy w polskiej części Bałtyku. Odkrycia potwierdzone testami i analizami*; http://www.nbi.com.pl/assets/NBI-pdf/2006/6_9_2006/pdf/12_zloza_ropy.pdf (dostęp: 03.03.2016).
- [3] Borowski T., Hryniewicz T.: *Spadek zasolenia Morza Bałtyckiego jako naturalne zjawisko*. Referat, Politechnika Koszalińska; http://ros.edu.pl/images/roczniki/archive/pp_2004_017.pdf (dostęp: 30.05.2016).
- [4] Childs J.D., Brothers L.E., Taylor M.J.: *Method of preparing a light weight cement composition from sea water*. Patent US 4450009 A. Numer zgłoszenia: US 06/490,088. Data publikacji: 22.05.1984.
- [5] Dębińska E.: *Ocena działania dodatków opóźniających czas wiązania zaczynów cementowych na podstawie badań laboratoryjnych*. Nafta-Gaz 2012, nr 4, s. 225–232.
- [6] Kremieniewski M.: *Wpływ dodatku superplastyfikatora na zwiększenie efektywności uszczelniania kolumn rur okładzinowych*. Nafta-Gaz 2016, nr 3, s. 169–176, 10.18668/NG.2016.03.03.
- [7] Nalepa J.: *Problemy związane z cementowaniem głębokich otworów wiertniczych*. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Cementy w budownictwie, robotach wiertniczych i inżynierskich oraz hydrotechnice”, Piła–Płotki 2001, s. 95–103.
- [8] Nelson E.B.: *Well Cementing*. Schlumberger Educational Service, Houston, Texas, USA, 1990.
- [9] Rzepka M.: *Zaczyny cementowe do uszczelniania kolumn rur okładzinowych w podziemnych magazynach gazu*. Nafta-Gaz 2011, nr 10, s. 714–718.
- [10] Rzepka M., Kremieniewski M., Dębińska E.: *Zaczyny cementowe przeznaczone do uszczelniania eksploatacyjnych kolumn rur okładzinowych na Niżu Polskim*. Nafta-Gaz 2012, nr 8, s. 512–522.
- [11] Rzepka M., Stryczek S.: *Laboratoryjne metody określania parametrów technologicznych świeżych zaczynów uszczelniających przed zabiegiem związanym z procesem uszczelniania kolumn rur okładzinowych w otworach wiertniczych*. Wiertnictwo, Nafta, Gaz 2008, t. 25, z. 2, s. 625–636.
- [12] Serwis Informacyjny Państwowej Służby Geologicznej: *Pierwsza ropa spod dna Bałtyku ze złoza B8 jeszcze w tym roku*; <http://infołupki.pgi.gov.pl/pl/aktualnosci/pierwsza-ropaspod-dna-baltyku-ze-zloza-b8-jeszcze-w-tym-roku> (dostęp: 03.03.2016).
- [13] Smith R.C., Calvert D.G.: *The Use of Sea Water in Well Cementing*. Paper SPE 5030, 1974.
- [14] Stryczek S., Małolepszy J., Gonet A., Wiśniowski R., Kottwica Ł., Złotkowski A., Ziaja J.: *Popioły z fluidalnego spalania węgla brunatnego jako dodatek do zaczynów uszczelniających*. Wydawnictwa Naukowe AGH, Kraków 2013.
- [15] Ylhami D., Hasbi Y., Osman S.: *The effect of sea water on the properties of concrete with silica fume admixture*. Cement-Lime-Concrete 2010, nr 1, s. 22–30.

Akty prawne i normatywne

- [16] Norma PN-EN ISO 10426-6 *Przemysł naftowy i gazowniczy. Cementy i materiały do cementowania otworów. Część 2: Badania cementów wiertniczych*, maj 2006.



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