

## Wpływ domieszki stabilizującej na bazie skrobi na zmianę konsystencji mieszanki betonowej

### The effect of a starch-based stabilizing admixture on a change in the consistency of a concrete mix



**Marcin Bilski**

Dr inż.

Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Lądowej

marcin.bilski@put.poznan.pl



**Anna Małek**

Mgr inż.

Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Lądowej

anna.malek@put.poznan.pl



**Jacek Nowak**

Inż.

GDDKiA Oddział w Poznaniu

jacnowak@gddkia.gov.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu zawartości domieszki stabilizującej na bazie chemicznej w postaci skrobi na zmianę konsystencji mieszanki betonowej. Ocenę wpływu domieszki stabilizującej dozowanej w ilości 0,2%, 0,4% i 0,6% w stosunku do masy cementu na zmianę konsystencji dokonano na podstawie badania metodą opadu stożka wg PN-EN 12350-2:2019-07. Z przygotowanych mieszanek betonowych wykonano również próbki do badania gęstości betonu wg PN-EN 12390-7:2019-08 oraz wytrzymałości na ściskanie wg PN-EN 12390-3:2019-07. Dla opracowanego składu mieszanki betonowej przygotowano zarób wzorcowy (referencyjny), który posłużył do porównania wyników badań z próbek zawierających domieszkę w różnej ilości. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zastosowana domieszka stabilizująca na bazie skrobi o różnym procentowym udziale w stosunku do masy cementu znacznie wpływa na obniżenie konsystencji. Zastosowanie domieszki w przypadku mieszanki betonowej o zbyt dużej konsystencji daje możliwość zmiany jej przeznaczenia bez wpływu na pozostałe parametry.

**Słowa kluczowe:** Mieszanka betonowa; Skrobia; Konsystencja betonu

**Abstract:** The paper presents the results of the research on the influence of the content of a chemical-based stabilizing admixture in the form of starch on the change of concrete mix consistency. The assessment of the effect of the stabilizing admixture dosed in the amount of 0.2%, 0.4% and 0.6% in relation to the cement mass on the change in consistency was made. The assessment was done on the basis of the fall cone (FC) method according to PN-EN 12350-2: 2019-07. The prepared concrete mixtures were also used to test concrete density according to PN-EN 12390-7: 2019-08 and compressive strength according to PN-EN 12390-3: 2019-07. For the developed composition of the concrete mix, a reference sample was prepared, which was used to compare the test results from samples containing an admixture in a different amount. On the basis of the conducted research, it was found that the applied stabilizing admixture based on starch with a different percentage share in relation to the cement mass significantly reduces the consistency. The use of an admixture in the case of a concrete mix with too high a consistency makes it possible to change its intended use without affecting other parameters.

**Keywords:** Concrete mix; Starch; Concrete consistency

#### Wstęp

Parametry mieszanki betonowej i betonu cementowego są ściśle dobrane do wykonywanego elementu. Dla przykładu betony cementowe do budowy drogowych obiektów inżynierskich wymagają stosowania mieszanki betonowej o konsystencji S3-S4. Konsystencją nazywamy stopień ciekłości mieszanki betonowej i stanowi jeden z czynników kształtujących urabialność mieszanki [1]. W przypadku betonowych

nawierzchni drogowych oraz drogowych elementów liniowych w de-skowaniu ślizgowym zastosowana mieszanka betonowa powinna mieć konsystencję S1. Bardzo podobne wymagania dla betonu cementowego dla obiektów inżynierskich oraz nawierzchni drogowych dają możliwość zastosowania jednego typu mieszanki betonowej. Problem natomiast występuje w konsystencji mieszanki betonowej, która różni się o trzy klasy. Z tego względu autorzy pracy podjęli się próby sprawdzenia

wpływu domieszki stabilizującej na konsystencję mieszanki betonowej. W przypadku pozytywnej skuteczności działania domieszki byłaby możliwość zmiany jej przeznaczenia bez wpływu na pozostałe parametry mieszanki betonowej i stwardniałego betonu. Takie rozwiązanie dawałoby możliwość np. zmniejszenia kosztów związanych z wykonaniem nowej mieszanki w przypadku, kiedy dostępna na budowie nie spełniałaby wymogów związanych z konsystencją.

Na podstawie przeglądu literatury stwierdzono, że wpływ na zmianę konsystencji mieszanki betonowej w poszukiwanym zakresie może mieć domieszka sporządzona na bazie chemicznej w postaci skrobi. Autorzy prac [2, 3] zauważyli, że mieszanka betonowa modyfikowana skrobią charakteryzuje się obniżoną konsystencją przy zachowaniu parametrów betonu cementowego wykonanego z mieszanki referencyjnej. Dodatkowo w pracy [4] autor zauważył, że betony cementowe wykonane z domieszką skrobi wykazują istotnie mniejsze odkształcenia w badaniu pełzania w porównaniu do próbek referencyjnych bez modyfikacji. Jak zauważa autor [5] pracy domieszka w postaci skrobi wpływa na wydłużenie czasu wiązania betonu cementowego.

## Cel i zakres badań

Celem badań było określenie wpływu domieszki stabilizującej na bazie skrobi na zmianę konsystencji mieszanki betonowej.

Zakres badań obejmował wykonanie czterech zarobów mieszanek betonowych tzn. jednego wzorcowego (referencyjnego) wg wcześniej dobranej receptury oraz trzech ze zmienną ilością procentową domieszki stabilizującej. Kolejny etap dotyczył wykonania badań konsystencji mieszanek betonowych metodą opadu stożka wg normy PN-EN 12350-2. Ostatnią część stanowiły badania gęstości wg PN-EN 12390-7:2019-08 oraz wytrzymałości na ściskanie wg PN-EN 12390-3:2019-07 próbek z betonu cementowego wykonanych z czterech różnych mieszanek betonowych.

## Materiały i metodyka badań

Receptura mieszanki betonowej W badaniach jako wzorcową (referencyjną) wykorzystano recepturę

mieszanki betonowej do przygotowywania elementów odwodnienia linowego oraz krawężników wykonanych metodą ślizgową. Projektowana klasa betonu cementowego dla tej mieszanki wynosi C30/37 i spełnia wymagania klas ekspozycji zgodnie z normami PN-EN 206+A1: 2016-12, PN-B-06265:2018-10+Ap1:2019-05. Klasa konsystencji mieszanki betonowej badana metodą opadu stożka wg normy PN-EN 12350-2 wynosi S2 (50-90 ± 20 mm). Stosunek wodno-cementowy W/C jest równy 0,43 a zawartość powietrza w mieszance betonowej jest w przedziale od 4,5% do 6,5%. Skład receptury przeliczany na 1 m<sup>3</sup> wynosi w stosunku do masy cementu: piasek naturalny 0/2 (główny składnik kwarc - 88%) - 39%, kruszywo granitowe 2/8 - 28,8%, kruszywo granitowe 8/16 - 32,2%, cement 12,4%, woda 42,56%, plastyfikator i superplastyfikator redukujący wodę/uplastyczniający oraz domieszka napowietrzająca – łącznie 1,35%. Ze względu na wpływ zawartości powietrza w mieszance betonowej na jej konsystencję (pęcherzyki powietrza działają jak amortyzatory i podnoszą ciekłość mieszanki betonowej [6]) we wszystkich zarobach nie dodano domieszki napowietrzającej. Cement wg receptury to CEM I 42,5 N-NA charakteryzujący się wytrzymałością wczesną po dwóch dniach powyżej 10,0 MPa oraz niską zawartością alkaliów (NA) poniżej 0,6%. W badaniach zastosowano gotową domieszkę stabilizującą na bazie chemicznej w postaci skrobi, która zwiększa stabilność oraz spójność mieszanki betonowej i jest przeznaczona przede wszystkim do produkcji betonów samozagęszczalnych (SCC). Dzięki zastosowaniu domieszki można uzyskać większą jednorodność mieszanki betonowej oraz ograniczyć zjawisko odsączenia wody, a co za tym idzie ograniczyć zjawisko segregacji kruszywa. Zwięk-

sza się również wewnętrzna kohezję, jednakże przy zbyt dużej ilości może nastąpić opóźnienie procesu wiązania betonu cementowego.

## Metodyka badań

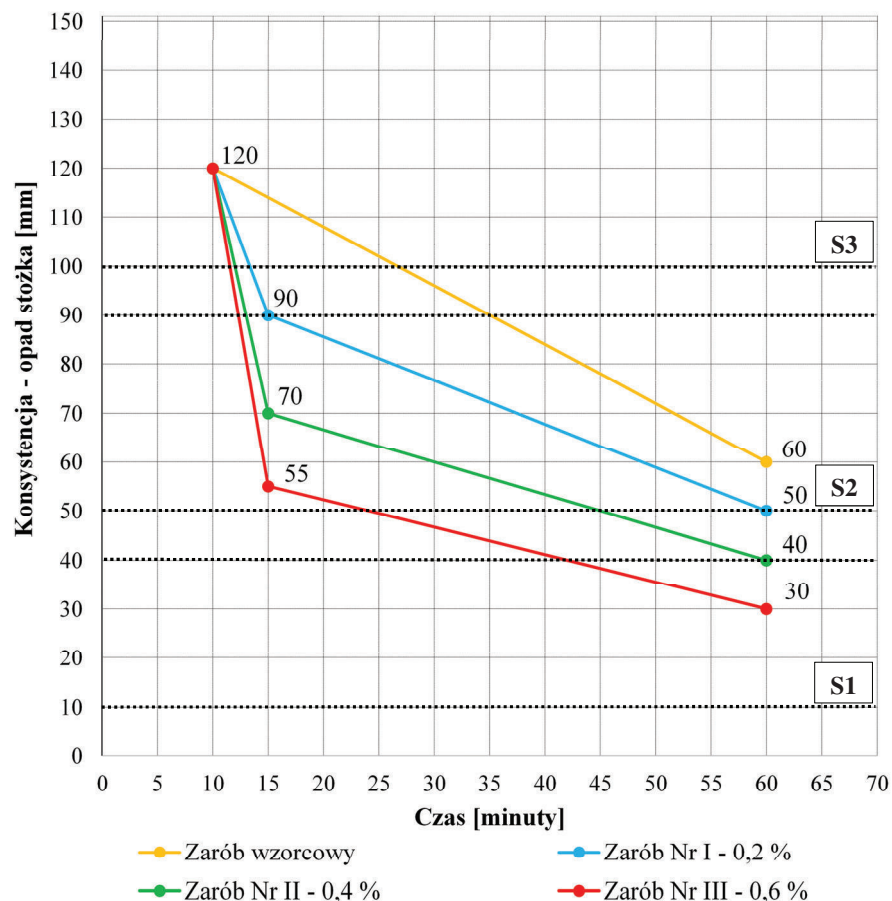
Po wykonaniu zarobów próbnych w celu sprawdzenia czy mieszanka i beton cementowy sporządzony wg przyjętej receptury spełnia przyjęte wymagania rozpoczęto pierwszy etap badań. Przygotowano mieszanki betonowe o objętości 30 dm<sup>3</sup>: wzorcową (referencyjną) oraz trzy z różnym procentowym udziałem domieszki stabilizującej, mianowicie w stosunku do masy cementu (w skrócie m.c.) 0,2%, 0,4% i 0,6%. Po wymieszaniu wszystkich składników, kruszywa, wody, cementu, domieszek wykonywano pomiary konsystencji metodą opadu stożka zgodnie z normą PN-EN 12350-2:2019-07 „Część 2 Badanie konsystencji metodą opadu stożka”. Metoda opadu stożka polega na wypełnieniu formy w kształcie stożka trzema warstwami mieszanki betonowej, gdzie każda warstwa jest równa 1/3 wysokości stożka. Każdą warstwę zagęszcza się 25 uderzeniami pręta. Po zagęszczeniu górnej warstwy powierzchnię mieszanki wyrównuje się, zdejmując formę i mierzy się opad stożka, poprzez oznaczenie różnicy wysokości pomiędzy formą, a najwyższym punktem stożka. Wyróżnia się 5 klas konsystencji wg metody opadu stożka wg tabeli 1. W przypadku mieszanki referencyjnej wykonano dwa pomiary: pierwszy po 10 minu-

Tab. 1. Klasy konsystencji według metody opadu stożka

Klasa	Opad stożka badany zgodnie normą PN-EN 12350-2, [mm]
S1	od 10 do 40
S2	od 50 do 90
S3	od 100 do 150
S4	od 160 do 210
S5	≥220

tach od zetknięcia cementu z wodą, który jest wyznacznikiem konsystencji wyjściowej. Drugi pomiar natomiast po 60 minutach od zetknięcia cementu z wodą, który odwzorowywał czas dostawy mieszanki betonowej na budowę. W przypadku zarobów zawierających domieszkę stabilizującą wykonano trzy oznaczenia konsystencji. Pierwszy po 10 minutach od momentu zetknięcia cementu z wodą. Następnie do mieszanki dodawano domieszkę stabilizującą w ilości 0,2%, 0,4% lub 0,6% w stosunku do masy cementu i mieszano całość przez kolejne 2 minuty. Wówczas wykonywano drugi pomiar konsystencji po upływie 15 minut od chwili zetknięcia cementu z wodą i 5 min od czasu dodania domieszki stabilizującej. Trzeci pomiar konsystencji mieszanki betonowej wykonano po 60 minutach od chwili zetknięcia cementu z wodą (50 min od czasu dodania domieszki stabilizującej).

Drugi etap badań polegał na pobraniu z każdej mieszanki betonowej partii do przygotowania próbek sześciennych (3 sztuki z każdego zarobu) o wymiarach 150x150x150 mm w celu zbadania gęstości i wytrzymałości na ściskanie betonu cementowego. Pobrane próbki wykonano i pielęgnowano zgodnie z normą PN-EN 12390-2:2019-07 „Badania betonu Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych”. Badanie gęstości wykonano na trzech próbkach wykorzystując wagę hydrostatyczną zgodnie z normą PN-EN 12390-7:2019-08 „Części 7 Gęstość betonu” pkt. 6.5 Objętość wyznaczona przez wyparcie wody. Badanie wytrzymałości na ściskanie wykonano z użyciem prasy hydraulicznej dla trzech próbek zgodnie z normą PN-EN 12390-3:2019-07 „Badania betonu Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań”. Za wynik oznaczenia wytrzymałość na ściskanie



1. Wpływ zależności ilości domieszki stabilizującej na konsystencję mieszanki betonowej w czasie wg metody opadu stożka zgodnie z PN-EN 12350-2

$f_c$  [MPa] uznaje się stosunek maksymalnego zmierzonego obciążenia [N] do pola powierzchni próbki [m<sup>2</sup>].

## Wyniki badań i ich analiza

Konsystencja mieszanki betonowej Na rysunku 1 przedstawiono wyniki oznaczania konsystencji mieszanki betonowej metodą opadu stożka w postaci wykresu zależności wysokości stożka od czasu. Analizując wyniki badań można zauważyć, że wraz ze wzrostem ilości domieszki opad stożka jest mniejszy. Wyjściowa konsystencja mieszanki betonowej wynosi 120 mm (klasa S3). W przypadku dodania do mieszanki betonowej domieszki stabilizującej na bazie chemicznej skrobi następuje zmniejszenie opadu stożka (po 15 minutach od chwili zetknięcia cementu z wodą) do klasy S2. Mianowicie zmniejszenie konsystencji wyniosło o 30 mm w przypadku zastosowania stabilizatora w ilości 0,2% m.c, o

50 mm przy zastosowaniu 0,4% m.c. stabilizatora i 65 mm dla zawartości 0,6% m.c. stabilizatora. Po czasie 60 min, czyli odwzorowaniu czasu dostawy mieszanki betonowej na budowę konsystencja zarobu wzorcowego (referencyjnego) wynosi S2 (opad stożka o 60 mm) i podobnie w przypadku mieszanki z zawartością domieszki stabilizującej w ilości 0,2% m.c. (opad stożka o 70 mm). Dla większych zawartościach domieszki, zarób z ilością stabilizatora w ilości 0,4% m.c i 0,6% m.c uzyskuje się klasę konsystencji S1 (odpowiednio dla 0,4% m.c opad stożka wynosi 80 mm i dla 0,6% m.c. jest równy 90 mm). Zanotowano największe zmniejszenie konsystencji bezpośrednio po zastosowaniu (tzn. wymieszaniu w mieszance betonowej) domieszki stabilizującej na bazie chemicznej skrobi. Po 50 minutach od zastosowania domieszki wyniki badań konsystencji mieszanki betonowej różnią się już w znacznie mniejszym

stopniu. Na rysunku 2 przedstawiono otrzymane stożki z mieszanki betonowej.

## Gęstość betonu

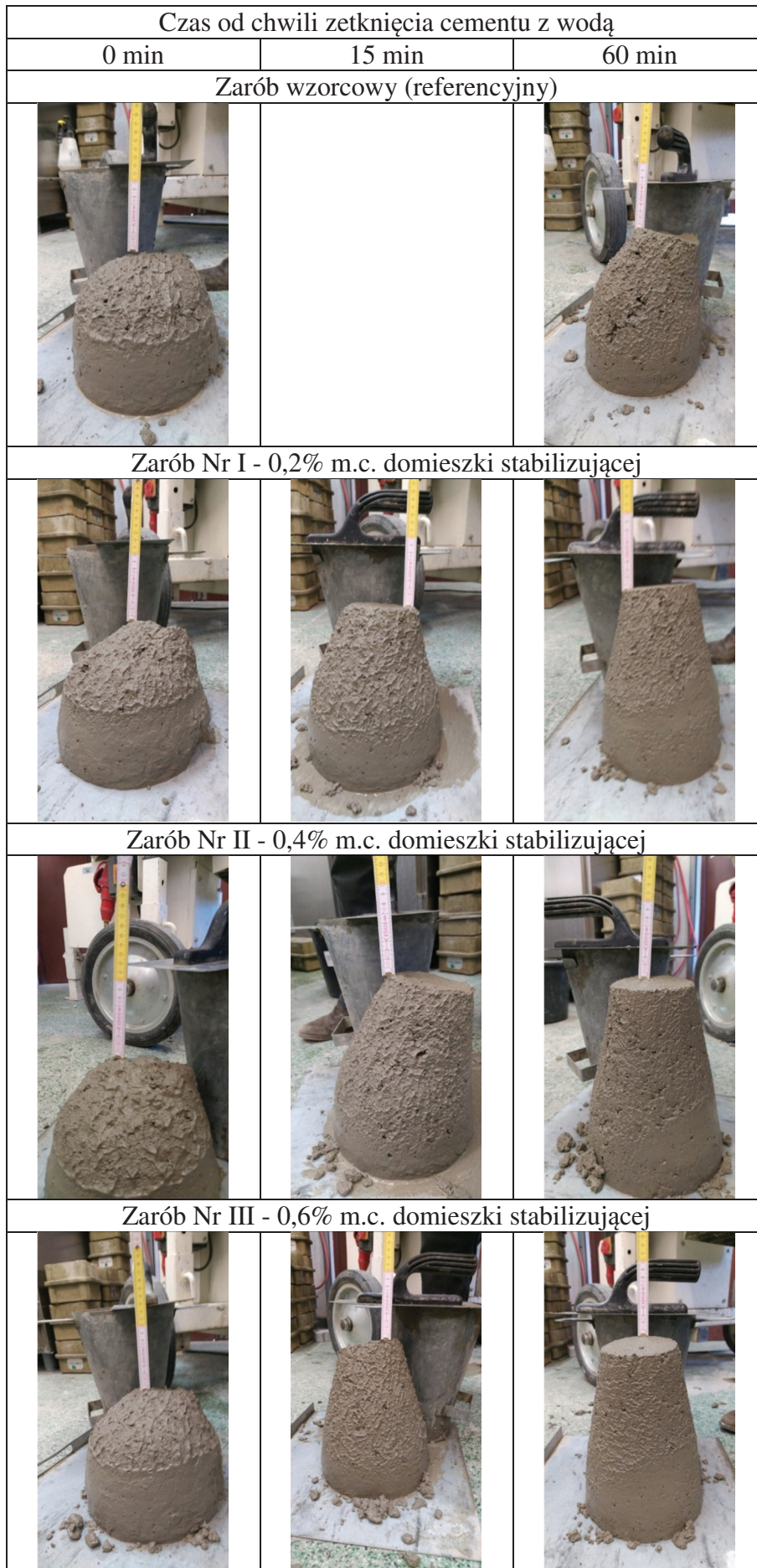
W tabeli 2 zestawiono wyniki oznaczenia gęstości próbek z betonu cementowego uzyskanych z poszczególnych zaborów wg normy PN-EN 12390-7:2019-08. W przypadku wszystkich próbek wartość odchylenia standardowego nie przekracza  $10 \text{ kg/m}^3$ , czyli dokładności z jaką norma nakazuje podawać wyniki oznaczeń. Można zauważyć tendencję do zmniejszenia gęstości betonu cementowego wraz ze wzrostem zawartości domieszki stabilizującej. W przypadku zawartości domieszki w ilości 0,2% m.c. gęstości są praktycznie na tym samym poziomie, natomiast w przypadku zawartości 0,4% i 0,6% m.c. gęstość jest mniejsza o około  $10 \text{ kg/m}^3$ .

## Wytrzymałości na ściskanie

Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie przedstawiono w tabeli 3. Analizując dane można zauważyć, że zastosowanie domieszki stabilizującej nie ma wpływu na zmianę wartości średniej wytrzymałość betonu cementowego na ściskanie  $f_{cm}$ . Uwzględniając wartości odchylenia standardowego wartość  $f_{cm}$  dla wszystkich próbek znajduje się w zakresie 57-62 MPa. Ze względu na uzyskane wartości średniej i minimalnej wytrzymałości na ściskanie z granicy zakresów otrzymane z mieszanek

Tab. 2. Zestawienie wyników badań gęstości betonu cementowego wg PN-EN 12390-7:2019-08

Zarób (mieszanka betonowa)	Średnia gęstość betonu, $[\text{kg/m}^3]$
Zarób wzorcowy	2329±10
Zarób nr I - 0,2% m.c. domieszki stabilizującej	2328±10
Zarób nr II - 0,4% m.c. domieszki stabilizującej	2320±6
Zarób nr III - 0,6% m.c. domieszki stabilizującej	2319±9



2. Fotografie przedstawiające pomiar opadu stożka badanych mieszanek betonowych

**Tab. 3.** Zestawienie wyników badań wytrzymałości na ściskanie wg PN-EN 12390-3:2019-07

Zarób (mieszanka betonowa)	Średnia wytrzymałość betonu na ściskanie $f_{cm}$ [MPa]	Minimalna wartość wytrzymałość ściskanie $f_{cmin}$ [MPa]
Zarób wzorcowy	58,2±0,7	57,4
Zarób nr I - 0,2% m.c. domieszki stabilizującej	60,5±1,2	59,5
Zarób nr II - 0,4% m.c. domieszki stabilizującej	58,4±1,4	57,6
Zarób nr III - 0,6% m.c. domieszki stabilizującej	60,0±1,9	58,8

**Tab. 4.** Klasy wytrzymałości na ściskanie badanych betonów cementowych wg PN-EN 206+A2:2021-8.

Zarób (mieszanka betonowa)	Klasa wytrzymałości na ściskanie
Zarób wzorcowy	C40/50
Zarób nr I - 0,2% m.c. domieszki stabilizującej	C45/55
Zarób nr II - 0,4% m.c. domieszki stabilizującej	C40/50
Zarób nr III - 0,6% m.c. domieszki stabilizującej	C45/50

betony cementowe należą do klasy C40/50 lub C45/55. Klasy wytrzymałości na ściskanie dla każdego z zarobów określone zgodnie z zasadami przedstawionymi w normie PN-EN 206+A2:2021-8 zestawiono w tabeli 4. Próbkę betonów cementowych z zawartością domieszki stabilizującej w ilości 0,2% i 0,6% m.c. charakteryzują się jedną klasą wytrzymałości wyższą niż próbki z zarobu wzorcowego (referencyjnego).

## Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że poprzez odpowiednie zastosowanie domieszki stabilizującej można kontrolować konsystencję mieszanki betonowej przy braku negatywnego wpływu parametry betonu cementowego takie jak gęstość i średnia wytrzymałość na ściskanie.

W przypadku problemów z odpowiednią konsystencją mieszanki betonowej zastosowanie domieszki stabilizującej (zmniejszającej konsystencję) może być sposobem na obniżenie kosztów związanych z koniecznością wykonania nowej mieszanki i co za tym idzie przestoju na placu budowy. Przeprowadzone badania pilotażowe należałoby rozszerzyć o badania napowietrz-

nej mieszanki betonowej, gdyż pęcherzyki powietrza w mieszance betonowej mają znaczny wpływ na konsystencję mieszanki, a w stwardniałym betonie poprawiają parametry trwałościowe. Dodatkowo należałoby przeprowadzić badania mrozoodporności i głębokości penetracji wody pod ciśnieniem oraz oczywiście rozszerzyć zakres badania o betony cementowej o innej klasie np. C30/37.

Z przeprowadzonych badań wpływu dodatku stabilizującego na bazie chemicznej skrobi stwierdzono, że:

- domieszka stabilizująca w ilości 0,2%, 0,4% i 0,6% m.c. ma wpływ na obniżenie konsystencji mieszanki betonowej,
- największe zmniejszanie konsystencji można zauważyć bezpośrednio po zastosowaniu domieszki stabilizującej,
- po 50 minutach od zastosowania domieszki wyniki badań konsystencji mieszanki betonowej różnią się już w znacznie mniejszym stopniu,
- zastosowanie domieszki w ilości 0,6% m.c. umożliwia zmianę konsystencji mieszanki betonowej o dwie klasy z S3 na S1 (po 60 min chwili zetknięcia cementu z wodą),
- zastosowanie domieszki w ilościach od 0,2% do 0,6% m.c. umożliwia natychmiastową zmianę konsystencji mieszanki betonowej o jedną klasę z S3 na S2, a w przypadku większych ilości prawdopodobnie nawet o 2 klasy,
- wyniki badań gęstości betonu cementowego wykazały, że do-

mieszka stabilizująca ma nieznaczny wpływ na jego gęstość, wyniki badań wytrzymałości na ściskanie potwierdzają, że domieszka stabilizująca nie ma negatywnego wpływu na zmianę wartości wytrzymałość na ściskanie betonu. ◀

## Materiały źródłowe

- [1] Dondelewski H., Januszewski M., Betony cementowe zagadnienia wybrane, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2019
- [2] Akindahunsi A.A., Uzoegbo H.C., Strength and Durability Properties of Concrete with Starch Admixture. International Journal of Concrete Structures and Materials, 2015, nr 9, s. 323–335, nr doi:10.1007/s40069-015-0103-x
- [3] Akindahunsi A.A., Uzoegbo H.C. W: Alexander et al. (red.) Use of starch modified concrete as a repair material, Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting III, Taylor & Francis Group, Londyn, 2012, s. 938-943, ISBN 978-0-415-89952-9
- [4] Akindahunsi A.A. Investigation into the use of extracted starch from cassava and maize as admixture on the creep of concrete, Construction and Building Materials, 2019, nr 214, s. 659-667, nr doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.110.
- [5] Łukowski P. Regulacja szybkości wiązania betonu za pomocą domieszek, Inżynier Budownictwa: miesięcznik Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa, 2017, nr 7/8, s. 80-85
- [6] Jamróży Z., Beton i jego technologie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2006