

Edyta Dębińska

*Institut Nafty i Gazu, Oddział Krosno*

## Ocena działania dodatków opóźniających czas wiązania zaczynów cementowych na podstawie badań laboratoryjnych

### Wstęp

Zabieg cementowania kolumn rur okładzinowych jest niezwykle ważnym etapem procesu wykonywania otworu wiertniczego. Zatlaczany zaczyn cementowy powinien wypełnić przestrzeń pierścieniową pomiędzy rurą a ścianą otworu wiertniczego niezależnie od panujących wewnątrz warunków, zarówno geologicznych, jak i technicznych. Największe wymagania odnośnie jakości cementowania dotyczą kolumn rur eksploatacyjnych. Brak skutecznego uszczelniania tych kolumn wpływa negatywnie na produktywność otworu, w niektórych przypadkach uniemożliwiając jego eksploatację.

Najważniejszymi czynnikami wpływającymi na warunki panujące w otworze wiertniczym podczas zabiegu cementowania są:

- podwyższona temperatura,
- podwyższone ciśnienie,

- agresywność wód złożowych,
- obecność płuczki wiertniczej,
- różnorodność przewierczanych skał,
- obecność ropy naftowej i gazu ziemnego.

W przypadku cementowania otworów o temperaturach około 90°C i ciśnieniu ok. 60 MPa bardzo ważne jest również, aby czas początku wiązania był na tyle długi, żeby zatłoczyć przygotowany zaczyn do przestrzeni pierścieniowej otworu. Stąd też niezwykle istotnym dodatkiem są odpowiednio dobrane opóźniacze wiązania, które umożliwiają bezpieczne przeprowadzenie całego zabiegu cementowania [6, 12].

W związku z coraz częstszym wierceniem głębokich otworów o wysokich temperaturach i ciśnieniach na terenie Niżu Polskiego niezbędne jest prowadzenie badań mających na celu opracowanie receptur zaczynów cementowych z dodatkami opóźniającymi czas wiązania.

### Rozkład temperatury w głębokich otworach wiertniczych

Gradientsy temperatur statycznej i dynamicznej w otworze wiertniczym z reguły znacznie się różnią – jest to wyraźnie zauważalne zwłaszcza w głębokich otworach wiertniczych. Przyczyną tego zjawiska jest przepływ płuczki, buforu i zaczynu cementowego, który prowadzi do zmian rozkładu temperatur na całej długości otworu wiertniczego oraz obniżenia temperatury na jego dnie. Czynnikiem wpływającym na temperaturę dynamiczną (a tym samym gradient temperatur w otworze) są, poza głębokością:

- prędkość przepływu cieczy,
- właściwości przepływających cieczy,

- średnica otworu wiertniczego,
- przewodność cieplna,
- ciepło właściwe skał.

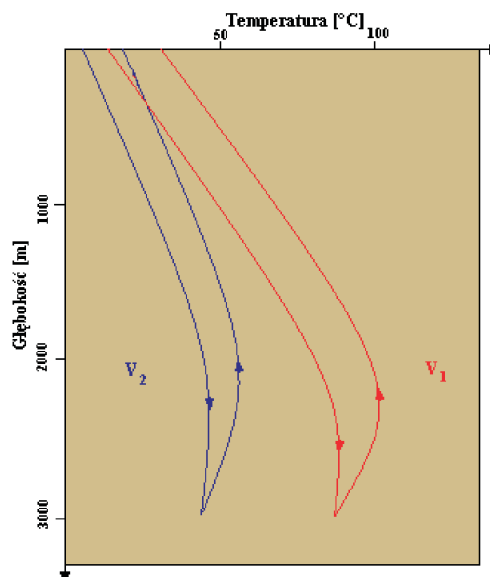
Powoduje to różnice temperatur dochodzące nawet do kilkudziesięciu stopni.

Poruszająca się ciecz traci i zyskuje ciepło w czasie przemieszczania się wzdłuż otworu. W czasie przepływu cieczy w dół następuje jej ogrzanie. Po osiągnięciu dna otworu jest ona ciągle chłodniejsza od otaczających ją skał i dalej ogrzewa się, powracając na powierzchnię. W momencie osiągnięcia głębokości, na której temperatura

otaczających skał równa jest temperaturze cieczy, następuje efekt chłodzenia przez nią skał.

Temperatura dynamiczna osiąga najwyższe wartości na około  $\frac{3}{4}$  głębokości otworu wiertniczego, a nie – jak mogłoby się wydawać – na jego dnie. Jej maksimum przesuwają się w dół otworu wiertniczego wraz ze wzrostem prędkości przepływu cieczy, co pozwala na ustalenie wysokości, na której powinna wystąpić maksymalna temperatura dynamiczna (rysunek 1). Dzięki temu można mieć pewność, że zaczyn cementowy zatłoczony do otworu wiertniczego zwiąże nie tylko w strefie przydennej, ale również na całej długości otworu.

Do określania profili temperaturowych otworów wiertniczych w różnych warunkach stosuje się odpowiednio opracowane programy komputerowe. Pomiar temperatury na spodzie otworu sondami termoczułymi pozwala na uzyskanie najbardziej wiarygodnych danych odnośnie rozkładu temperatur w otworze wiertniczym [1, 3, 10].



Rys. 1. Przykładowy wykres przebiegu zmian temperatury w otworze wiertniczym ( $V_1 < V_2$ ), gdzie  $V_1$  i  $V_2$  oznaczają prędkości przepływu zaczynu cementowego w otworze

### Dodatki opóźniające czas wiązania

Do jednych z ważniejszych składników stosowanych w recepturach zaczynów cementowych wykorzystywanych do uszczelniania rur okładzinowych w głębokich otworach należą domieszki opóźniające. Stanowią one grupę środków chemicznych, których podstawowym zadaniem jest opóźnianie czasu wiązania zaczynu cementowego, zatłaczanego na dużą głębokość.

Domieszką opóźniającą wiązanie nazywamy domieszkę, która przedłuża czas do rozpoczęcia przechodzenia mieszanki ze stanu plastycznego w stan sztywny [9] (tzn. wydłuża czas przejścia zaczynu ze stanu płynnego w plastyczny).

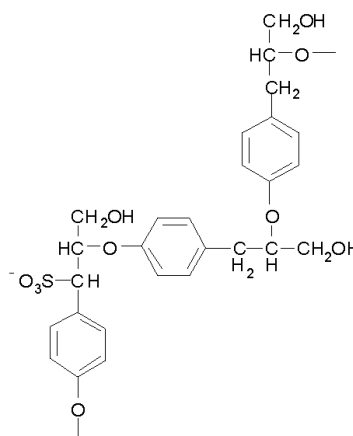
Domieszki opóźniające, potocznie zwane opóźniaczami, poza opóźnieniem czasu wiązania spowalniają także proces twardnienia zaczynu. Nie wpływają w znaczący sposób na skład ani charakter produktów hydratacji.

Niewłaściwy dobór ilości opóźniacza może doprowadzić do całkowitego zahamowania wiązania i twardnienia zaczynu cementowego, dlatego też należy zachować szczególną ostrożność w trakcie jego stosowania. **Na efektywność działania opóźniacza wpływa także kolejność dodawania składników zaczynu, jak i czas jego wprowadzenia do mieszaniny** [8].

Mechanizm działania opóźniaczy nie jest jeszcze do końca poznany. Prawdopodobnie modyfikują one szybkość wzrostu kryształów i ich morfologię w wyniku adsorbowania się na warstewce uwodnionego cementu, w związku z czym spowalniają proces narastania zarodków krystalizacji wodorotlenku wapnia. Z czasem domieszki zostają usunięte z roztworu na skutek wbudowania ich w struktury uwodnionego materiału, co nie powoduje jednak tworzenia odmiennych hydratów [7].

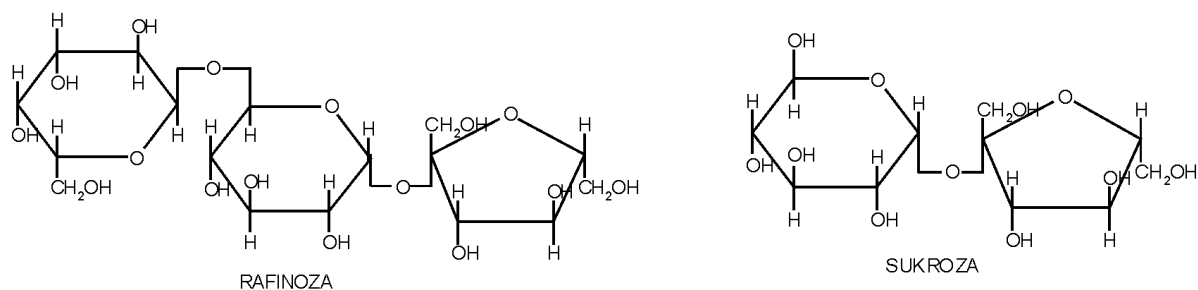
Możemy wyróżnić kilka klas opóźniaczy, różniących się zarówno zastosowaniem, jak i mechanizmem działania. Należą do nich:

**LIGNOSULFONIANY** – są to sole wapnia i sodu kwasów lignosulfonowych (rysunek 2). Należą do najczęściej stosowanej grupy opóźniaczy. Związki lignosulfonowe powstają jako produkt uboczny przy produkcji celulozy z drewna metodą siarczynową [2].



Rys. 2. Struktura lignosulfonianów

Lignosulfoniany są bardzo efektywne w stosunku do prawie wszystkich grup cementów, a ich dodawane ilości



Rys. 3. Budowa strukturalna wybranych sacharydów

wahają się od 0,1% do 1,5% bwoc. Optymalne ich działanie objawia się w temperaturach około 120°C.

**KWASY HYDROKARBOKSYLOWE** – najbardziej powszechnymi związkami w tej grupie są sole glikonianowe i glikoheptonowe. Mają bardzo silne działanie opóźniające i mogą powodować zbyt duże opóźnienie w temperaturach na dnie otworu poniżej 93°C. Działają efektywnie do temperatury 150°C.

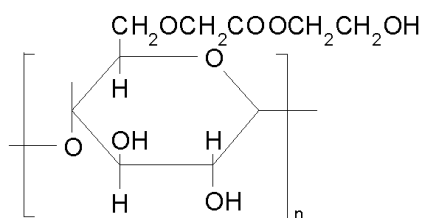
Do tej grupy związków należy także kwas cytrynowy, dodawany w ilościach 0,1÷0,3%.

**KOMPONENTY CUKROWE** – środki te nie należą do popularnych opóźniaczy, ze względu na ich bardzo zmienne działanie. Do najlepszych w tej kategorii zaliczają się rafinoza i sukroza (rysunek 3).

Mechanizm ich działania opiera się na przemianie cukrów na kwasy sacharydowe, zawierające grupy alfa i beta HO-C-C=O, które znacznie adsorbują na powierzchniach żelowych C-S-H. Wstrzymanie hydratacji spowodowane jest adsorpcją amonów kwasów cukrowych.

**POCHODNE CELULOZY** – polimery celulozowe, polisacharydy, uzyskiwane są z drewna lub innych roślin. Mechanizm ich działania jest prawdopodobnie wynikiem adsorpcji polimerów na uwodnionej powierzchni cementu.

Najbardziej znanym środkiem w tej grupie jest karboksymetylohydroksyetyloceluloza – CMHEC (rysunek 4),



Rys. 4. Struktura CMHEC

działająca efektywnie w temperaturach do 120°C. Celulozowy polimer zawierający jonowe grupy karboksymetylowe i niejonowe hydroksyetylowe, związane ze szkieletem

celulozowym wiązaniem eterowym, posiada bardzo dobrą tolerancję w wysokich temperaturach i przy wysokiej lepkości. Stosowany jest w składach zaczynów sporządzanych na wodzie słodkiej oraz zasolonej, wpływając równocześnie na obniżenie ich filtracji i wzrost lepkości [11].

**KOMPONENTY NIEORGANICZNE** – istnieje szereg komponentów nieorganicznych opóźniających hydratację cementów portlandzkich. Możemy je sklasyfikować w następujący sposób:

- kwasy i sole: borowy, fosforowy, hydrofluorowy, chromowy,
- NaCl – zawartość powyżej 20%,
- tlenki: cynku i ołowiu [7].

**FOSFORANY ORGANICZNE** – należą do nich kwasy alkilowo-fosforowe oraz ich sole. Posiadają doskonałą stabilność hydrolityczną, zależną od budowy molekularnej, a także wytrzymałość w temperaturach do 204°C. Dodatki fosforanowo-metylowe zawierające grupy amonowe są także dobrymi opóźniaczami.

**WYSOKOSPRAWNE OPÓŹNIACZE ŚRODOWISKOWE (HPER)** – badania prowadzone nad opóźniaczami doprowadziły do stworzenia nowego niepolimerowego i nieligninowego opóźniacza, tzw. HPER (*High Performance Environmental Retarder*), którego właściwości łączą pozytywne strony ich obu, jednocześnie spełniając rygorystyczne warunki środowiskowe. Środek ten jest skuteczny w temperaturach ~100°C (220°F), a przy użyciu wzmacniaczy – nawet do 177°C (350°F). Charakterystyczną cechą opóźniaczy HPER jest wydłużanie czasu gęstnienia zaczynu wraz ze wzrostem ich stężenia w zaczynie cementowym; zależność ta ma przebieg zbliżony do liniowego. Dodatkowo opóźniacz zapewnia dużą stabilność zaczynów w szerokim zakresie gęstości. Jest to sypki, biały proszek, o niskiej tendencji do pylenia. Materiał ten wykazuje niską higroskopijność i – w przeciwieństwie do innych opóźniaczy syntetycznych – nie staje się lepki, dzięki czemu łatwiej magazynować go luzem [5].

**Badania laboratoryjne zaczynów i kamieni cementowych zawierających dodatek opóźniający**

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

Przebadano 24 próbki zaczynów cementowych: 14 o podwyższonej gęstości, 6 o gęstości „normalnej” i 4 o obniżonej. Wybrano spośród nich zaczyny o optymalnych parametrach dla założonych warunków otworopodobnych.

Do badań wytypowano dwa najczęściej stosowane obecnie środki opóźniające czas wiązania o symbolach A i B. Są to modyfikowane lignosulfoniany: A – skuteczny w temperaturach do 140°C oraz B – skuteczny w temperaturach do 121°C.

W związku z nieprzewidywalnym wpływem cukrów jako opóźniaczy, który został stwierdzony na podstawie wykonywanych zabiegów cementowania w latach 80. i na początku lat 90. XX w., zrezygnowano z ich stosowania. Stwierdzono bowiem, że nawet nieznaczne zmiany ilości dodatku cukrów (setne części procenta) mogą wyraźnie wpływać na czas gęstnienia i wiązania zaczynu cementowego.

Na rysunku 5 zamieszczono porównanie działania środków opóźniających A i B. Badania wykonano dla zaczynów cementowych bazujących na składzie nr 1, stosując różne ilości środka opóźniającego A lub B. Można zauważyć, że obydwa środki powodują proporcjonalne wydłużenie czasu gęstnienia zaczynów cementowych wraz ze wzrostem ich ilości. Zaczyny z dodatkiem A gęstniały znacznie wolniej niż zaczyny z dodatkiem B, co spowodowało, że mniejsze

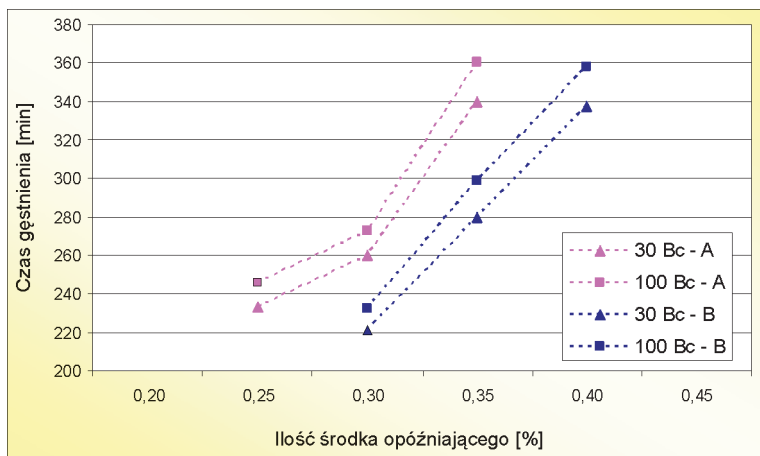
ilości dodatku A wystarczyły, aby uzyskać optymalne wartości czasu gęstnienia. Po przeanalizowaniu wyników pomiarów zaczynów cementowych, do dalszych badań wytypowano opóźniacz A.

Zaczyny nr 1A i 1B, zarabiane wodą słodką z dodatkiem NaCl (10%), należały do grupy zaczynów ciężkich (zawierały one 30% hematytu) i stosowane były do uszczelniania głębokich otworów wiertniczych na Niżu Polskim (S-1, S-5). Charakteryzowały się one takim samym składem, a jedyną różnicą między nimi był rodzaj zastosowanego środka opóźniającego. Skład zaczynu nr 2, należącego do grupy zaczynów o „normalnej” gęstości, bazował na zaczynie cementowym zastosowanym w otworze B-2 o głębokości ok. 4600 m. Jego receptura została zmodyfikowana dodatkiem uplastyczniającym (DE) składającym się z kompozycji sproszkowanej gumy oraz włókien polipropylenowych. Jako środek opóźniający zastosowano dodatek A. Zaczyn nr 3 bazował na 20-procentowej solance NaCl. Zawierał mikrosfery, które wpłynęły na obniżenie jego gęstości. Ponadto jego skład obejmował dodatek elastyczny (DE), a także opóźniacz A. Podobny zaczyn stosowany był o otworze L-1K. Składy zaczynów cementowych nr 1A, 1B, 2 i 3 przedstawiono w tabelicy 1.

Dla każdego zaczynu cementowego wykonywano badania parametrów reologicznych, określano gęstość i rozlewność. Regulowanie reologii zaczynów cementowych realizowano przy zastosowaniu upłynniaczy. Mierzono odstój wody oraz czas gęstnienia zaczynu – oznaczano czas, po którym zaczyn uzyskał konsystencję 30 Bc i 100 Bc, a także określano wartości filtracji (tablica 2).

Niepewności pomiarowe dla badanych wielkości wynoszą odpowiednio: gęstość – 0,3%, odstój wody – 0,4%, rozlewność – 0,7%, lepkość plastyczna, granica płynięcia, wytrzymałość strukturalna – 0,2%, czas gęstnienia – 0,03%, filtracja – 0,4%, wytrzymałość na ściskanie i przyczepność do rur – 0,6%.

Badane składy zaczynów cementowych charakteryzowały się zerowym bądź niskim odstojem wody (wynoszącym maksymalnie 0,5% dla składu z dodatkiem mikrosfer). Dzięki temu została zachowana ich homogeniczność, co pozytywnie wpływa na wytrzymałość kamienia cementowego i izolację międzystrefową. Filtracja zaczynów z dodatkiem lateksu była niska i kształtowała się na poziomie od 10 cm<sup>3</sup>/30 min do 42 cm<sup>3</sup>/30 min. Zaczyn niezawierający lateksu charakteryzował się wyższą filtracją – ok. 160 cm<sup>3</sup>/30 min.



Rys. 5. Porównanie działania opóźniającego środków A i B w zaczynie cementowym nr 1



Tablica 1. Składy wybranych zaczynów cementowych

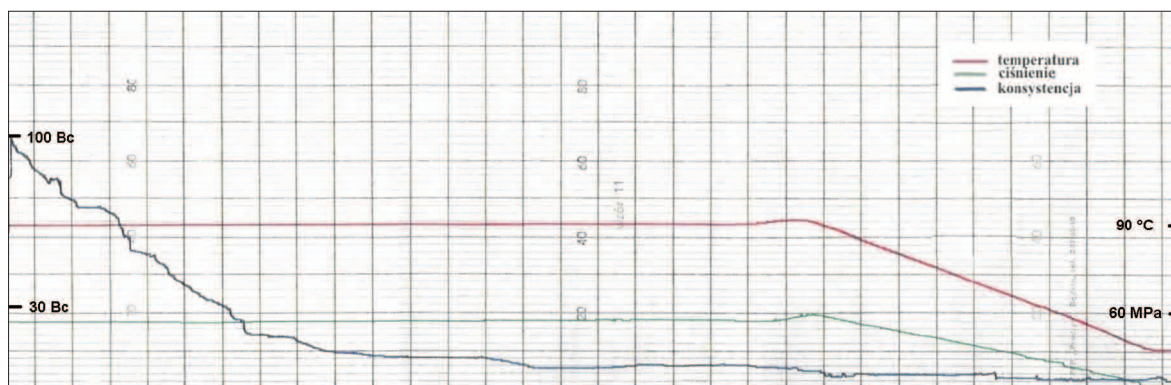
Skład nr 1A		Skład nr 1B		Skład nr 2		Skład nr 3	
woda	w/c=0,34	woda	w/c=0,34	woda	w/c=0,54	solanka NaCl	w/c=0,74
środek przeciwpieenny	0,5%	środek przeciwpieenny	0,5%	KCl bwow	3,0%	20%	
regulator filtracji	0,15%	regulator filtracji	0,15%	środek przeciwpieenny	1,0%	środek przeciwpieenny	0,3%
<i>Opóźniacz A</i>	<u>0,3%</u>	<i>Opóźniacz B</i>	<u>0,3%</u>	upłynniacz	0,3%	upłynniacz	0,2%
stabilizator	0,5%	stabilizator	0,5%	regulator filtracji	0,2%	<i>Opóźniacz A</i>	<u>0,2%</u>
lateksu		lateksu		<i>Opóźniacz A</i>	<u>0,2%</u>	regulator filtracji	0,4%
lateks	20,0%	lateks	20,0%	stabilizator	2,0%	DE	
NaCl bwow	10,0%	NaCl bwow	10,0%	lateksu		mikrosfera	10,0%
microsilica	10,0%	microsilica	10,0%	lateks	10,0%	cement G	20,0%
hematyt	30,0%	hematyt	30,0%	DE	10,0%		100%
cement G	100%	cement G	100%	microsilica	10,0%		
				mikrocement	20,0%		
				dodatek spęczniający	0,2%		
				cement G	100%		

Tablica 2. Wyniki uzyskane dla wybranych składów zaczynów cementowych

Badany parametr		Skład nr 1A	Skład nr 1B	Skład nr 2	Skład nr 3
Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]		2050	2050	1830	1490
Odstój wody [%]		0,0	0,0	0,0	0,5
Rozlewność [mm]		235	240	270	250
Lepkość plastyczna [mPa · s]		120,0	120,0	103,5	36,0
Granica płynięcia [Pa]		9,6	10,6	7,0	5,3
Wytrzymałość strukturalna [Pa]		8,2	6,8	4,8	5,8
Czas gęstnienia (90°C, 60 MPa)	30 Bc [godz. – min]	4 – 20	3 – 41	3 – 30	3 – 58
	100 Bc [godz. – min]	4 – 33	3 – 52	3 – 55	5 – 10
Filtracja [cm <sup>3</sup> /30 min] w 90°C		24	42	10	159

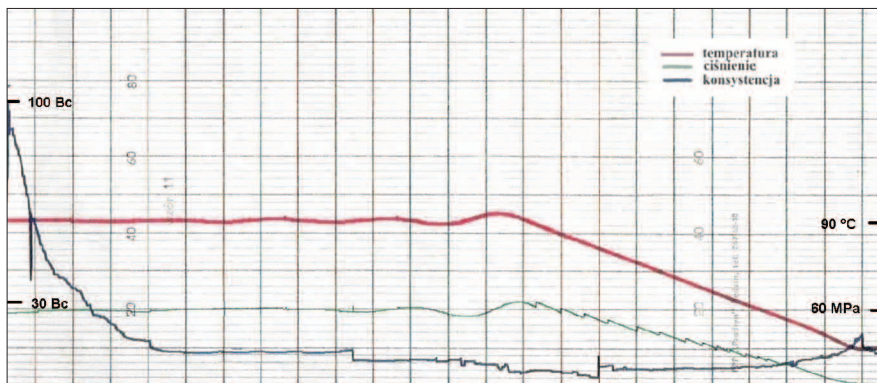
Na rysunkach od 6 do 9 zamieszczono przebieg zmian konsystencji zaczynów cementowych. Można zauważyć, że dzięki zastosowaniu odpowiedniego opóźniacza zaczyny cementowe charakteryzują się długim czasem gęstnienia, co pozwala na bezpieczne zatłoczenie ich do głębokich

otworów wiertniczych. Na uwagę zasługuje fakt, iż czas przejścia od konsystencji 30 Bc do 100 Bc jest bardzo krótki (wynosi około 10÷15 minut), co jest bardzo korzystne ze względu na zapobieganie migracji gazu przez zaczyny cementowy.

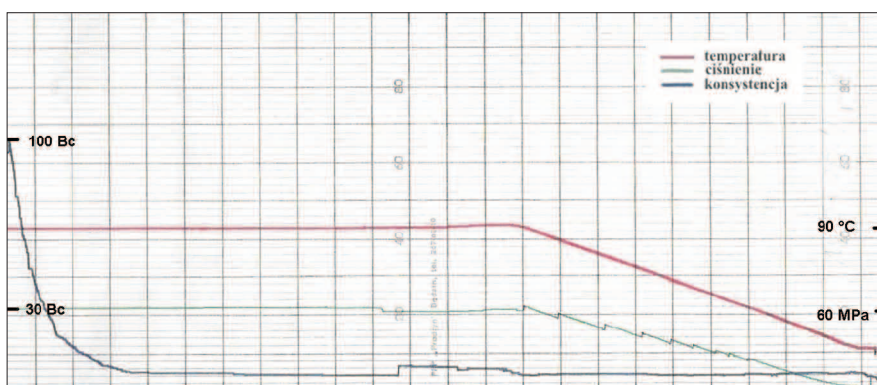


Rys. 6. Wykres zmian konsystencji zaczynu nr 1A, zawierającego hematyt i dodatek opóźniający A\*

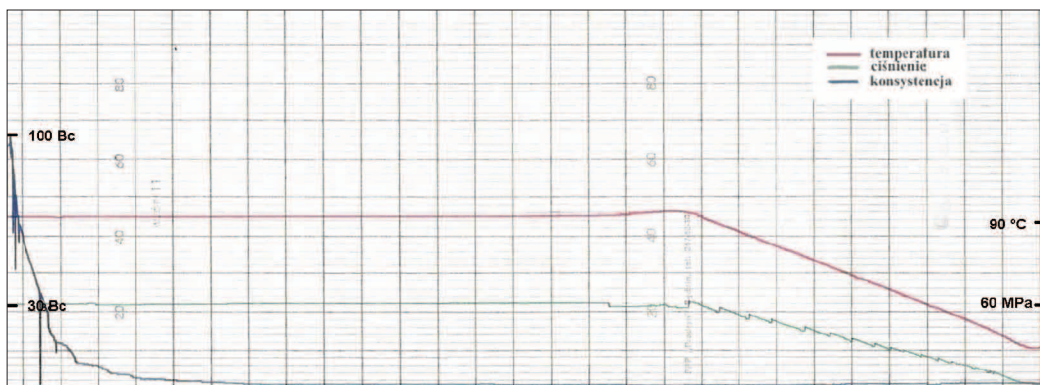
\*Na osi pionowej oznaczono czas (jedna kratka to 10 minut), oś pozioma pokazuje konsystencję zaczynu, temperaturę i ciśnienie.



Rys. 7. Wykres zmian konsystencji zaczynu nr 1B, zawierającego hematyt i dodatek opóźniający B



Rys. 8. Wykres zmian konsystencji zaczynu nr 2, bazującego na wodzie słodkiej z dodatkiem KCl i zawierającego dodatek uplastyczniający oraz opóźniacz A



Rys. 9. Wykres zmian konsystencji zaczynu nr 3, sporządzonego na 20-procentowej solance z dodatkiem uplastyczniającym i opóźniaczem A

Tablica 3. Wartości wytrzymałości na ściskanie dla badanych składów

Czas hydratacji	Skład nr 1A	Skład nr 1B	Skład nr 2	Skład nr 3
2 dni	20,1	35,1	15,9	17,2
7 dni	27,0	41,8	20,0	17,0
28 dni	28,2	40,1*	23,1	16,8*

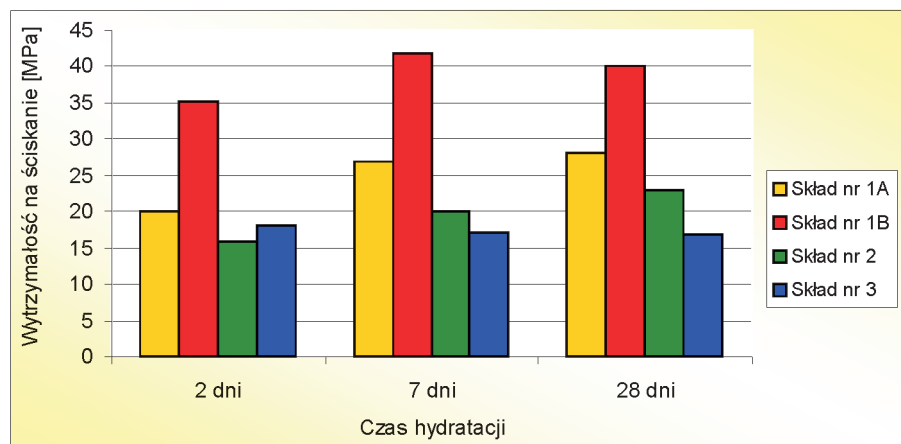
\* Po upływie 2 dni próbki wyciągnięto z autoklawu ciśnieniowego i sezonowano je w ciepłokuchach, w odpowiedniej temperaturze, przy normalnym ciśnieniu, stąd niższa wartość wytrzymałości próbek.

Po wykonaniu badań świeżych zaczynów cementowych sporządzono próbki kamieni cementowych, utwardzając je w autoklawach w wysokiej temperaturze i ciśnieniu. Dla kamieni cementowych wykonywano oznaczenia wytrzymałości na ściskanie, przyczepności do rur stalowych oraz przepuszczalności dla gazu po 2, 7 i 28 dniach. W wyniku przeprowadzonych badań można zauważyć, że dzięki wprowadzeniu dodatku uplastyczniającego do zaczynów lekkich i o „normalnej” gęstości uzyskano kamienie cementowe o zwiększonej elastyczności. Badane kamienie cementowe wykazywały brak przepuszczalności dla gazu, a także cechowały się wysokimi parametrami mechanicznymi. Składy zawierające hematyt już po 2 dniach osiągnęły wytrzymałości na ściskanie na poziomie 25 MPa. W kolejnych okresach badawczych wytrzymałość na ściskanie przybierała tendencję wzrostową (dla próbki nr 1B po okresie 28 dni

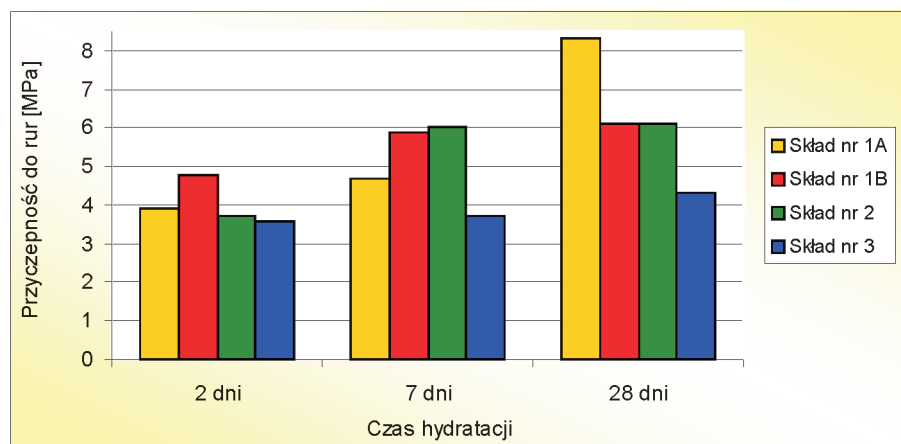
hydratacji wytrzymałość ta wynosiła około 40 MPa). Przyczepności kamieni cementowych do rur także były wysokie, gdyż po 2 dniach wynosiły od 3 MPa do 5 MPa i z czasem osiągnęły coraz wyższe wartości, dochodzące po 28 dniach do około 5÷8 MPa. Rysunki 10 i 11 obrazują narastanie wytrzymałości na ściskanie i przyczepności do rur kamieni cementowych. W tablicy 3 przedstawiono wartości wytrzymałości na ściskanie dla badanych próbek po 2, 7 i 28 dniach hydratacji.



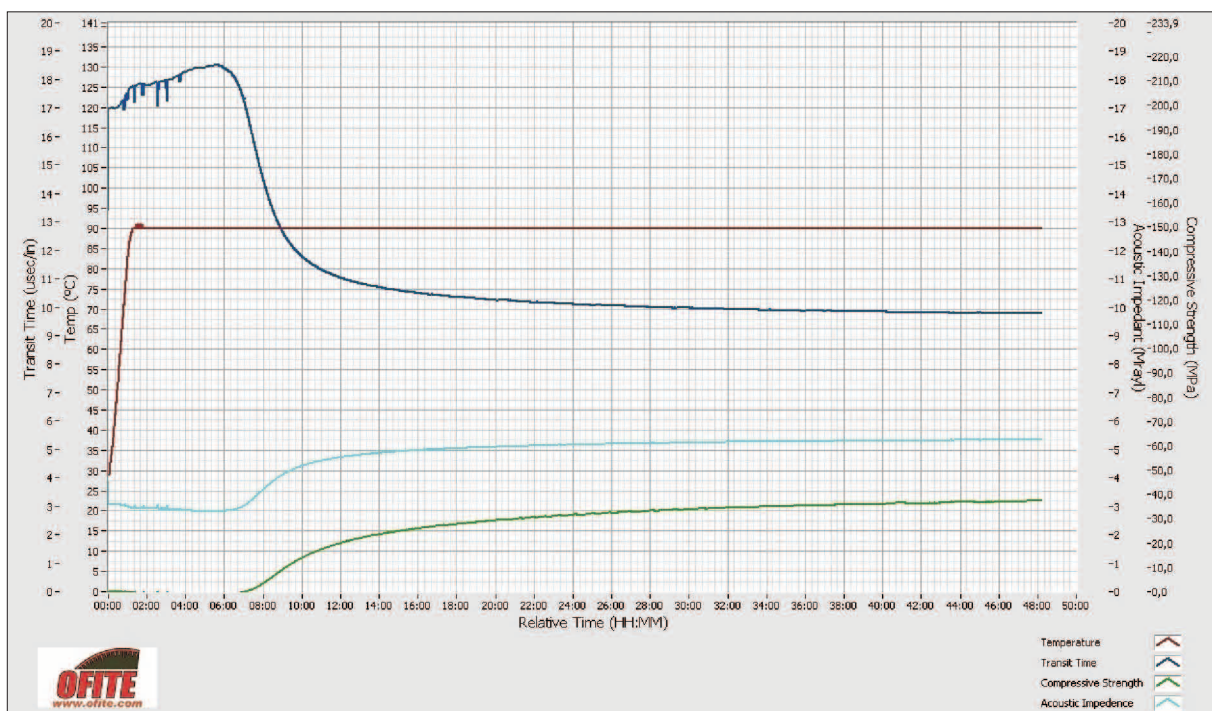
Dodatkowo na rysunku 12 zamieszczono przykładowy wykres przyrostu wytrzymałości na ściskanie wiążącego zaczynu i twardniejącego kamienia cementowego przez 48 godzin w warunkach otworopodobnych (temp. 90°C i ciśn. 32 MPa), uzyskany przy zastosowaniu UCA (*Ultrasonic Cement Analyzer*). Jak można zauważyć z wykresu, kamień cementowy osiąga wartość wytrzymałości 3,5 MPa po około 8 godz. – jest to czas przejścia, tzw. *transition time* (w zaczynie cementowym rozwija się w tym czasie wytrzymałość strukturalna i traci on możliwość przenoszenia ciśnienia hydrostatycznego). Osiągnięcie tej wartości przez kamień cementowy świadczy o jego związaniu w warunkach otworopodobnych.



Rys. 10. Wytrzymałość na ściskanie wybranych próbek kamienia cementowego



Rys. 11. Przyczepność do rur stalowych wybranych próbek kamienia cementowego



Rys. 12. Przyrost wczesnej wytrzymałości na ściskanie dla zaczynu nr 1B (UCA)

## Podsumowanie

W artykule zamieszczono wyniki badań laboratoryjnych zaczynów cementowych zawierających dwa rodzaje najczęściej stosowanych w przemyśle środków opóźniających, A i B, należących do grupy modyfikowanych lignosulfonianów. Po przeprowadzeniu badań można stwierdzić, że dodatek opóźniający A okazał się skuteczniejszy w działaniu w porównaniu z dodatkiem B. Mniejsze ilości środka A wystarczały, aby uzyskać optymalne czasy gęstnienia zaczynu dla założonych warunków otworopodobnych, co stanowi zaletę z ekonomicznego punktu widzenia.

Średni czas zabiegu cementowania kolumn rur eksploatacyjnych zapuszczanych do głębokości około 3000 metrów wynosi około 150÷180 minut. Omówione w artykule zaczyny cementowe zawierające od 0,2% do 0,3% opóźniacza A posiadają czas początku gęstnienia w granicach od 240 min do 310 min. Pozwala to na bezpieczne zatłoczenie zaczynu cementowego do otworu z zachowaniem marginesu bezpieczeństwa. **Dla badanych zaczynów cementowych, zawierających zarówno dodatek opóźniający A, jak i B, różnica w czasie wiązania między 30 Bc a 100 Bc jest bardzo mała (z wyjątkiem zaczynu zawierającego mikrosfery), co zabezpiecza przed wtargnięciem me-**

**dium złożowego do przestrzeni pierścieniowej otworu, dlatego też dobór czasu wiązania zaczynu musi być bardzo precyzyjny, a różnica pomiędzy czasem wiązania przy 30 Bc a czasem wytłoczenia zaczynu powinna wynosić minimum 90 min.**

Na podstawie badań przy użyciu UCA można zauważyć, że w przypadku kamienia cementowego (skład 1B) następuje szybki narost wczesnej wytrzymałości mechanicznej. Już po upływie 8 godzin kamień osiąga wartość wytrzymałości 3,5 MPa, co jest równoznaczne z jego związaniem w warunkach otworopodobnych (zapobiega to przepływowi płynów złożowych w otworze pomiędzy poszczególnymi horyzontami).

Opóźniacze A i B w połączeniu z innymi dodatkami nie wpływają na pogorszenie parametrów reologicznych zaczynów cementowych. Filtracje zaczynów zawierających lateks są niskie (poniżej 50 cm<sup>3</sup>/30 min). Dodatki opóźniające A i B okazały się odporne na zasolenie i można je stosować zarówno w zaczynach cementowych bazujących na solankach o zasoleniu 20-procentowym, jak i zarabianych wodą słodką z dodatkiem NaCl (10%) lub KCl (3%).

## Literatura

- [1] Adamson K. et al.: *High-pressure, high-temperature well construction*. „Oilfield Review”, Summer 1998.
- [2] Bołtryk M., Lelusz M.: *Technologia konstrukcji prefabrykowanych*. Białystok 2004.
- [3] Habrat S., Raczkowski J., Zawada S.: *Technika i technologia cementowań w wiertnictwie*. Wydawnictwo Geologiczne. Warszawa 1980.
- [4] Jasiczak J., Mikołajczak P.: *Technologia betonu modyfikowanego domieszkami i dodatkami*. Politechnika Poznańska, 2003.
- [5] Lewis S. J., Caveny B.: *Development of a highly versatile cement set retarder with global applicability*. AADE-07-NTCE-16.
- [6] Nalepa J.: *Problemy związane z cementowaniem głębokich otworów wiertniczych*. Sympozjum Naukowo-Techniczne. Piła 2001.
- [7] Nelson E.B. et al.: *Well Cementing*. Schlumberger Educational Service. Houston, Teksas, USA, 1990.
- [8] Neville A. M.: *Właściwości betonu*. Wydanie czwarte. Kraków 2000.
- [9] PE-EN 934-2:2001 *Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu*. Część 2: *Domieszki do betonu. Definicje, wymagania, zgodność, znakowanie i etykietowanie*.
- [10] Rzepka M. i in.: *Zaczyn cementowy do uszczelniania kolumn rur okładzinowych w głębokich otworach wiertniczych na Niżu Polskim w temperaturze dynamicznej do ok. 120°C*. Praca naukowo-badawcza. Kraków 2009.
- [11] Strona internetowa: [www.unitechp.com/cmhec.htm](http://www.unitechp.com/cmhec.htm)
- [12] Stryczek S., Gonet A.: *Wymagania odnośnie zaczynów uszczelniających stosowanych w technologiach wiertniczych*. Sympozjum Naukowo-Techniczne. Piła 2001.



Mgr Edyta DĘBIŃSKA – absolwentka Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie. Pracownik Zakładu Technologii Wiercenia Instytutu Nafty i Gazu, Oddział Krosno. Zajmuje się badaniami zaczynów cementowych stosowanych do uszczelniania rur okładzinowych w otworach wiertniczych.