

dr hab. inż. Krzysztof Zieliński, prof. PP<sup>1\*)</sup>

ORCID: 0000-0002-3805-1108

mgr inż. Michał Kostecki<sup>2)</sup>

mgr inż. Aleksander Kwiliński<sup>2)</sup>

# Badanie wpływu temperatury na działanie domieszki opóźniającej wiązanie cementu

## *Investigation of the influence of temperature on the action of an admixture retarding the setting of cement*

DOI: 10.15199/33.2023.06.03

**Streszczenie.** Celem prowadzonych badań było określenie wpływu temperatury na intensywność działania domieszki opóźniającej proces wiązania cementu. Do badań użyto CEM I 42,5R oraz domieszki opóźniającej wiązanie w ilości 0,75 i 1,5% w stosunku do cementu. Wykonano badania wytrzymałości na ściskanie zapraw cementowych po 7 i 28 dniach dojrzewania oraz określono czas początku i końca wiązania zaczynów cementowych. Wszystkie badania wykonano w temperaturze 10, 20, 30 i 40°C. Analizując uzyskane wyniki badań, zaobserwowano, że dodatek domieszki opóźniającej powoduje zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie wraz ze wzrostem temperatury oraz proporcjonalnie do ilości względem cementu, zarówno po siedmiu, jak i 28 dniach. Wpływ domieszki na wydłużenie czasu początku i końca wiązania gwałtownie spada w temperaturze 30°C, a w temperaturze 40°C dochodzi praktycznie do zera.

**Słowa kluczowe:** czas początku i końca wiązania; wytrzymałość na ściskanie beleczek cementowych; domieszki do betonu opóźniające wiązanie.

**Abstract.** The aim of the research was to determine the effect of temperature on the intensity of the admixture delaying the cement setting process. CEM I 42.5R and admixture retarding setting were used for the tests. The admixture was used in the amount of 0.75% and 1.5% of the cement. Tests of the compressive strength of cement mortars after 7 and 28 days of maturation were carried out, and the time of the beginning and end of setting cement slurries was determined. All tests were performed at temperatures of 10, 20, 30 and 40°C. Analyzing the obtained test results, it was observed that the addition of a retarding admixture decreases both the 7 and 28-day compressive strength with increasing temperature and in proportion to the amount in relation to the cement. The effect of the admixture on extending the time of the beginning and the end of the bond decreases sharply at 30°C. At 40°C, the effectiveness of the admixture drops to practically zero.

**Keywords:** time of start and end setting; compressive strength of cement beams; concrete admixtures delaying setting.

Domieszki opóźniające przedłużają czas przejścia mieszanki betonowej ze stanu plastycznego w stan sztywny przez zmniejszenie rozpuszczalności składników cementu w wodzie [1]. Składniki cementu reagują z wodą. Najbardziej reaktywny jest glinian triwapnia. W jego reakcji z wodą w obecności gipsu powstaje etryngit, który tworzy na powierzchni glinianu warstwę nieprzepuszczalną dla wody. Po wyczerpaniu gipsu następuje szybka reakcja pozostałego glinianu z wodą z utworzeniem uwodnionych glinianów [2]. Jej intensywność zależy od temperatury otoczenia. Sposób działania domieszek opóź-

nających nie jest jeszcze do końca zbadany. Najczęściej uważa się, że na ich skuteczność ma wpływ współczynnik w/c oraz stopień rozdrobnienia cementu.

Do grupy nieorganicznych domieszek opóźniających wiązanie należą przede wszystkim rozpuszczalne w wodzie związki fosforu, boru, fluoru, chromu i arsenu, a także tlenki metali: ołowiu; cynku; wanadu i cyny. Fosforany, stosowane jako domieszki opóźniające, to przede wszystkim fosforany sodu ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ). Mechanizm ich działania polega na wytrącaniu na powierzchni cementu nierozpuszczalnego fosforanu wapnia ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ). Podobnie działają fluororki, np. NaF powoduje powstanie nierozpuszczalnej warstwy  $\text{CaF}_2$  [2]

Badania laboratoryjne betonu wykonywane są przeważnie w temperaturze pokojowej (18 – 21°C), ale w prakty-

ce beton wykorzystywany jest w bardzo szerokim zakresie temperatury (niska temperatura w znacznym stopniu zwalnia lub nawet zatrzymuje proces hydratacji cementu), natomiast wysoka przyspiesza jego tempo, co zwiększa wczesną wytrzymałość betonu oraz skraca czas wiązania. Skuteczność domieszek opóźniających jest w wysokiej temperaturze wyraźnie słabsza niż w niskiej. Wysoka temperatura może negatywnie wpłynąć na końcową wytrzymałość betonu pomimo korzystnego działania w początkowej fazie wiązania. Wynika to z bardzo szybkiej początkowej hydratacji cementu, dzięki której powstaje słabsza mikrostruktura betonu o większej porowatości niż w betonach, w których proces hydratacji przebiegał równomiernie i została wypełniona znacznie większa przestrzeń porów.

<sup>1)</sup> Politechnika Poznańska, Instytut Budownictwa

<sup>2)</sup> Absolwent Politechniki Poznańskiej, Instytut Budownictwa

<sup>\*</sup>) Adres do korespondencji:

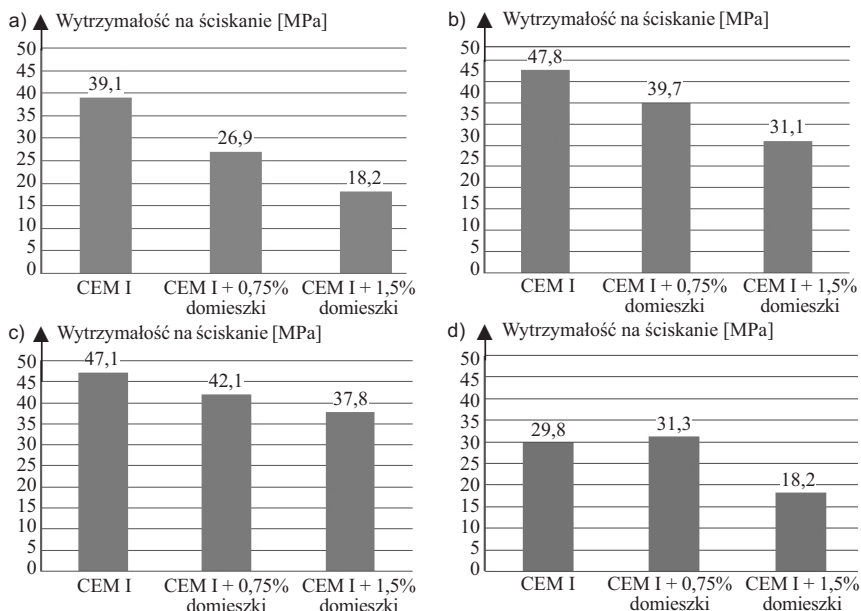
krzysztof.zielinski@put.poznan.pl

## Metoda badań

Celem prowadzonych badań było określenie wpływu temperatury na intensywność działania domieszki opóźniającej proces wiązania cementu. Do badań zastosowano cement portlandzki CEM I 42,5R [3], pozbawiony dodatków mogących mieć wpływ na wynik prowadzonych badań oraz domieszkę opóźniającą wiązanie. Użyto jej w ilości 0,75 i 1,5% w stosunku do cementu. Producent w swoich materiałach informacyjnych zaleca, aby masa domieszki nie przekraczała 2% masy cementu. Wykonano badania czasu początku i końca wiązania zaczynów cementowych w temperaturze 10, 20, 30 i 40°C [4] oraz wytrzymałości na ściskanie zapraw cementowych [5] po 7 i 28 dniach dojrzewania w temperaturze 10, 20, 30 i 40°C. Badane zaprawy przechowywano w środowisku o wilgotności > 90%, w przewidywanej temperaturze pomiaru (z dokładnością  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ ) od wykonania do momentu badania. W przypadku każdej temperatury przygotowano standardowy zestaw trzech beleczek. Zaprawy miały skład normowy przedstawiony w [1, 5]. Wykonano je, wykorzystując piasek normowy [1], wodę destylowaną, CEM 42,5R i dodatek 0,75% lub 1,5% domieszki opóźniającej wiązanie. Prezentowane na rysunkach 1 i 2 wyniki są średnią arytmetyczną z sześciu pojedynczych wyników.

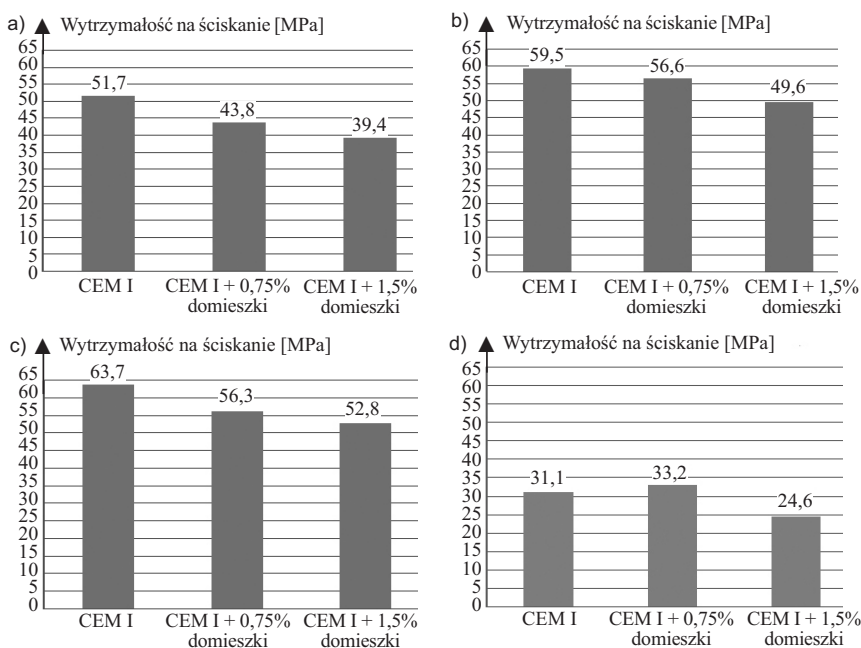
## Wyniki badań i ich analiza

**Wytrzymałość na ściskanie po 7 i 28 dniach dojrzewania beleczek.** Wyniki badania wytrzymałości na ściskanie wraz z obliczonymi wartościami odchylenia standardowego przedstawiono na rysunkach 1 i 2 oraz w tabeli. Uzyskane wartości odchylenia standardowego są relatywnie niewielkie, co pozwala na przeprowadzenie analizy porównawczej uzyskanych wyników. Wskazuje ona jednoznacznie, że zarówno po 7, jak i po 28 dniach dojrzewania domieszka opóźniająca zmniejsza wytrzymałość na ściskanie proporcjonalnie do jej zawartości. Intensywność tego spadku jest także związana z temperaturą, w jakiej przechowywano beleczki. Jak widać z rysunków 1 i 2, zwiększenie temperatury, w jakiej dojrzewa zaprawa, ma negatywny wpływ na jej wytrzymałość. W przy-



Rys. 1. Wytrzymałość na ściskanie beleczek po 7 dniach dojrzewania w temperaturze: a) 10; b) 20; c) 30; d) 40°C

Fig. 1. Compressive strength after 7 days of beam maturation in temperature: a) 10; b) 20; c) 30; d) 40°C



Rys. 2. Wytrzymałość na ściskanie beleczek po 28 dniach dojrzewania w temperaturze: a) 10; b) 20; c) 30; d) 40°C

Fig. 2. Compressive strength after 28 days of beam maturation in temperature: a) 10; b) 20; c) 30; d) 40°C

padku cementu pozbawionego domieszki opóźniającej następuje niewielki przyrost wytrzymałości w temperaturze 20 i 30°C, a w temperaturze 40°C wyraźny jej spadek. Podobnie jest w przypadku zapraw z domieszką opóźniającą. W temperaturze 20 i 30°C następuje zwiększenie wytrzymałości, a w temperaturze 40°C znaczny jej spadek z wyjątkiem za-

prawy CEM I + 0,75% domieszki, gdzie wpływ na uzyskany wynik miał przypuszczalnie błąd pomiaru. Poziom wytrzymałości na ściskanie próbek zaprawy z domieszką opóźniającą (niezależnie od jej ilości) jest wyraźnie niższy niż próbek wykonanych z zastosowaniem cementu pozbawionego domieszki opóźniającej bez względu na temperaturę.

## Wytrzymałość na ściskanie beleczek po 7 i 28 dniach dojrzewania [MPa]

Compressive strength after 7 and 28 days of beam maturation [MPa]

Temperatura	Rodzaj próbki	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	
		po 7 dniach dojrzewania	po 28 dniach dojrzewania
10°C	CEM I	39,1±1,6	51,7±2,8
	CEM I + 0,75%	26,9±1,3	43,8±2,2
	CEM I + 1,5%	18,2±1,3	39,4±2,1
20°C	CEM I	47,8±1,2	59,5±2,2
	CEM I + 0,75%	39,7±1,6	56,6±2,1
	CEM I + 1,5%	31,1±1,9	49,6±2,3
30°C	CEM I	47,1±1,2	63,7±2,6
	CEM I + 0,75%	42,1±2,0	56,3±1,6
	CEM I + 1,5%	37,8±1,7	52,8±1,8
40°C	CEM I	29,8±0,6	31,1±1,0
	CEM I + 0,75%	31,3±1,1	33,2±0,9
	CEM I + 1,5%	18,2±0,4	24,6±0,6

Można więc wnioskować, że zarówno wprowadzenie domieszki opóźniającej, jak i wzrost temperatury dojrzewania zaprawy mają zdecydowanie negatywny wpływ na jej wytrzymałość na ściskanie.

**Czas początku i końca wiązania zaczynu cementowego.** Wyniki badania czasu początku i końca wiązania przygotowanych zaczynów cementowych przedstawiono na rysunku 3. Każdy pre-

zentowany wynik jest średnią arytmetyczną z trzech pomiarów. W temperaturze +10°C skuteczność działania domieszki opóźniającej jest bardzo dobra. Dotyczy to zarówno czasu początku, jak i końca wiązania. Ilość użytej domieszki nie ma większego znaczenia. W temperaturze +20°C ilość domieszki (0,75% i 1,5% w stosunku do masy cementu) nadal ma niewielki wpływ na jej skuteczność, ale skuteczność domieszki w tej temperaturze jest jednak nadal duża. Natomiast w temperaturze 30 i 40°C następuje gwałtowny spadek skuteczności. Dotyczy to zarówno czasu początku, jak i końca wiązania. W temperaturze +40°C skuteczność użytej domieszki opóźniającej spada prawie do zera, szczególnie jeśli chodzi o czas początku wiązania. Jest on także niezależny od użytej ilości domieszki.

## Podsumowanie

Analizując przedstawione w artykule wyniki badań wytrzymałości na ściskanie oraz czasu początku i końca wiązania zaprawy i zaczynu cementowego w temperaturze 10, 20, 30 i 40°C, stwierdzono, że:

- dodatek domieszki opóźniającej w wyraźny sposób zmniejsza (proporcjonalnie do jej ilości względem cemen-

tu) wytrzymałość na ściskanie zarówno po siedmiu, jak i po 28 dniach dojrzewania. Średnia wartość wytrzymałości w temperaturze 20 i 30°C wyraźnie rośnie, a w temperaturze 40°C ulega zmniejszeniu;

- największą skuteczność domieszki opóźniającej zaobserwowano w temperaturze 10°C, a w temperaturze 20°C nieznaczne jej zmniejszenie. Duży spadek skuteczności domieszki nastąpił w temperaturze 30°C, a w temperaturze 40°C zmniejszyła się praktycznie do zera. Dotyczy to zarówno czasu początku, jak i końca wiązania.

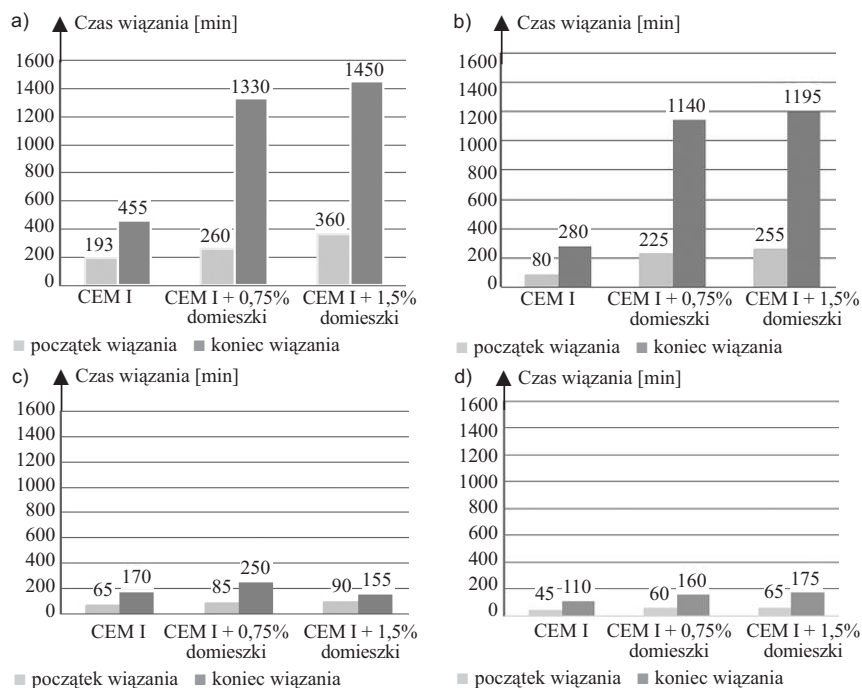
Opóźniające działanie domieszek polega przede wszystkim na tworzeniu warstw ochronnych na ziarnach cementu [6, 7]. Utrudnia to dostęp wody i rozpuszczanie składników spoiwa.

Skuteczność domieszek opóźniających maleje wraz ze wzrostem temperatury. Różna jest jednak intensywność tego zjawiska, która zależy m.in. od rodzaju użytego cementu [7, 8]. Omawiane domieszki stosowane są przede wszystkim w okresie letnich upałów, kiedy temperatura powietrza przekracza często 30°C. Skuteczność domieszki opóźniającej wiązanie jest wtedy niewielka, co w połączeniu z jej negatywnym wpływem na wytrzymałość może skutkować problemami technologicznymi na budowie, dlatego też wskazane jest przeprowadzenie dalszych badań z zastosowaniem różnych cementów.

## Literatura

- [1] PN-EN 934-2:2010 Domieszki do betonu, zaprawy i zaczyny. Część 2: Domieszki do betonu. Definicje, wymagania, zgodność, znakowanie i etykietowanie.
- [2] Kurdowski W. Chemia cementu i betonu, Wydawnictwo Polski Cement 2010.
- [3] PN-EN 197-1:2012 – Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku.
- [4] PN-EN 196-3:2016-12 Metody badania cementu. Część 3: Oznaczanie czasów wiązania i stałości objętości.
- [5] PN-EN 196-1:2016-07 Metody badania cementu. Część 1: Oznaczanie wytrzymałości.
- [6] Neville AM. Właściwości betonu, V edycja, Wydawnictwo Polski Cement Sp. z o.o., Kraków, 2000.
- [7] Jamróży Z. Beton i jego technologie, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa-Kraków 2000.
- [8] Gołaszewski J. Domieszki do betonu. Rodzaje, efekty, zakres stosowania. Magazyn Autostrady. 2015; 8 – 9: 20 – 24.

Przyjęto do druku: 17.04.2023 r.



**Rys. 3. Czas początku i końca wiązania zaczynów cementowych zawierających 0,75 i 1,5% domieszki opóźniającej, badanych w temperaturze: a) 10; b) 20; c) 30; d) 40°C**

Fig. 3. Time of beginning and end of setting of cement slurries with 0.75% and 1.5% retarding admixture introduced, tested at: a) 10; b) 20; c) 30; d) 40°C