

Alina Pietrzak

## WPLYW DOMIESZEK NAPOWIETRZAJĄCYCH NA WYBRANE PARAMETRY MIESZANKI BETONOWEJ I BETONU

### Wprowadzenie

Beton to materiał konstrukcyjny o bardzo specyficznym charakterze. Z jednej strony to materiał, z którego można kształtować praktycznie dowolne kształty elementów konstrukcyjnych, z drugiej natomiast to materiał przenoszący obciążenia, odpowiedzialny za nośność konstrukcji i jej trwałość.

Beton jest materiałem, dla którego rzeczywiste cechy fizyczne i mechaniczne określa się po 28 dniach, a więc wówczas, gdy materiał został już wbudowany w konstrukcję. Dlatego nigdy nie mamy 100% pewności, jakie właściwości uzyska kompozyt betonowy po okresie dojrzewania. Dlatego tak ważne jest przestrzeganie wszystkich wymagań normowych, poczynając od momentu doboru składników, poprzez wykonanie projektu betonu, kończąc na wbudowaniu mieszanki i pielęgnacji betonu [1, 2].

Projektując skład betonu, należy uwzględnić środowisko, w jakim będzie pracował beton wbudowany do danej konstrukcji. Skład betonu (minimalna ilość cementu w  $\text{kg/m}^3$ , maksymalny stosunek W/C, minimalna klasa wytrzymałościowa, stan napowietrzania) jest uzależniony od wpływu środowiska, który jest charakteryzowany klasami ekspozycji betonu [1].

W normie PN-EN 206-1 wprowadzono cztery klasy ekspozycji (od XF1 do XF4) ze względu na oddziaływanie mrozu na beton. Klasa XF1 to klasa, do której kwalifikuje się betony występujące w środowisku umiarkowanie nasyconym wodą bez środków odladzających, są to przede wszystkim betonowe elementy pionowe. Beton zakwalifikowany do klasy XF2 to beton narażony na działanie czynników atmosferycznych oraz środków odladzających. Poziome powierzchnie betonowe wystawione na działanie deszczu i mrozu (silnie nasycone wodą bez środków odladzających) powinny być wykonane z betonu zakwalifikowanego do klasy XF3. Natomiast betonowe nawierzchnie dróg i mostów, narażone na silne nasycenie wodą oraz odlodzenie środkami chemicznymi, powinny być wykonane z betonu zakwalifikowanego do klasy XF4.

W betonach zakwalifikowanych do klasy XF2, XF3, XF4 wymagane jest napowietrzanie mieszanki betonowej.

Zawartość powietrza w mieszankach betonowych, przeznaczonych w wbudowanie do nawierzchnie drogowe, podana w polskim katalogu [3] jest uzależniona od maksymalnej średnicy ziaren kruszywa. Wartości te podano w tabeli 1.

TABELA 1

**Zawartość powietrza w mieszance betonowej wg polskiego katalogu [3]**

Maksymalna średnica ziaren kruszywa [mm]	Zawartość powietrza w mieszance betonowej [%]			
	bez domieszki upłynniającej		z domieszką upłynniająca	
	średnia dzienna	minimalna	średnia dzienna	minimalna
do 8	5,5	5,0	6,5	6,0
do 16	4,5	4,0	5,5	5,0
do 31,5	4,0	3,5	5,0	4,5

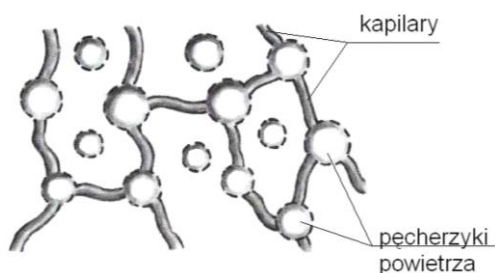
**1. Stosowanie domieszek napowietrzających**

Podstawową cechą charakteryzującą, jakość betonu i jego przydatność do konstrukcji jest wytrzymałość na ściskanie. Jednak o trwałości betonu w konstrukcji decydują również inne cechy takie jak; mrozoodporność, nasiąkliwość, szczelność, ścieralność.

Beton pracujący w środowisku zakwalifikowanym do jednej z klas ekspozycji XF2 - XF4 oraz beton nawierzchni drogowych, lotniskowych, budowli hydrotechnicznych wymagają napowietrzania mieszanki. Zalecana zawartość powietrza w mieszance betonowej napowietrzanej według różnych wymagań powinna wynosić w granicach 4÷6%. W tym napowietrzeniu mieszanki betonowej stosowane są domieszki napowietrzające, których zadaniem jest wytworzenie mikroskopijnych pęcherzyków powietrza o średnicy rzędu 50 µm. Te równomiernie rozłożone pęcherzyki powietrza, które są otoczone warstewką zaczynu cementowego w stwardniałym betonie, przerywają ciągłość kapilar (zmniejszają podciąganie kapilarne wody). Prowadzi to do zmniejszenia nasiąkliwości i zwiększenia tym samym odporność betonu na cykliczne zamrażanie i odmrażanie. Domieszki napowietrzające przez wytwarzanie pęcherzyków w betonie zachowują się jak mikrowypełniacze - posiadają odkształcalność, dzięki temu lepiej się układają w mieszance betonowej. Woda w nasyconym betonie przy przechodzeniu ze stanu ciekłego w stan stały zwiększa swoją objętość i powstający lód wciska się w puste pęcherzyki powietrza (rys. 1).

W elekcie napowietrzania uzyskuje się mieszankę betonową o lepszej urabialności oraz beton bardziej mrozoodporny. Wprowadzenie środków napowietrzających działa również negatywnie na beton, tzn. prowadzi do wzrostu porowatości

betonu, może prowadzić to do zwiększenia nasiąkliwości betonu oraz obniża jego wytrzymałość na ściskanie [2, 5].



Rys. 1. Struktura betonu napowietrzonego, wg [4]

Napowietrzenie mieszanki betonowej prowadzi do zwiększenia ilości powietrza z około 1,5÷2,5% do 4÷6%. Każdy dodatkowo wprowadzony 1% powietrza prowadzi do spadku wytrzymałości o około 4÷5% [2].

## 2. Cel i zakres badań

W celu określenia wpływu domieszki napowietrzającej i mikrokrzemionki na cechy mieszanki betonowej i betonu, korzystając z metody doświadczalnej, zaprojektowano skład mieszanki betonowej, którą następnie poddano modyfikacji polegającej na wprowadzeniu domieszki i dodatku.

Do badań użyto: cementu CEM I 52,5 N HSR NA, piasku, kruszywa żwirowego frakcji 2÷8 mm, kruszywa żwirowego frakcji 8÷16 mm, domieszki napowietrzającej Centrament Air 201, mikrokrzemionki w zawieszynie Centrilit Fume SX.

Dla uzyskanych 3 serii betonów wykonano oznaczenie:

- konsystencji mieszanki betonowej metodą stożka opadowego,
- zawartości powietrza w świeżej mieszance betonowej,
- wytrzymałości na ściskanie po upływie 28 dni,
- mrozoodporności dla 100 cykli zamrażania i rozmrażania.

Wykonano 3 serie badań betonów. Beton kontrolny o stosunku W/C = 0,48 (bez domieszki napowietrzającej i mikrokrzemionki) - seria I. W kolejnych seriach beton kontrolny zmodyfikowano:

- seria II - stosując mikrokrzemionkę w ilości 10% w stosunku do masy cementu,
- seria III - stosując mikrokrzemionki w ilości 10% w stosunku do masy cementu oraz domieszkę napowietrzającą w ilości 1 kg w stosunku do 100 kg cementu (zalecenia producenta 2÷15 g na 1 kg cementu).

Składy mieszanek betonowych wszystkich badanych serii zostały zestawione w tabeli 2.

Dla wszystkich serii betonów wykonano po 6 próbek sześciennych 15x15x15 cm oraz po 12 próbek sześciennych 10x10x10 cm. Po 28-dniowym okresie dojrzewania przeprowadzono badanie wytrzymałości na ściskanie na próbkach 15x15x15 cm, a próbki 10x10x10 cm zważono i poddano 100 cyklom zamrażania i rozmrażania.

TABELA 2

**Składy mieszanek betonowych poszczególnych serii w kg/m<sup>3</sup>**

Seria betonu	Cement [kg/m <sup>3</sup> ]	Woda [l/m <sup>3</sup> ]	Kruszywo [kg/m <sup>3</sup> ]	Domieszka napowietrzająca		Mikrokrzemionka	
				[%]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]	[kg/m <sup>3</sup> ]
I	473,17	226,02	1626,02	–	–	–	–
II	473,17	202,02	1596,53	–	–	10	47,32
III	473,17	197,64	1596,53	1	4,73	10	47,32

**3. Wyniki badań**

Badania mieszanki betonowej przeprowadzono wg:

- konsystencja - PN-EN 12350-2
- zawartość powietrza - PN-EN 12350-7

Badania betonu przeprowadzono wg:

- wytrzymałość na ściskanie - PN-EN 12390-1; PN-EN 12390-2; PN-EN 12390-3; PN-EN 12390-4
- mrozoodporność - PN-88/B-06250

Wyniki wyżej wymienionych badań zamieszczono w tabelach 3-5.

TABELA 3

**Wyniki pomiarów konsystencji metodą opadu stożka oraz zawartości powietrza w świeżej mieszance betonowej**

Seria betonu	Opad stożka [mm]	Klasa konsystencji	Procentowa zawartość powietrza
I	160	S4	1,98
II	58	S2	2,02
III	36	S1	4,73

TABELA 4

**Wyniki pomiarów wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania**

Seria betonu	Wytrzymałość na ściskanie $f_{ci}$ [MPa]	Wartość średnia $f_{cm}$ [MPa]	Spadek (-) lub przyrost (+) wytrzymałości w stosunku do betonu kontrolnego [%]
I	$f_{c1}$ - 62,8 $f_{c2}$ - 66,2 $f_{c3}$ - 60,2	63,07	-
II	$f_{c1}$ - 66,0 $f_{c2}$ - 69,4 $f_{c3}$ - 67,9	67,77	+7,45
III	$f_{c1}$ - 62,8 $f_{c2}$ - 66,2 $f_{c3}$ - 60,2	61,77	-2,06

TABELA 5

**Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie próbek poddanych 100 cyklom zamrożeń i rozmrożeń oraz ich próbek kontrolnych**

Seria betonu	Próbki kontrolne		Próbki po 100 cyklach zamrażeń - rozmrażeń		Procentowe zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie
	$f_{ci}$ [MPa]	Wartość średnia $f_{cm}$ [MPa]	$f_{ci}$ [MPa]	Wartość średnia $f_{cm}$ [MPa]	
I	$f_{c1}$ - 71,58 $f_{c2}$ - 60,56 $f_{c3}$ - 62,00 $f_{c4}$ - 59,64 $f_{c5}$ - 63,34 $f_{c6}$ - 63,74	63,48	$f_{c1}$ - 61,59 $f_{c2}$ - 56,13 $f_{c3}$ - 55,31 $f_{c4}$ - 54,49 $f_{c5}$ - 60,36 $f_{c6}$ - 59,12	57,83	-8,89
II	$f_{c1}$ - 58,30 $f_{c2}$ - 64,17 $f_{c3}$ - 70,86 $f_{c4}$ - 68,80 $f_{c5}$ - 61,70 $f_{c6}$ - 67,88	65,28	$f_{c1}$ - 55,00 $f_{c2}$ - 63,76 $f_{c3}$ - 64,58 $f_{c4}$ - 65,82 $f_{c5}$ - 59,64 $f_{c6}$ - 63,04	61,97	-5,07
III	$f_{c1}$ - 58,00 $f_{c2}$ - 69,00 $f_{c3}$ - 54,38 $f_{c4}$ - 68,19 $f_{c5}$ - 63,76 $f_{c6}$ - 62,62	62,66	$f_{c1}$ - 59,95 $f_{c2}$ - 63,45 $f_{c3}$ - 61,70 $f_{c4}$ - 66,44 $f_{c5}$ - 59,64 $f_{c6}$ - 57,68	61,48	-1,88

## Wnioski

Mieszanka betonowa serii I posiada konsystencję S4. Dodanie mikrokrzemionki i domieszki napowietrzającej spowodowało uzyskanie mieszanek betonowych serii II i serii III odpowiednio o konsystencjach S1 i S2.

Zawartość powietrza w mieszance betonowej serii kontrolnej I wyniosła 1,98%. Dodanie mikrokrzemionki w zawieszynie Centrilit Fume SX w ilości 10% masy cementu (seria II) w niewielkim stopniu wpłynęło na wzrost zawartości powietrza (2,02%). Równoczesne dodanie mikrokrzemionki w ilości 10% masy cementu oraz domieszki napowietrzającej Centroment Air 201 w ilości 1% masy cementu spowodowało uzyskanie mieszanki betonowej o zawartości powietrza 4,73%.

Beton kontrolny (seria I) uzyskał średnią wytrzymałość na ściskanie  $f_{cm} = 63,07$  MPa. Dodanie mikrokrzemionki seria II spowodowało wzrost wytrzymałości na ściskanie w stosunku do betonu kontrolnego o 7,45%. Beton serii III uzyskał średnią wytrzymałość na ściskanie  $f_{cm} = 61,77$  MPa. Jest to wartość niższa o 2,06% w stosunku do średniej wytrzymałości betonu kontrolnego. Oznacza to, że domieszka napowietrzająca poprzez wprowadzenie do mieszanki betonowej dodatkowego powietrza spowodowała nieznaczny spadek wytrzymałości betonu.

W badaniu mrozoodporności dla wszystkich serii betonów uzyskano zerowy ubytek masy po 100 cyklach zamrożeń i rozmrożeń. Dla betonu kontrolnego po badaniu mrozoodporności nastąpił spadek wytrzymałości o 8,89% w stosunku do próbek świadków niepodlegającym cyklom. Beton z dodatkiem mikrokrzemionki uzyskał po 100 cyklach zamrożeń i rozmrożeń spadek wytrzymałości rzędu 5,07% w stosunku do próbek świadków. Najbardziej odpornym betonem na cykle zamrażania i rozmrażania był beton serii III, w którym zastosowano mikrokrzemionkę i domieszkę napowietrzającą. Beton ten uzyskał najmniejszy spadek wytrzymałości równy 1,88%.

W przypadku betonu z domieszką napowietrzającą stwierdzono, że zwiększenie odporności na cykliczne zamrażanie i odmrażanie prowadzi równocześnie do zmniejszenia wytrzymałości betonu, dlatego należy uwzględnić ten fakt w trakcie projektowania betonu, który będzie w swym składzie zawierał tego typu domieszki.

## Literatura

- [1] PN-EN 206-1 Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [2] Rajczyk J., Halbiniak J., Langier B., Technologi kompozytów betonowych w laboratorium i praktyce, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2012.
- [3] Katalog typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych, GDDP, Warszawa 2001.
- [4] Łukowski P., Domieszki do zapraw i betonów, Stowarzyszenie Producentów Cementów, Kraków 2008.
- [5] Neville A.M., Właściwości betonu, Polski Cement, Kraków 2000.

## Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę wpływu domieszki napowietrzającej na wybrane cechy mieszanki betonowej oraz betonu. Korzystając z metody doświadczalnej, zaprojektowano skład mieszanki betonowej z zastosowaniem cementu CEM I 52,5 N, którą następnie zmodyfikowano przy użyciu domieszki napowietrzającej oraz mikrokrzemionki. Dla wszystkich uzyskanych serii betonów wykonano badania: konsystencji mieszanki betonowej metodą opadu stożka; zawartość powietrza w świeżej mieszance betonowej; wytrzymałość na ściskanie betonu po upływie 28 dni; mrozoodporność dla 100 cykli zamrażania i rozmrażania.

### **Entraining admixtures influence on selected parameters of concrete mix and concrete**

#### **Abstract**

In these paper presented the analysis of the effect of air-entraining admixtures on the selected characteristics of concrete mix and high-value concrete. Using the experimental method, the composition of concrete mix of cement CEM I 52,5 N is designed, which is then modified with air-entraining admixture and microsilica admixture. The indications are made for all acquired series: the consistens of the concrete mix method of the fall of the cone; the content of fresh air in the concrete mix; the compressive strength after 28 days; the freeze resistance for 100 cycles of freezing and thawing.