

Zenobia Kątna

Institut Nafty i Gazu, Oddział Krosno

Zastosowanie włókien do zaczynów cementowych w otworach wiertniczych

W artykule przedstawiono wyniki badań zaczynów cementowo-lateksowych z mikrocementem, do których dodawano 0,2% włókien polipropylenowych oraz 3% włókien szklanych. Określono ich wpływ na poprawę parametrów mechanicznych kamienia cementowego: wytrzymałość na ściskanie, zginanie i przyczepność do rur. Badania wykonywano dla próbek poddanych procesowi hydratacji w kąpeli wodnej, w temperaturze 20, 40 i 60°C przez okres 2, 7 i 28 dni. Zastosowanie włókien w zaczynach cementowych powoduje wzrost wytrzymałości mechanicznych kamieni cementowych.

The use of fibres to cement slurry in drilling wells

This article presents the results of cement slurry testing. The slurries contained latex, microcement, 0.2% polypropylene fibers and 3% glass fibers. The effect of fibers on improvement of cement stone mechanical parameters such as: compressive strength, bending strength, pipe bonding was determined. Cement samples were aged in water bath at 20, 40 and 60° C temperatures for 2, 7 and 28 days. Use of fibers in cement slurries causes an increase of cement stone mechanical parameters.

Wstęp

Uderzenia przewodu wiertniczego o rury okładzinowe w procesie wiercenia narażają kamień cementowy na pęknięcie i utratę szczelności. Uszkodzenia kamienia cementowego, powstające na skutek jego pęknięcia, mogą doprowadzić do wytworzenia się mikroszczelin w płaszczu cementowym.

Szczególne wymagania pod względem wytrzymałości mechanicznej stawiane są cementom służącym do uszczelniania przewodnikowej kolumny rur okładzinowych. Jest to podyktowane tym, iż uderzenia przewodu wiertniczego doprowadzają do wykruszania się kamienia, zwłaszcza w dolnej części kolumny przewodnikowej (spoza buta rur okładzinowych). Może to w konsekwencji prowadzić do powstania komplikacji wiertniczych. Poprawę parametrów mechanicznych kamienia cementowego można uzyskać poprzez wprowadzenie do zaczynu włókien polipropylenowych lub

szklanych. Uzyskane tworzywo cementowe zbrojone włóknem może być zastosowane przy cementowaniu rur, w otworach wierconych w celu budowy PMG. W związku ze znacznymi wahaniami ciśnień w okresie napełniania zbiornika i późniejszego odbierania magazynowanego medium (wywołującymi odmienne naprężenie w rurach okładzinowych), szczególne wymagania stawiane są cementom używanym do uszczelniania tych rur. Wymagania te dotyczą głównie parametrów wytrzymałościowych. Jest to szczególnie ważne wówczas, gdy w niepodtrzymywanym płaszczu cementowym powstają pionowe pęknięcia, wywołane ciśnieniem wewnętrznym w rurach. Dodanie do cementu włókna, którego zadaniem jest przenoszenie obciążeń, powoduje, że z chwilą gdy zanika ciśnienie wewnętrzne następuje kontrakcja płaszczu cementowego i powraca on do pierwotnych wymiarów.

Zastosowanie włókien w zaczynach cementowych

W INiG nie były dotąd prowadzone badania w tym zakresie. Dostępna literatura podaje wiele przykładów zastosowania różnorodnych włókien do zaczynów cementowych, stosowanych głównie w budownictwie, przy pracach remontowo-naprawczych. Wyciągnięte wnioski z tych badań pozwalają sądzić, iż również dobre wyniki osiągnie się poprzez zastosowanie włó-

kien w zaczynach stosowanych do uszczelniania rur w otworach wiertniczych.

Włókna dodawane do tworzyw sporządzonych z cementu muszą wykazywać odpowiednie właściwości, by mogły być stosowane jako czynnik wzmacniający. Podstawową rolę odgrywa ich wytrzymałość na rozciąganie i moduł sprężystości. Jednocześnie włókna wykazywać

muszą dużą odporność na działanie środowiska zasadowego. Aby uzyskać efekt wzmocnienia tworzywa cementowego (na przykład zwiększenie wytrzymałości na zginanie) konieczne jest stosowanie włókien o bardzo dobrych właściwościach mechanicznych, na przykład włókien węglowych, o stosunkowo dużym udziale objętościowym. Ze względu na wysoką cenę włókien węglowych i innych włókien wysokomodulowych rozwiązania takie znajdują zastosowanie tylko w specjalnych przypadkach. Zwykle stosuje się włókna o gorszych właściwościach mechanicznych, w ilościach nieprzekraczających 1%, dodawanych bezpośrednio po zarobieniu zaczynu, w celu poprawy właściwości technologicznych mieszanki oraz w celu ograniczenia powstawania mikrospękań skurczowych, szczególnie w początkowym okresie twardnienia cementu. Włókna o niskim module sprężystości mogą poprawiać właściwości mechaniczne tworzywa cementowego, jednak ich wpływ uwidacznia się dopiero po pęknięciu kruchej osnowy. Wtedy, w trakcie niszczenia tworzywa, energia pochłaniana jest głównie w procesie plastycznego odkształcenia włókien, aż do ich zerwania. Pojawia się więc dodatkowy mechanizm zwiększania pracy zniszczenia tworzyw cementowo-włóknistych, obok zwykle występujących czynników, związanych z wyciąganiem

włókien, odrywaniem włókien od osnowy i tworzeniem nowych powierzchni.

Jedną z metod poprawy wytrzymałości kamienia cementowego jest dodatek krótkich włókien, rozmieszczonych przypadkowo w całej objętości tworzywa. Takie mikrozbrojenie znacznie ogranicza powstawanie spękań skurczowych, zwiększa pracę zniszczenia, a w niektórych przypadkach także wytrzymałość na zginanie i ściskanie. Kruche tworzywo, jakim jest zaczyn cementowy, uzyskuje zdolność do przenoszenia obciążeń po przekroczeniu naprężeń granicznych osnowy. Dodatek włókien ogranicza także sedymentację w zaczynach o dużej rozlewności. Jakkolwiek właściwości zaczynu cementowo-włóknistego są prawie zawsze lepsze od właściwości zaczynu bez dodatku włókien, to nie zawsze uzyskuje się zadowalającą poprawę. O efektywności wzmocniania osnowy decyduje bowiem, oprócz właściwości samych włókien, ich przyczepność do osnowy. Spośród szerokiej gamy produkowanych włókien praktyczne znaczenie mają włókna stalowe, szklane i polimerowe (wśród tych ostatnich przede wszystkim polipropylenowe, poliakrylonitrylowe i polialkoholowinylole). Przyczepność włókien syntetycznych do osnowy cementowej o niskim współczynniku $w/c = 0,3$ zawiera się w granicach 0,9-1,5 MPa.

Włókna polipropylenowe

Cięte włókna polipropylenowe, jako dodatek do betonów i zapraw, są stosowane od drugiej połowy lat osiemdziesiątych. Największe doświadczenie w wykorzystywaniu ich w budownictwie mają Stany Zjednoczone, Japonia i Dania.

Na polskim rynku, oprócz włókien importowanych dostępne są krajowe włókna polipropylenowe. Są to cięte włókna wykonane z czystego polipropylenu, obojętne chemicznie, o właściwościach hydrofilowych, gwarantujących ich łatwą zwilżalność w kontakcie z wodą w mieszance betonowej.

Właściwości i zalety włókien polipropylenowych

Dodanie włókien polipropylenowych do mieszanek betonowych powoduje:

- redukcję rys skurczowych i mikropęknięć na skutek osiadania plastycznego,
- eliminację konieczności stosowania przeciwskurczowych siatek stalowych,
- zmniejszenie nasiąkliwości i wodoprzepuszczalności,

- ograniczenie penetracji betonu przez chemikalia,
- ograniczenie korozji betonu oraz stali zbrojeniowej,
- zwiększenie mrozoodporności,
- zwiększenie odporności na ścieranie, ściskanie oraz rozciąganie przy zginaniu o ponad 10%,
- zwiększenie udamności i odporności na rozkruszanie,
- poprawę spójności i jednorodności betonu,
- zwiększenie urabialności oraz odporności na segregację składników,
- zwiększenie trwałości wyrobów betonowych i żelbetowych.

Włókna tworzą w mieszance betonowej przestrzenną siatkę, która pełni rolę mikrozbrojenia, eliminując konieczność stosowania przeciwskurczowych siatek stalowych. Eliminacja rys skurczowych w obrębie betonu poprawia jego szczelność i ogranicza przesiąkliwość, chroniąc zbrojenie konstrukcyjne żelbetu przed korozją; zapobiega też starzeniu się betonu, zwiększa mrozoodporność, bez konieczności „dopowietrzania” masy betonowej, a co za tym idzie powstrzymuje proces łuszczenia się powierzchni betonu podczas eksploatacji. Dodanie do

betonu włókien polipropylenowych poprawia jego homogeniczność. Rozprowadzone równomiernie w masie betonowej włókna nie absorbują wody zarobowej, lecz zatrzymują ją w całej objętości mieszanki, ograniczając grawitacyjne opadanie cięższych składników i nadmierne wypływanie wody (w postaci mlecza cementowego) na powierzchnię elementu betonowego. Ta właściwość



Rys. 1. Włókno polipropylenowe Harbourite 12/19 mm

włókien wpływa także na zwiększenie wytrzymałości powierzchni przy bardzo wysokiej temperaturze otoczenia. Nie trzeba specjalnej pielęgnacji, aby zapobiec pękaniu skurczowemu powierzchni betonu na skutek nadmiernego parowania wody – powierzchnia betonowej płyty pozostaje wilgotna przez długi czas od momentu zabetonowania.



Rys. 2. Włókno polipropylenowe Harbourite 13 mm

Włókna szklane

Rowing cięty ER 2011

Włókno szklane w postaci pasm ciętych ER 2011 jest wyrobem produkowanym ze szkła boroglinokrzemianowego zawierającego poniżej 1% alkaliów. Charakteryzuje się ono dobrym stopniem sklejenia wiązki. Pocięte odcinki włókna nie są skleione między sobą, a ich końce nie są postrzępione. Pasma cięte charakteryzują się stałą, powtarzalną długością odcinków



Rys. 3. Rowing szklany, cięty ER 2011/4,5/15

włókna. Rodzaj preparacji (aminosilanowa) nałożony na włókno w ilości 1,2 do 1,8% umożliwia przetwarzanie go z nienasyconymi żywicami poliestrowymi oraz fenolowymi i melaminowymi. Pasma cięte ER 2011 służą do wytwarzania tłoczyw poliestrowych typu DMC i BMC – wyroby z tych tłoczyw mogą być formowane zarówno metodą tłoczenia, jak i wtryskową. Pasma cięte ER 2011 znajdują również zastosowanie do produkcji wyrobów z fenoplastów, aminoplastów i poliamidów, jako ich zbrojenie.

Rowing cięty ER 5001

Produkowany jest ze szkła typu E, przez pocięcie równoległych pasm włókna ciągłego na odcinki 3-6 mm. Pocięte pasemka posiadają bardzo dobrą integralność, wysoki ciężar nasypowy oraz krótki czas przesypu, co zapewnia doskonale warunki w procesie przetwórstwa. Włókna te są odporne na zmianę koloru w podwyższonych temperaturach. Pasma cięte posiadają preparację aminosilanową w ilości 0,7 do 1,3% i przeznaczone są do wzmacniania tworzyw termoplastycznych, głównie poliamidów, a także tworzyw fenolowych; metodami wtrysku i wytłaczania.



Rys. 4. Rowing szklany, cięty ER 5001/4,5/15

Rowing cięty ER 6001

Włókno szklane w postaci pasm ciętych ER 6001 jest wyrobem produkowanym ze szkła boroglinokrzemianowego zawierającego poniżej 1% alkaliów. Pasma cięte charakteryzują się stałą, powtarzalną długością

odcinków włókna. Posiadają one preparację silanową, pozwalającą na szybkie dyspergowanie w wodzie. Pasma cięte tego typu nadają się do formowania welonu, przeznaczonego do między innymi produkcji pokryć dachowych z użyciem bitumów. Pocięte pasma posiadają 7-9% wody.



Rys. 5. Rowing szklany, cięty ER 6001/6/13

Badania laboratoryjne

W artykule przedstawiono wyniki badań, których celem było określenie wpływu włókien na poprawę parametrów mechanicznych kamienia cementowego, a mianowicie: wytrzymałości na ściskanie, zginanie i przyczepność do rur. W badaniach zastosowano dostępne na rynku krajowym włókna polipropylenowe i szklane. Dodatek krótkich włókien do zaczynu tworzy tzw. mikrobrojenie, które znacznie ogranicza powstawanie spękań, zwiększa wytrzymałość na ściskanie i zginanie oraz ogranicza osadzenie zaczynu. Zaczyny z dodatkiem włókien mogą być stosowane do uszczelniania rur w otworach wierconych w celu budowy magazynów gazu, w których występują znaczne wahania ciśnienia – występujące w czasie napełniania zbiornika i późniejszego odbierania magazynowanego medium.

W tabelicy 1 przedstawiono wyniki badań próbek kamienia cementowego sporządzonego z zaczynu

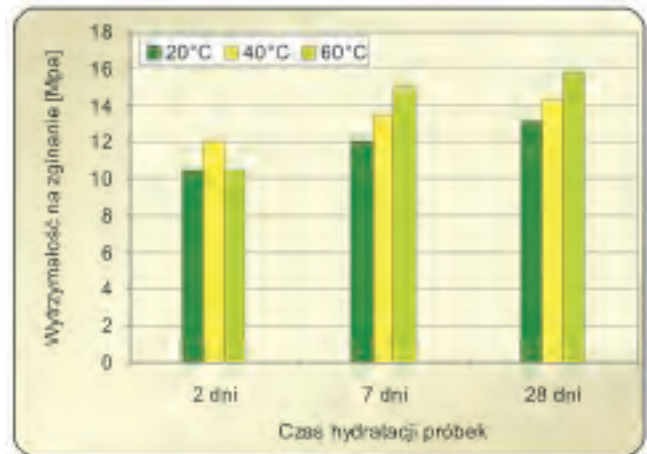
Tabela 1

		Zaczyn cementowo-lateksowy z dodatkiem włókna polipropylenowego Harbourite (6 mm)			
		Parametry kamienia cementowego			
		Temp.	2 dni	7 dni	28 dni
Woda wodociągowa	w/c = 0,52				
Odpieniacz	1,0%				
Uplyniacz	0,3%				
Antyfiltrat	0,2%				
Stabilizator L	2,0%				
Lateks	10,0%				
Mikrocement	20,0%				
Cement CEM I 32,5R	100,0%				
Włókno Harbourite 6 mm	0,2%				
Dodatek spęczniający	0,3%				
Wytrzymałość na zginanie	[MPa]	20°C	10,5	12,0	13,1
Wytrzymałość na ściskanie	[MPa]		13,3	16,1	20,1
Przyczepność do rur	[MPa]		0,54	0,67	0,70
Przepuszczalność dla gazu	[mD]		0,00	0,00	0,00
Wytrzymałość na zginanie	[MPa]	40°C	12,0	13,5	14,3
Wytrzymałość na ściskanie	[MPa]		14,0	17,3	20,9
Przyczepność do rur	[MPa]		0,42	0,82	0,88
Przepuszczalność dla gazu	[mD]		0,00	0,00	0,00
Wytrzymałość na zginanie	[MPa]	60°C	10,5	13,9	15,8
Wytrzymałość na ściskanie	[MPa]		14,6	19,8	20,1
Przyczepność do rur	[MPa]		0,48	0,73	0,76
Przepuszczalność dla gazu	[mD]		0,00	0,00	0,00

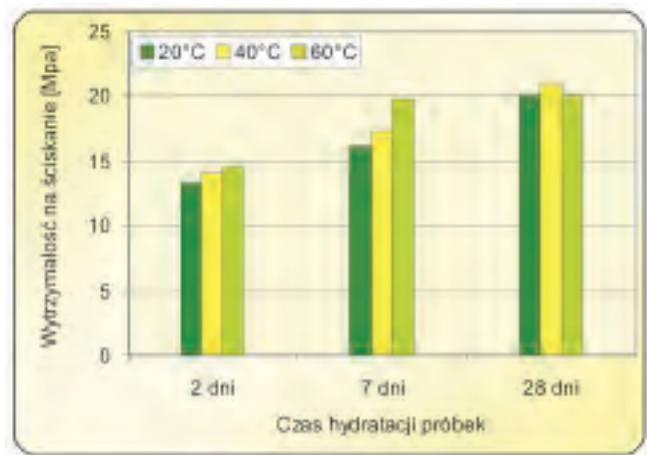
cementowo-lateksowego z dodatkiem 0,2% włókna polipropylenowego Harbourite o długości włókien 6 mm. Na rysunkach 6-8 przedstawiono graficzny przebieg zmian parametrów mechanicznych kamienia cementowego w czasie. Jak widać na rysunku 6 wytrzymałość na zginanie kamienia cementowego była dość wysoka; od 10,5 MPa po 2 dniach hydratacji do 15,8 MPa po 28 dniach hydratacji, wartości wytrzymałości na zginanie wzrastały, wraz z upływem czasu hydratacji i wraz ze wzrostem temperatury badania, w przedziale 20-60°C. Na rysunku 7 przedstawiono zmiany wytrzymałości na ściskanie w czasie hydratacji próbek w środowisku wodnym przez okres 28 dni. Wartości wytrzymałości rosły wraz ze wzrostem temperatury i czasu hydratacji, a po 28 dniach we wszystkich trzech temperaturach wytrzymałość na ściskanie była jednakowa i wynosiła 20 MPa. Przyczepność do rur próbek kamienia cementowego również wzrastała w czasie hydratacji, jednak największy wzrost przyczepności zanotowano dla próbki utwardzanej w temp. 40°C, co widać na rysunku 8.

Podsumowując można stwierdzić, że zastosowanie włókna polipropylenowego Harbourite do zaczynów cementowych jest możliwe, co stwierdzono doświadczalnie, ale w małych ilościach, do 0,2% w stosunku do cementu. Większa ilość powoduje zagęszczenie zaczynu i utrudnia jego przetłaczanie. Na podstawie badań laboratoryjnych stwierdzono, że długość włókien jest również ważna, bo przy włóknach długich – od 12 do 19 mm – utrudnione jest mieszanie i przetłaczanie zaczynu (włókna obierają się o mieszadło).

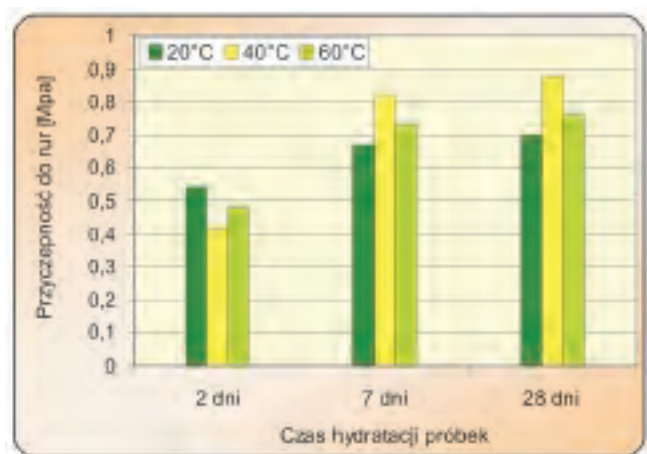
W tabelicy 2 przedstawiono parametry zaczynu cementowo-lateksowego z dodatkiem 3% włókna szklanego ER 5001/4,5/15 o długości włókien 4,5 mm. Jak widać badany zaczyn charakteryzuje się dobrą reologią i rozlewnością oraz zerowym odstożem wody. Czas gęstnienia zaczynu można regulować dodatkiem środków opóźniających (0,3% w temp. 60°C). Kamień cementowy z dodatkiem 3% włókna ER 5001/4,5/15 posiada dobre parametry mechaniczne; jak widać na rysunku 9 wytrzymałość na zginanie wzrasta wraz z upływem czasu hydratacji, jednak zmiany te są nieznaczne pomiędzy poszczególnymi okresami pomiarów. Wytrzymałość na ściskanie również wzrastała z upływem czasu hydratacji i jak widać na rysunku 10 osiągnęła dość wysokie wartości po 28 dniach, wynoszące ok. 21 MPa. Przyczepność do rur (rysunek 11) była wysoka; już po 2 dniach w trzech temperaturach wartości przyczepności zawierały się w granicach od



Rys. 6. Wytrzymałość na zginanie kamienia cementowego z dodatkiem 0,2% włókna Harbourite 6 mm



Rys. 7. Wytrzymałość na ściskanie kamienia cementowego z dodatkiem 0,2% włókna Harbourite 6 mm



Rys. 8. Przyczepność do rur kamienia cementowego z dodatkiem 0,2% włókna Harbourite 6 mm

1,4 do 1,45 MPa. Po 7 dniach przyczepność wzrosła do wartości w granicach od 1,48 do 1,82 MPa, a po 28 dniach znaczny wzrost przyczepności do rur nastąpił w temperaturach 40 i 60°C.

Tablica 2

Parametry zaczynu cementowego:

Rozlewność	[mm]	280
Gęstość	[g/cm ³]	1,80
Odstój wody	[%]	0,0

Odczyty z aparatu Fann:

Temp.	600	300	200	100	60	30	6	3	3 po 10'
20°C	190	107	77	42	29	17	6	4	13

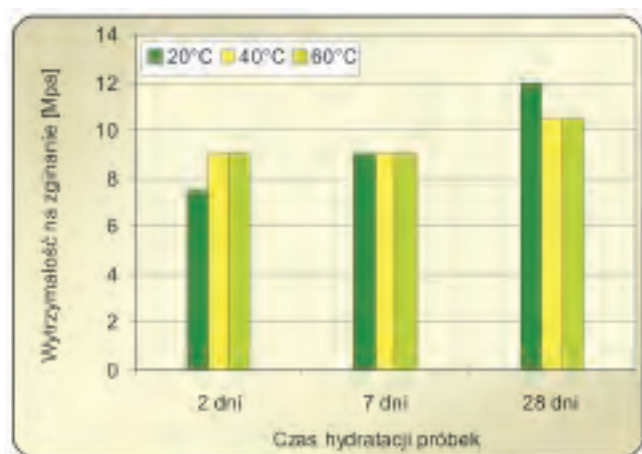
Czas gęstnienia	[h:min.]	60°C	30 Bc	2-35
			100 Bc	3-10
Początek wiązania	[h:min.]		> 6:00	
Koniec wiązania	[h:min.]		< 20:00	
Filtracja	[cm ³ /30 min.]		23,6	

Woda wodociągowa	w/c = 0,52	Zaczyn cementowo-lateksowy z dodatkiem włókna szklanego ER 5001/4,5/15		
Ódpieniacz	1,0%			
Uplymiesz	0,3%			
Antyfiltrat	0,2%			
Stabilizator L	2,0%			
Lateks	10,0%			
Mikrocement	20,0%			
Cement CEM I 32,5R	100,0%			
Włókno szklane ER 5001/4,5/15	3,0%			
Dodatek spęczniający	0,3%			
		Parametry kamienia cementowego		
Temp.		2 dni	7 dni	28 dni
20°C	Wytrzymałość na zginanie [MPa]	7,5	9,0	12,0
	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	11,3	13,8	21,6
	Przyczepność do rur [MPa]	1,40	1,48	1,54
	Przepuszczalność dla gazu [mD]	0,00	0,00	0,00
40°C	Wytrzymałość na zginanie [MPa]	9,0	9,0	10,5
	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	12,0	20,3	20,8
	Przyczepność do rur [MPa]	1,39	1,57	1,87
	Przepuszczalność dla gazu [mD]	0,00	0,00	0,00
60°C	Wytrzymałość na zginanie [MPa]	9,0	9,0	10,5
	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	14,8	15,4	21,8
	Przyczepność do rur [MPa]	1,45	1,82	1,97
	Przepuszczalność dla gazu [mD]	0,00	0,00	0,00

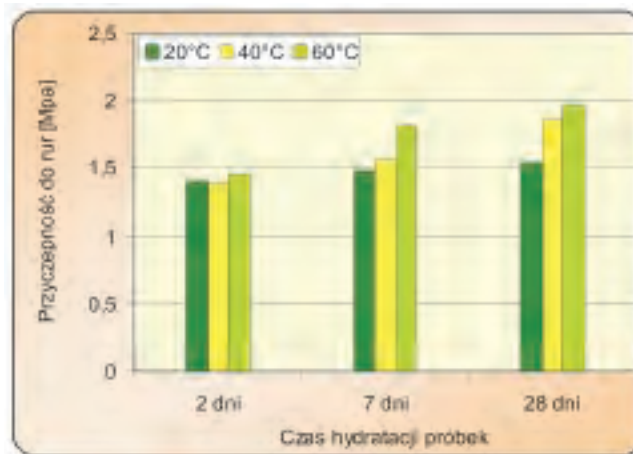
Podsumowując można stwierdzić, że zaczyn cementowy zawierający 3% włókna szklanego ER 5001/4,5/15 daje kamień cementowy o dobrych właściwościach mechanicznych, którego zarówno wytrzymałość na zginanie, jak i na ściskanie jest wysoka, a szczególnie wysoka jest przyczepność do rur.

Na rysunku 12 przedstawiono fotografię kamienia cementowego sporządzonego z badanego zaczynu; widać na niej równomiernie rozłożone włókno szklane, które wpływa na poprawę parametrów mechanicznych kamienia cementowego.

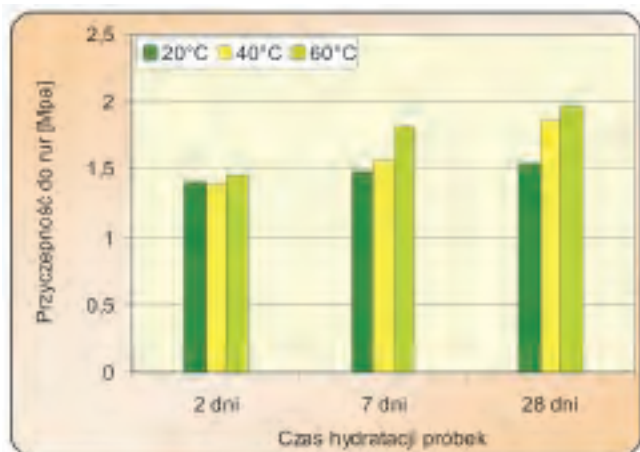
Zaczyny z dodatkiem włókien szklanych, z równoczesnym zastosowaniem lateksu tworzą elastyczne tworzywo, które może być stosowane do uszczelniania rur w otworach wierconych na PMG. W otworach tych kamień cementowy musi być odporny na cykliczne zmiany temperatury i obciążenia mechaniczne, zachodzące podczas wieloletniej eksploatacji podziemnego zbiornika gazu.



Rys. 9. Wytrzymałość na zginanie kamienia cementowego z dodatkiem 3% włókna szklanego ER5001/4,5/15



Rys. 10. Wytrzymałość na ściskanie kamienia cementowego z dodatkiem 3% włókna szklanego ER5001/4,5/15



Rys. 11. Przyczepność do rur kamienia cementowego z dodatkiem 3% włókna szklanego ER5001/4,5/15



Rys. 12. Kamień cementowy z dodatkiem 3% włókna szklanego ER 5001/4,5/15

Podsumowanie

1. Zastosowanie włókien polipropylenowych lub szklanych w zaczynach cementowych powoduje poprawę parametrów mechanicznych kamienia cementowego; wzrasta wytrzymałość kamienia na ściskanie i zginanie oraz zwiększa się przyczepność do rur.
2. Włókno polipropylenowe Harbourite można stosować do zaczynów cementowych w małych ilościach, do 0,2% w stosunku do cementu. Większa ilość powoduje zagęszczenie zaczynu i utrudnia jego jednolite zmieszanie. W przypadku zastosowania włókien polipropylenowych Harbourite krótkich (o długości 6 mm) sporządzenie zaczynu nie stwarza większych problemów i zapewnia podwyższoną wytrzymałość na ściskanie, zginanie i przyczepność do rur kamienia cementowego.
3. Zaczyn cementowo-lateksowy zawierający dodatek 3% włókna szklanego ER 5001/4,5/15 daje kamień cementowy o dobrych właściwościach mechanicznych, którego zarówno wytrzymałość na zginanie, jak i na ściskanie jest wysoka, a szczególnie wysoka jest przyczepność do rur.
4. Zaczyny z dodatkiem włókien szklanych, z równoczesnym zastosowaniem lateksu tworzą elastyczne tworzywo, które może być stosowane do uszczelniania rur w otworach wierconych na PMG.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Józef Raczkowski

Literatura

- [1] Hager I., Pimienta P.: *Wpływ dodatku włókien polipropylenowych na właściwości mechaniczne betonów wysokowartościowych poddanych działaniu wysokiej temperatury*. Cement Wapno Beton, 5, 2003.
- [2] Nelson E.B.: *Well cementing*. Houston, Texas, 1990.
- [3] Pichór W., Dyczek J.: *Przyczepność włókien polimerowych do zaczynu cementowego*. Cement Wapno Beton, 1, 1999.
- [4] Pichór W.: *Właściwości mechaniczne kompozytów cementowo-włóknistych z włóknami niskomodulowymi*. Cement Wapno Beton, 2, 1999.



Inż. Zenobia KATNA – absolwentka AGH w Krakowie. Pracownik Zakładu Technologii Wiercenia w Laboratorium Zaczynów Uszczelniających INiG Oddz. Krosno. Zajmuje się opracowywaniem składów i doskonaleniem parametrów zaczynów cementowych, przeznaczonych do uszczelniania rur w otworach wiertniczych.