

e t i g o l o o n o h c h e t

Twardnienie w obniżonych temperaturach betonu samozagęszczalnego zawierającego cement hutniczy CEM III/A 42,5 N

1. Wprowadzenie

Przy robotach betonowych realizowanych w obniżonych temperaturach zaleca się stosowanie do mieszanek betonowych cementów wyższych klas wytrzymałości oraz wydzielających większe ilości ciepła podczas hydratacji, np. CEM I, CEM II/B-S. Jest to konieczne do uzyskania przez beton właściwego przyrostu wytrzymałości w możliwie jak najkrótszym czasie. Wiąże się to z uzyskaniem przez beton odporności na działanie destrukcyjne mrozu [16].

Cementy hutnicze CEM III wydzielają mniej ciepła podczas wiązania i twardnienia niż cementy portlandzkie [1, 3÷6]. Jednak, z uwagi na potrzebę zapewnienia trwałości betonu w różnych klasach ekspozycji środowiska [4÷6, 8, 13], zachodzi konieczność zastosowania do mieszanek betonowych cementu hutniczego [1, 3]. Jest wówczas prawdopodobne, że prace betonowe będą prowadzone również w obniżonych temperaturach, występujących w okresie jesienno-zimowym.

Obserwowany okres dojrzewania betonów – od 2 do 29 grudnia 2002 roku. Próbki betonowe zostały ukształtowane 2 grudnia 2002, przez pierwsze 24 godziny dojrzewały w formach, odpowiednio w ww. warunkach.

2. Badania właściwości cementu hutniczego CEM III/A 42,5 N

Zbadano następujące właściwości fizyczne cementu: warunki wiązania, gęstość, powierzchnię właściwą oraz oznaczono właściwą ilość wody potrzebną do uzyskania normalnej konsystencji zaczynu cementowego [11, 12].

Wyniki badań zestawiono w tabeli 1.

Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu (f_{ctm}) oraz wytrzymałość na ściskanie (f_{cm}) zaprawy normowej o W/C = 0,50 oznaczono po 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14, 21, 28, 56, 90 i 180 dniach dojrzewania [10].

Średnie wyniki badania wytrzymałości na ściskanie cementu (zaprawa normowa) przedstawiono na rys. 1.

Na podstawie oznaczonych wartości f_{ctm} i f_{cm} zaprawy normowej zawierającej CEM III/A 42,5 N obliczono stopień kruchości zaprawy (k_r) według wzoru:

$$k_r = \frac{f_{ctm}}{f_{cm}} \quad (2.1)$$

Materiał uważa się za kruchy, gdy $k_r \leq 0,125$.

Im wyższa f_{ctm} tym niższa wartość kruchości [5].

Na rys. 2 przedstawiono zmianę kruchości w czasie twardniejącego cementu (zaprawa normowa o W/C = 0,50).

3. Badania betonów samozagęszczalnych

Skład mieszanek samozagęszczających się dobrano metodą analityczno-doświadczalną z kruzyw naturalnych, cementu hutniczego CEM III/A 42,5 N, popiołu lotnego VKN, wody wodociągowej oraz superplastyfikatora nowej generacji FM 34 [2, 4]. W tabeli 2 zestawiono skład i właściwości mieszanek betonowych SCC.

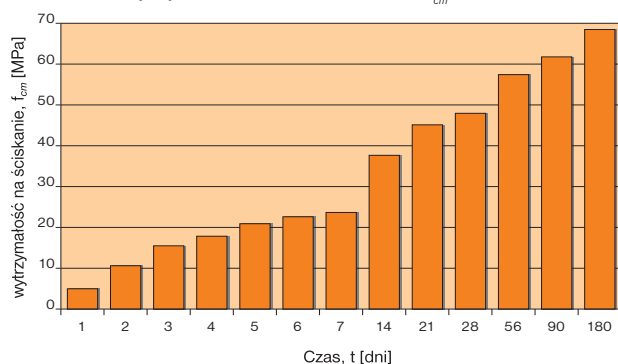
Tabela 1. Właściwości fizyczne cementu CEM III/A 42,5 N

Właściwość	Wartość oznaczenia
2. Wiązane cementu: a) czas do początku wiązania (tp), b) czas do końca wiązania (tk), c) czas wiązania (tw).	4 h 10' 4 h 50' 0 h 40'
2. Gęstość	2,98 g/cm ³
3. Powierzchnia właściwa wg Blaine'a	401,2 m ² /kg
4. Właściwa ilość wody w zaczynie normowym, W/C	0,298

Przedstawione badania betonu zawierającego CEM III/A 42,5 N zostały zaprogramowane, z uwzględnieniem długoterminowych prognoz meteorologicznych, następująco:

- dojrzewanie połowy próbek betonowych w środowisku naturalnym przez 3 dni w temperaturze otaczającego powietrza 5°C > T > 0°C, a następnie w temperaturach ujemnych
- dla porównania – dojrzewanie pozostałych próbek betonu w warunkach laboratoryjnych.

Rys. 1. Średnia wytrzymałość na ściskanie cementu (f_{cm}) CEM III/A 42,5 N



Rys. 2. Kruchość cementu CEM III/A 42,5 N

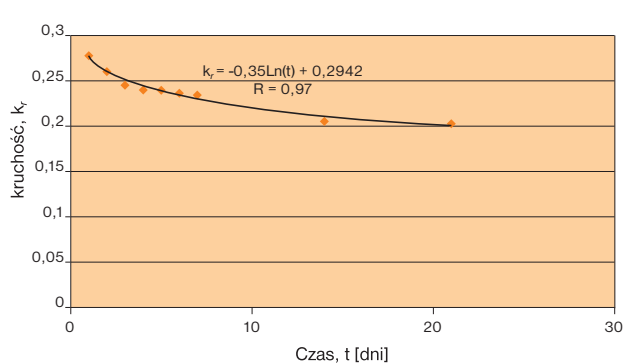


Tabela 2. Skład i właściwości betonu samozagęszczalnego

Składniki	Ilość kg/m ³	Właściwości mieszanki betonowej
1. CEM III/A 42,5	385	1. rozpył odwrotnego stożka Abramsa – 68 cm
2. żwir 8 ÷ 16 mm	567	2. gęstość mieszanki betonowej – 2298 kg/m ³
3. żwir 2 ÷ 8 mm	470	3. wskaźnik W/C = 0,418
4. piasek 0 ÷ 2mm	567	4. wskaźnik W/C+P = 0,304
5. popiół lotny VKN	145	
6. superplastyfikator nowej generacji FM 34	3,25	
7. woda	161	

Z zarobów próbnych kształtowano próbki sześciennie o krawędzi 100 mm [8, 13, 14]. Połowa próbek dojrzewała w komorze klimatycznej o temperaturze 20°C ± 2°C i wilgotności względnej powietrza ≥ 95% [14].

Druga połowa ukształtowanych próbek dojrzewała w środowisku naturalnym, monitorowanym przez pomiar temperatury otaczającego powietrza w następujących godzinach: 7.00, 13.00 i 21.00 [7, 16]. Z odczytów temperatur obliczono średnie temperatury dobowe według wzoru [3, 7]:

$$T_{sr} = \frac{T_7 + T_{13} + 2T_{21}}{4} \quad (3.1)$$

Na rys. 3 przedstawiono średnie temperatury dobowe otaczającego powietrza.

Wytrzymałość na ściskanie betonów dojrzewających w warunkach laboratoryjnych oraz w środowisku naturalnym oznaczono po 1, 3, 7, 14 i 28 dniach ich twardnienia [15]. Na każdy termin badania stosowano 6 próbek kostkowych o krawędzi 100 mm. Na rys. 4 pokazano średnie wytrzymałości na ściskanie (f_{cm}) betonu z tabeli 2.

W tabeli 3 podano ocenę jakości betonów zgodnie z normą [8]. Wytrzymałość określoną na podstawie badań próbek sześciennych o boku 100 mm przeliczono na normowy wymiar próbek sześciennych (kostki o boku 150 mm) za pomocą mnożnika 0,95 [13].

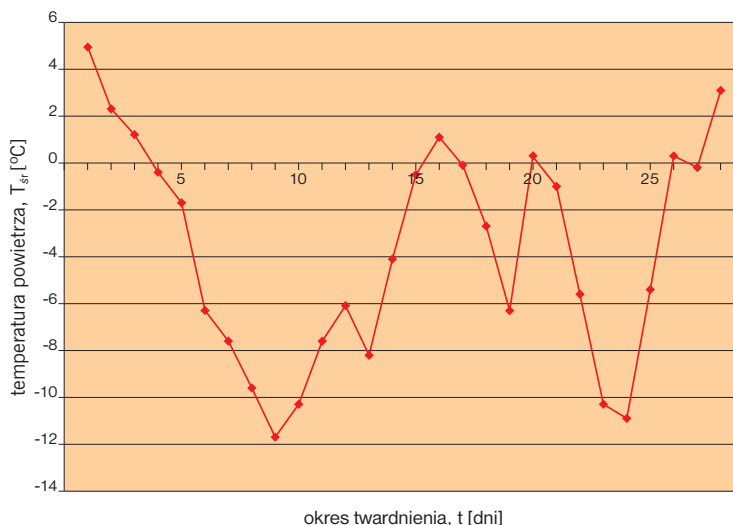
Na rys. 5 podano zależności korelacyjne pomiędzy średnią wytrzymałością na ściskanie (f_{cm}) a czasem twardnienia betonu (t) w warunkach laboratoryjnych oraz w środowisku naturalnym.

4. Podsumowanie

- Użyty do badań jakości betonów cement hutniczy CEM III/A 42,5 N osiąga normowe parametry wytrzymałościowe już po 21 dniach twardnienia

Tabela 3. Ocena wytrzymałości na ściskanie betonu samozagęszczalnego

Termin badania f_{c1} [dni]	Klasa wytrzymałości na ściskanie betonu według PN-EN 206-1:2003 []		Średnia temperatura dobowo otaczającego powietrza, T_{sr} [°C]
	a) dojrzewanie w warunkach laboratoryjnych	b) dojrzewanie w środowisku naturalnym	
1	C (C8/10	-	3,6
3	C16/20 (C „ C20/25)	C (C8/10	3,8
7	C30/37	C8/10	-4,2
14	C40/50	C12/15	-4,8
28	C50/60	C20/25	-3,9

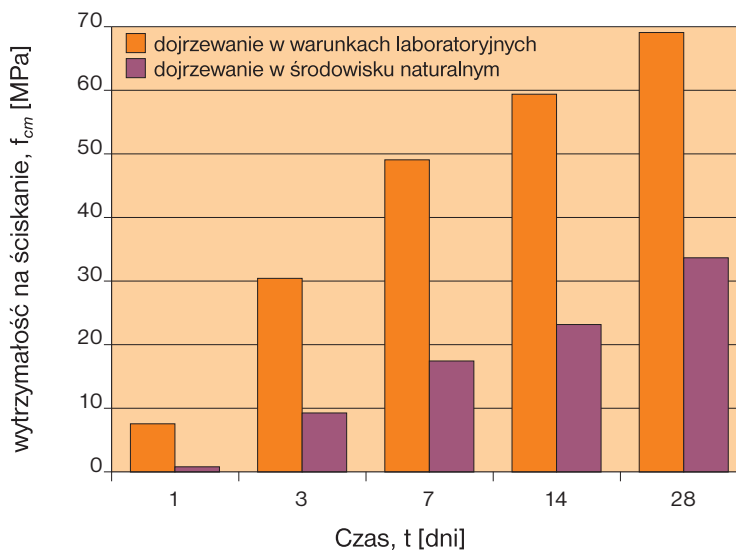


okres twardnienia, t [dni]

nia. Obserwuje się ciągły przyrost wytrzymałości na ściskanie zaprawy normowej wykonanej z tego spoiwa: po 56 dniach wytrzymałość odpowiada klasie wytrzymałości cementu 52,5; po 180 dniach dojrzewania wytrzymałość cementu jest o 38% wyższa w stosunku do wytrzymałości 28-dniowej (rys. 1).

- Stopień kruchości zaprawy normowej z CEM III/A 42,5 N zmienia się podczas jej twardnienia: do 56 dni włącznie k_f ma wartość wyższą od 0,125, co nie kwalifikuje tego tworzywa do materiałów kruchych, w okresach późniejszych twardnienia cementu (90 ÷ 180 dni) obserwuje się wzrost stopnia kruchości: materiał zawierający CEM III/A 42,5 N staje się bardziej kruchy (rys. 2).
- Stwierdzone ciągłe przyrosty wytrzymałości na ściskanie cementu w czasie jego twardnienia obserwuje się również w betonie SCC zawierającym to spoiwo (rys. 4 i 5).
- Kinetyka narastania wytrzymałości na ściskanie betonu SCC dojrzewającego w obniżonych temperaturach (rys. 3) jest znacznie niższa niż betonu twardniejącego w warunkach laboratoryjnych (rys. 4). Beton osiąga klasę wytrzymałości na ściskanie C8/10, gwarantującą odporność na działanie mrozu [16], dopiero po 7 dniach dojrzewania: 3 dni w temperaturze dodatniej

Rys. 3. Rozkład średnich temperatur dobowych otaczającego powietrza w środowisku naturalnym dojrzewającego betonu



Rys. 4. Średnia wytrzymałość na ściskanie betonu samozagęszczalnego

$T_{sr} < 5^{\circ}\text{C}$ i 4 dni w temperaturze ujemnej. Wraz z upływem czasu twardnienia betonu w temperaturach ujemnych (rys. 4 i 5 oraz tabela 3) następuje dalszy istotny przyrost wytrzymałości na ściskanie: po 14 dniach – klasa C12/15, po 28 dniach – klasa C20/25.

- Beton SCC dojrzewający w warunkach laboratoryjnych osiąga znacznie wyższe parametry jakościowe w porównaniu z betonem twardniejącym w środowisku naturalnym (obniżone temperatury), np. po 7 dniach – klasa C30/37, a po 28 dniach – C50/60, zbliżona do klasy betonu wysokiej wytrzymałości.
- Zaprogramowane i przeprowadzone badania wskazały na istotny wpływ warunków środowiskowych na szybkość przyrostu wytrzymałości betonu SCC wykonanego z cementu hutniczego CEM III/A 42,5 N. Dla oceny jakości betonu w konstrukcji miarodajne są jednak wytrzymałości na ściskanie określone na próbkach normowych dojrzewających przez 28 dni w warunkach laboratoryjnych [8] lub inny termin, uzgodniony w specyfikacji pomiędzy producentem a wykonawcą. W przypadku konieczności użycia tego cementu ze względu na zapewnienie betonowi odporności na agresję środowiska lub zagrożenia korozją [1 ÷ 5] zbadane parametry wytrzymałościowe betonu, wyznaczone na próbkach normowych dojrzewających w odmiennych warunkach niż laboratoryjne, mogą być przydatne inwestorowi i wykonawcy np. do weryfikacji harmonogramu dalszych prac badawczych. Wówczas wydłużony czas twardnienia betonu w obniżonych temperaturach może być w pełni zrekompensowany przez trwałość materiału w różnych klasach ekspozycji środowiska z uwagi na zastosowany do betonu cement hutniczy CEM III/A 42,5 N.
- Beton z cementu CEM III/A 42,5 N ułożony w konstrukcji będzie dojrzewał w łagodniejszych warunkach niż próbki kostkowe o boku 10 cm bezpośrednio poddane na całej powierzchni działaniu obniżonych temperatur. Przed działaniem niskich temperatur może częściowo chronić beton np. deskowanie, przykrycie matami, włóknina, folią, kształt oraz objętość betonu w elemencie. Wówczas jest prawdopodobne,

że beton osiągnie odporność mrozową – klasę C8/10 znacznie wcześniej, szacunkowo po 4 ÷ 5 dniach dojrzewania.

dr inż. Aleksander Kapelko

Instytut Budownictwa

Politechnika Wrocławska

e-mail: aleksander.kapelko@pwr.wroc.pl

Literatura

- 1 A. Kapelko, *Właściwości betonów wykonywanych na cemencie hutniczym CEM III/A 32,5 NA, Materiały III Konferencji naukowo-technicznej „Materiały kompozytowe, właściwości, wytwarzanie, zastosowanie”*. Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, nr 80, Seria: Konferencje, nr 29, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001, s. 79-86
- 2 A. Kapelko, *Beton samozagęszczalny do remontu konstrukcji betonowych w obiektach zabytkowych, Materiały X Jubileuszowej Konferencji naukowo-technicznej „Problemy remontowe w budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych”*. Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, nr 82, Seria: Konferencje nr 31, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002, s. 153-159
- 3 A. Kapelko, *Właściwości betonów z cementu hutniczego CEM III/A 32,5 N twardniejących w obniżonych temperaturach, Materiały IV Konferencji naukowo-technicznej „Budownictwo w energetyce”*, Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, nr 84, Seria: Konferencje, nr 32, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004, s. 81-88
- 4 Z. Giergiczny, J. Małolepszy, J. Szwabowski, J. Śliwiński, *Cementy z dodatkami mineralnymi w technologii betonów nowej generacji*, Opole 2002
- 5 Z. Jamróży, *Beton i jego technologie*, PWN, Warszawa-Kraków 2000
- 6 A. M. Neville, *Właściwości betonu*, Polski Cement, Kraków 2000
- 7 PN-88/B-06250 „Beton zwykły”
- 8 PN-EN 206-1:2003 „Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”
- 9 PN-EN 197-1: „Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku”
- 10 PN-EN 196-1:1996 „Metody badania cementu. Oznaczanie wytrzymałości”
- 11 PN-EN 196-3:1996 „Metody badania cementu. Oznaczanie czasów wiązania i stałości objętości”
- 12 PN-EN 196-6:1997 „Metody badania cementu. Oznaczanie stopnia zmielenia”
- 13 PN-B-06265:2004 „Krajowe uzupełnienia PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”
- 14 PN-EN 12390-2:2001 „Badania betonu. Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych”
- 15 PN-EN 12390-3:2002 „Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania”
- 16 Instrukcja ITB nr 282 „Wytyczne wykonywania robót budowlano-montażowych w okresie obniżonych temperatur”, Warszawa 1995

Rys. 5. Zależność $f_{cm} - t$ betonu samozagęszczalnego

