

# Wpływ obniżonej temperatury podczas wiązania na właściwości zapraw do napraw konstrukcji betonowych

Mgr inż. Damian Wojnowski, dr inż. Teresa Możaryn, Instytut Techniki Budowlanej

## 1. Wprowadzenie

Projektując naprawy konstrukcji betonowych, uwzględnia się wymagania dotyczące stosowanych wyrobów, właściwości podłoża oraz warunków prowadzenia prac. Większość zapraw cementowych i polimerowo-cementowych przeznaczonych do napraw konstrukcji betonowych powinna być stosowana w zakresie temperatur 5–30°C. W czasie prowadzenia prac, ze względu na jakość i trwałość naprawy, szczególną uwagę przywiązuje się do kontrolowania temperatury i wilgotności w czasie aplikacji zapraw i dojrzewania naprawy [1, 2]. W warunkach klimatycznych Polski, ze względu na wahania temperatury w zakresie bliskim 0°C, istotnym problemem jest prowadzenie prac budowlanych w okresie jesiennym i wczesnowiosennym. Wykonywanie napraw konstrukcji w okresie obniżonej temperatury zobowiązuje wykonawcę do monitorowania zarówno temperatury i wilgotności podłoża, jak i otoczenia oraz do stosowania zabiegów umożliwiających spełnienie wymagań projektu naprawy, obowiązujących norm oraz specyfikacji technicznych dotyczących stosowanych wyrobów i systemów. Niedotrzymanie odpowiednich warunków klimatycznych, podczas nakładania, wiązania i dojrzewania kolejnych warstw zapraw w systemie, może być przyczyną niespełnienia projektowanej funkcji naprawy, skrócenia jej projektowego okresu użytkowania lub przedwczesnego zniszczenia [3, 4].

Zagadnienia związane z wpływem temperatury na mikrostrukturę uwodnionego zaczynu cementowego i właściwości betonu są przedmiotem prac badawczych, a dotyczą szczególnie narastania wytrzymałości, doboru składników i składu mieszanki, metod pielęgnacji [5, 6, 7, 8].

Interesującymi, związanymi z przeznaczeniem i skutecznością napraw konstrukcji żelbetowych, są również zagadnienia dotyczące wpływu warunków klimatycznych w trakcie dojrzewania zapraw CC i PCC przeznaczonych do napraw i ochrony konstrukcji betonowych, na ich właściwości decydujące o odporności na działanie czynników chemicznych i trwałość. W Instytucie

Techniki Budowlanej przeprowadzono badania pilotażowe ukierunkowane na opracowanie metodyki oceny właściwości zapraw PCC przeznaczonych do napraw konstrukcji betonowych, aplikowanych i dojrzewających w obniżonej temperaturze.

## 2. Badania wpływu obniżonej temperatury na właściwości zapraw przeznaczonych do napraw konstrukcji betonowych

Badano dwie zaprawy polimerowo-cementowe przeznaczone do wykonywania napraw konstrukcji betonowych. Zaprawy pochodziły od tego samego producenta. Zastosowany został w nich ten sam rodzaj cementu i polimeru, ale różniły się składem oraz uziarnieniem kruszywa. Zgodnie z deklaracją producenta zakres temperatury, w jakich te wyroby mogą być stosowane, to 5–30°C.

W zrealizowanym programie wstępnych badań laboratoryjnych badano wpływ temperatury podczas dojrzewania na właściwości użytkowe. Jako charakterystyczne właściwości użytkowe wytypowano: wytrzymałość na ścislenie (PN-EN 12190) i zginanie (PN-EN 1015–11), przyczepność przez odrywanie (PN-EN 1542), absorpcję kapilarną (PN-EN 13057) i odporność na karbonatyzację (PN-EN 13295).

**Tabela 1.** Klimaty dojrzewania próbek zapraw

Klimat	I	II	III
Temperatura [°C]/Czas sezonowania	21±1°C/28 dni	5±1°C/10 dni 21±1°C/18 dni	1±1°C/10 dni 21±1°C/18 dni

W celu zbadania wpływu temperatury podczas dojrzewania na właściwości zapraw zrealizowano badania w trzech klimatach, jak pokazano w tabeli 1. Przygotowując próbki badawcze, stosowano materiały, formy oraz podkłady w temperaturze, w jakiej je potem ekspozycjonowano.

**Tabela 2.** Wyniki wykonanych badań zapraw A i B dojrzewających w różnych temperaturach

Badana cecha	Zaprawa A			Zaprawa B		
	Klimaty dojrzewania					
	I	II	III	I	II	III
Wytrzymałość na ściskanie, MPa	38,9	37,6	25,4	50,6	38,8	37,0
Wartość względna [-]	1,0	1,0	0,7	1,0	0,8	0,7
Wytrzymałość na zginanie, MPa	7,4	7,5	6,5	8,3	6,6	6,4
Wartość względna [-]	1,0	1,0	0,9	1,0	0,8	0,8
Współczynnik nasiąkania, kg/m <sup>2</sup> h <sup>0.5</sup>	0,3	0,3	0,5	0,1	0,3	0,7
Wartość względna [-]	1,0	1,0	1,8	1,0	2,6	6,3
Przyczepność przez odrywanie, MPa	3,0	0,4	0,9	1,7	1,5	0,7
Rodzaj zerwania	A	B	B	A/B	B	A/B
Głębokość karbonatyzacji, mm	5	6	10	3	6	9

A – kohezyjne zerwanie w podłożu, B – kohezyjne w zaprawie, A/B – adhezyjne zerwanie między podłożem a zaprawą

### 3. Wyniki badań

W tabeli 2 i na rysunkach 1–3 przedstawiono wyniki badań próbek zapraw A i B. Dla każdej oznaczanej właściwości użytkowej podano wartości średnie wyników pomiarów próbek w serii, a dla części dodatkowo wartości względne obliczone względem próbek odniesienia, dojrzewających w temperaturze  $21 \pm 2^\circ\text{C}$  (klimat I), zgodnie z poniższym wzorem:

$$\text{wartość względna} = \frac{R_i}{R_1} \quad (1)$$

$R_i$  – wartość otrzymana dla próbek sezonowanych w obniżonej temperaturze (klimat II lub III),

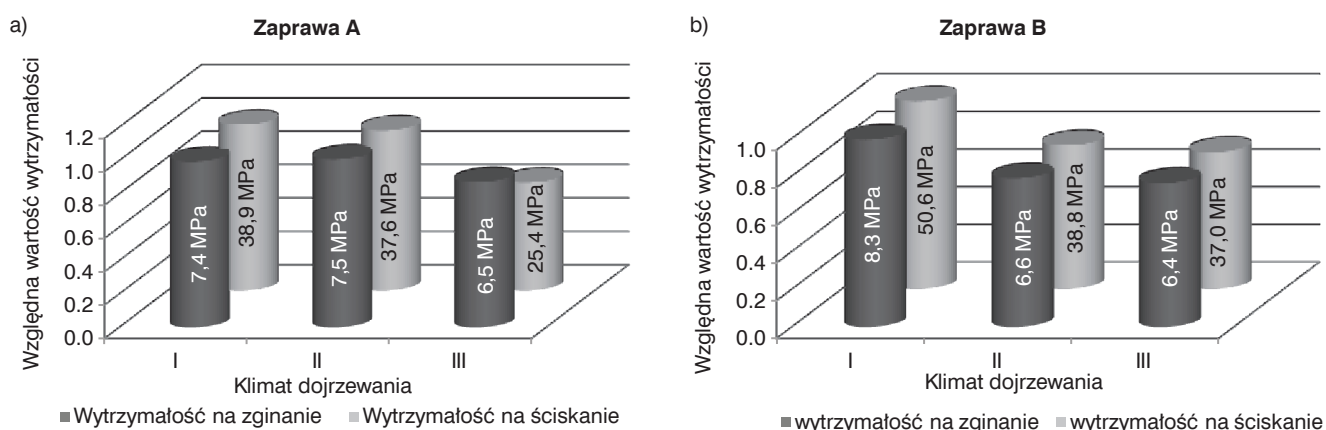
$R_1$  – wartość otrzymana dla próbek odniesienia (klimat I).

Wyniki oznaczenia wytrzymałości na zginanie i ściskanie wykazały, że w zakresie temperatur dojrzewania  $5 \pm 1$ – $21 \pm 2^\circ\text{C}$  nie stwierdzono wpływu temperatury na zmiany wytrzymałości na zginanie i ściskanie zaprawy A, natomiast w przypadku zaprawy B wpływ temperatury zarówno na wytrzymałość na zginanie, jak i ściskanie był wyraźny. Wyraźny wpływ temperatury na wytrzymałość

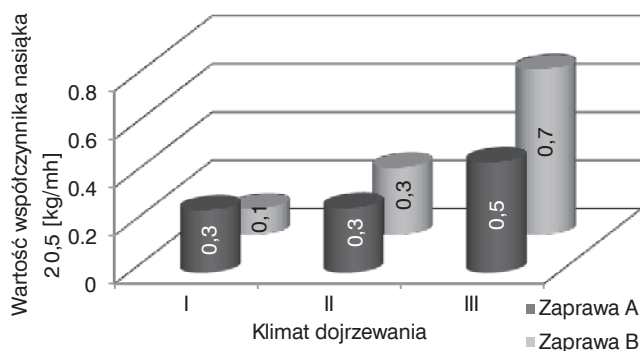
stwierdzono dla obu badanych zapraw, gdy temperatura w czasie dojrzewania była w zakresie  $1 \pm 1^\circ\text{C}$  (klimat III).

Temperatura podczas dojrzewania miała istotny wpływ na przyczepność zapraw do podkładów betonowych. Dla zaprawy A wyraźne zmniejszenie wartości przyczepności zaobserwowano już przy temperaturze dojrzewania  $(5 \pm 1)^\circ\text{C}$ . Zmienił się rodzaj zerwania, co świadczy o obniżeniu parametrów wytrzymałościowych zaprawy. W przypadku zaprawy B dla próbek dojrzewających w temperaturze  $(5 \pm 1)^\circ\text{C}$  zmiana wartości przyczepności była niewielka, lecz zmienił się rodzaj zerwania świadczący o spadku wytrzymałość zaprawy. Natomiast zaobserwowano znaczny spadek przyczepności zaprawy do podkładu dla próbek dojrzewających w temperaturze  $(1 \pm 1)^\circ\text{C}$ . Zmienił się również rodzaj zerwania, który może świadczyć o wpływie niskiej temperatury podczas dojrzewania na trwałość naprawy.

Badania absorpcji kapilarnej i odporności na karbonatyzację zapraw A i B (rys. 2 i 3) wykazały wyraźny wpływ niskich temperatur podczas dojrzewania na wzrost wartości współczynników nasiąkania jak i zwiększenie głębokości karbonatyzacji. Znaczny wzrost wartości współczynnika nasiąkania stwierdzono dla zaprawy B



**Rys. 1.** Wytrzymałość na zginanie i ściskanie zapraw A (a) i B (b) dojrzewających w różnych klimatach (okres dojrzewania – 28 dni)



**Rys. 2.** Absorpcja wody – współczynniki nasiąkania zapraw A i B dojrzewających w różnych klimatach (okres dojrzewania – 28 dni)

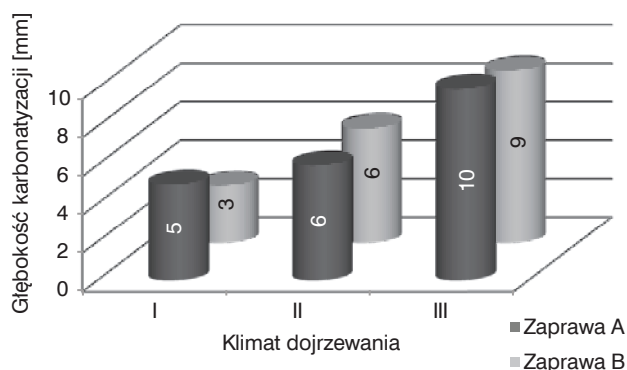
– 2,5-krotny w warunkach dojrzewania próbek w temperaturze  $(5 \pm 1)^\circ\text{C}$  i ponad 6-krotny w warunkach dojrzewania próbek w temperaturze  $(1 \pm 1)^\circ\text{C}$ . Taką tendencję zaobserwowano badając głębokość karbonatyzacji tej zaprawy. Dla zaprawy A znaczny wpływ obniżonej temperatury na nasiąkliwość i głębokość karbonatyzacji zaobserwowano przy temperaturze dojrzewania  $(1 \pm 1)^\circ\text{C}$ .

#### 4. Podsumowanie

Analizując uzyskane wyniki, można stwierdzić, że potwierdziły one wpływ obniżenia temperatury podczas dojrzewania na właściwości użytkowe badanych zapraw przeznaczonych do napraw konstrukcji betonowych. Wpływ obniżonej temperatury w początkowym okresie dojrzewania stwierdzono we wszystkich wykonanych badaniach: wytrzymałości na zginanie i ściskanie, przyczepności przez odrywanie, absorpcji kapilarnej i odporności na karbonatyzację.

Badane wyroby różniące się składem i uziarnieniem kruszywa zawierają ten sam cement oraz polimer, lecz różnią się jego ilością. Wyrób A ma znacznie większą zawartość polimeru względem wyrobu B, który dodatkowo zawiera włókna polimerowe. Różnice w składzie ilościowym wypełniacza mogą być przyczyną zaobserwowanych rozbieżności badanych cech pomiędzy wyrobami.

Wykonane badania wstępne wykazały, że przyjęte właściwości techniczno-użytkowe mogą być właściwościami reprezentatywnymi, stosowanymi w metodyce oceny zapraw CC i PCC aplikowanych i stosowanych w warunkach obniżonej temperatury. Wykonane badania pokazały, że w normowym okresie dojrzewania (28 dni), gdzie w jego początkowej fazie oraz podczas aplikacji występowała obniżona temperatura, zmieniły się w sposób niekorzystny badane właściwości techniczno-użytkowe zapraw cementowo-polimerowych.



**Rys. 3.** Głębokość karbonatyzacji dla zaprawy A i zaprawy B (okres dojrzewania – 28 dni)

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 1504-9:2008 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 9: Podstawowe zasady dotyczące stosowania wyrobów i systemów
- [2] PN-EN 1504-10:2005 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności Część 10: Stosowanie wyrobów i systemów na placu budowy oraz sterowanie jakością prac
- [3] Czarnecki L., Emmons P. H, Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych, Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 2002
- [4] Runkiewicz L., Ocena bezpieczeństwa i trwałości napraw oraz wzmocnień konstrukcji budowlanych za pomocą metod nieniszczących, Praca zbiorowa Trwałość i skuteczność napraw obiektów budowlanych, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2007
- [5] Kurdowski W., Chemia cementu i betonu, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2010, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010
- [6] Bobrowicz J, Proces wiązania i twardnienia spoiw cementowych w obniżonych temperaturach, Rozprawa doktorska, ITB, Warszawa 2004
- [7] Neville A.M., Właściwości betonu, wydanie V, tłumaczenie: prof. dr inż. Andrzej Ajdukiewicz, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2012
- [8] Woyciechowski P., Chudan A., Metody i środki pielęgnacji betonu w formach i in situ, XVII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń 2002
- [9] PN-EN 12190:2000 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych Metody badań Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie zaprawy naprawczej
- [10] PN-EN 1015-11:2001 Metody badań zapraw do murów Część 11: Określenie wytrzymałości na zginanie i ściskanie stwardniałej zaprawy
- [11] PN-EN 13057:2004 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych Metody badań Oznaczanie odporności na absorpcję kapilarną
- [12] PN-EN 1542:2000 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych Metody badań Pomiar przyczepności przez odrywanie
- [13] PN-EN 13295:2005 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych Metody badań Oznaczanie odporności na karbonatyzację
- [14] Jasiczak J., Technologie budowlane II, 2003, 7. Wykonywanie monolitycznych robót betonowych w warunkach niskich temperatur
- [15] Pawelska-Mazur M., Przegląd budowlany 11/2011, Warunki betonowania w obniżonych temperaturach na przykładzie Pomorza
- [16] Józwiak H, Wykonywanie betonu w warunkach obniżonych temperatur z zastosowaniem domieszek chemicznych, Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik nr 1 (105), Warszawa 1998