CZASOPISMO INŻYNIERII LĄDOWEJ, ŚRODOWISKA I ARCHITEKTURY
JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENT AND ARCHITECTURE
JCEEA, t. XXXIII, z. 63 (1/I/16), styczeń-marzec 2016, s. 77-86

Brygida AUGUSTYNIOK[1]
Grzegorz NOWOWIEJSKI[2]

PRÓBY TECHNOLOGICZNE WYKONANIA BETONÓW OSŁONOWYCH W WYTWÓRNI BETONU TOWAROWEGO

W artykule przedstawiono badania technologiczne betonów dla osłon przed promieniowaniem jonizującym. Betony zostały skomponowane z kruszyw magnetytowych, serpentynitowych i barytowych. Celem tej części badań było zapewnienie odpowiedniej urabialności, wytrzymałości na ściskanie oraz ograniczenie skurczu. W artykule zaprezentowano 8 różnych kompozycje mieszanek. Betony dojrzewały w warunkach normowych do 90 dni i oznaczone zostały wytrzymałość na ściskanie i skurcz. Stwierdzono, że mieszanki B12, B14, B18 są najmniej odpowiednie dla kolejnego etapu badań.

Słowa kluczowe: beton ciążki, kruszywo magnetytowe, kruszywo barytowe, kruszywo serpentynitowe, wytrzymałość na ściskanie, skurcz betonu

1. Wprowadzenie

Wymagania w stosunku do betonów osłonowych dotyczą różnych właściwości, zależnie od rozmaitych zastosowań betonu w obiektach energetyki jądrowej, składach materiałów i odpadów promieniotwórczych i in.

Podstawowym wymaganiem jest ochrona personelu i otoczenia przed strumieniem neutronów i promieniowaniem gamma. Betony z odpowiednio dobranych kruszyw są głównym materiałem do różnych konstrukcji osłon zewnętrznych w stosunku do powłoki stalowej i ewentualnie ołowianej.

Materiały o wysokiej gęstości zatrzymują promieniowanie gamma, więc ciężkie kruszywa są tu niezbędne. Również hamowanie strumieni neutronów prędkich odbywa się w takich kruszywach. Natomiast materiały zawierające

[1] Autor do korespondencji/corresponding author: Brygida Augustyniok, Hydrobudowa-1 Betoniarnia-Laboratorium Sp. z o.o., Chlubna 7, 03-054 Warszawa, tel. 662 108 171, b.augystyniok@hydrobudowa1.pl

[2] Grzegorz Nowowiejski, Hydrobudowa-1 Betoniarnia-Laboratorium Sp. z o.o., Chlubna 7, 03-054 Warszawa, tel. 606 757 267, g.nowowiejski@hydrobudowa1.pl

wodór są potrzebne do hamowania powolnych i termicznych neutronów. W zwykłym betonie potrzebne jest ok. 0,45% wodoru, co odpowiada ok. 4% wody. Ponieważ w całkowicie dojrzałym betonie nie ma dostatecznej ilości wody, to używane są kruszywa zawierającego związki wodoru (H), np. serpentynit [1], [2]. Zawartość chemicznie związanej wody w kruszywie serpentynitowym wynosi 12% co w przypadku zastosowania kruszyw w ilości 400 kg odpowiada 48 litrom wody. Zwiększenie ilości wody w mieszance betonowej o około 50 litrów powoduje znaczne zwiększenie wskaźnika wodno-cementowego a co za tym idzie obniżenie wytrzymałości na ściskanie betonu a przede wszystkim jego szczelności. Dodatkowo należy pamiętać, że część dodanej wody nie pozostanie w betonie ulegając odparowaniu.

W elementach betonowych, pełniących funkcje osłonowe oprócz doboru odpowiednich materiałów konieczne jest zapewnienie szczelności oraz jednorodności elementu, stosownie do jego usytuowania. Należy zatem spełnić wymagania technologiczne, co oznacza, że konsystencja betonu powinna umożliwić prawidłowe wykonanie i zagęszczenie mieszanki. Dodatkowo, z uwagi na zwykle masywny charakter osłon, ważnym parametrem betonu osłonowego jest jego skurcz, który zbyt duży może doprowadzić do zarysowania konstrukcji.

Wykonanie osłon z betonów ciężkich wymaga specjalnej technologii przygotowania mieszanin, ponieważ dobra urabialność jest trudniej osiągalna niż w przypadku zwykłych betonów konstrukcyjnych. Stwarza to konieczność podjęcia prac w celu uzyskania odpowiednich kompozycji betonów osłonowych i szczególnie starannego ich projektowania, uwzględniając oprócz efektów osłony przed różnymi rodzajami promieniowania także wymagania technologiczne oraz zastosowane składniki [1].

Należy również zwrócić uwagę na fakt, że gęstość objętościowa betonów osłonowych jest dużo wyższa od gęstości zwykłych betonów towarowych, co ma znaczny wpływ na mieszanie składników, transport mieszanki betonowej i wreszcie jej układanie w deskowanie i wywierane parcie.

2. Opis metod doświadczalnych

2.1. Materiały i próbki

Program badań obejmował zaprojektowanie i wykonanie 8 betonów przy zastosowaniu kruszyw magnetytowych z Kiruny w Szwecji, barytowych z niemieckiej kopalni w Wolfach oraz serpentynitowych z Nasławic. Zastosowano cement hutniczy o niskim cieple hydratacji siarczanoodporny niskoalkaliczny CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA wyprodukowany na potrzeby Projektu „Atomshield” w Oddziale Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie. Z wymienionych materiałów zaprojektowano składy mieszanek betonowych. Mieszanki zaprojektowano dla wskaźnika wodno-cementowego około 0,48 i ilości cementu około 340 kg/m^{3}przy możliwie zbliżonym uziarnieniu. Projektowana klasa wy-

trzymałości na ściskanie po 28 dniach C30/37. Należy jednak zaznaczyć, że wytrzymałość na ściskanie miała charakter drugorzędny a determinowana była przez ilość cementu i wartość wskaźnika wodno-cementowego potrzebne do uzyskania betonu o niskim skurczu i odpowiedniej szczelności.

Zaroby próbne wykonano w węźle betoniarskim Stetter o pojemności zasypowej 0,75 m^3. Po wykonaniu zarobów próbnych za pomocą normowych metod określono konsystencję mieszanki betonowej przy użyciu stożka opadowego, gęstość objętościową mieszanki oraz jej temperaturę. Wykonano próbki sześcienne o boku 150mm do badań wytrzymałości na ściskanie betonu oraz próbki o wymiarach 100x100x500 mm do badań skurczu betonu. Próbki były przechowywane w normowo określonych warunkach wysokiej wilgotności i stałej temperatury do chwili badania wg. PN-EN 12390-2:2011. Składniki i właściwości mieszanek betonowych przedstawiono w Tabelach 1, 2.

Przy wykonywaniu mieszanek betonowych założono konsystencję S3/S4 (wg. PN-EN 206), tj. 12 – 18 cm opadu stożka. Na podstawie wykonanych wcześniej badań laboratoryjnych przyjęto ilości domieszek mające zapewnić odpowiednią urabialność mieszanek betonowych. W przypadku mieszanek z kruszywem serpentynitowym ilość domieszek potrzebna do uzyskania urabialnej mieszanki była dużo wyższa niż dla mieszanek bez kruszywa serpentynitowego. Zastosowanie dwóch superplastyfikatorów wynikało z trudności w uzyskaniu odpowiedniej konsystencji przy jednoczesnym stałym wskaźniku wodno-cementowym.

Tabela 1. Skład i właściwości mieszanek betonowych – Część 1

Table 1. Mix design, fresh mix properties – Part 1

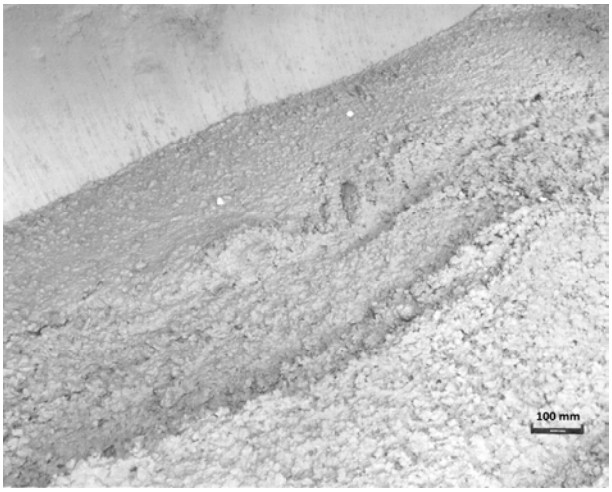
Skład [kg/m^3]	**B11**	**B12**	**B13**	**B14**
Cement CEM III/A 42,5N LH/HSR/NA	341	341	342	344
Piasek 0-2 mm	361	361	362	365
Kruszywo serpentynitowe 0-2 mm	-	266	-	-
Kruszywo serpentynitowe 2-8 mm	-	885	473	477
Kruszywo serpentynitowe 8-16 mm	-	266	-	477
Kruszywo magnetytowe 0-5,6 mm	816	-	753	879
Kruszywo magnetytowe 0-16mm	1796	-	994	-
Superplastyfikator 1	0,99	1,92	1,45	-
Superplastyfikator 2	1,02	5,11	-	1,46
Woda	163	163	164	165
Gęstość objętościowa [kg/m^3]	3479	2289	3089	2708
Opad stożka [mm]	120	20	20	20
Temperatura [°C]	20	15	11	14
w/c	0,48	0,49	0,48	0,48

Tabela 2. Skład i właściwości mieszanek betonowych – Część 2

Table 2. Mix design, fresh mix properties – Part 2

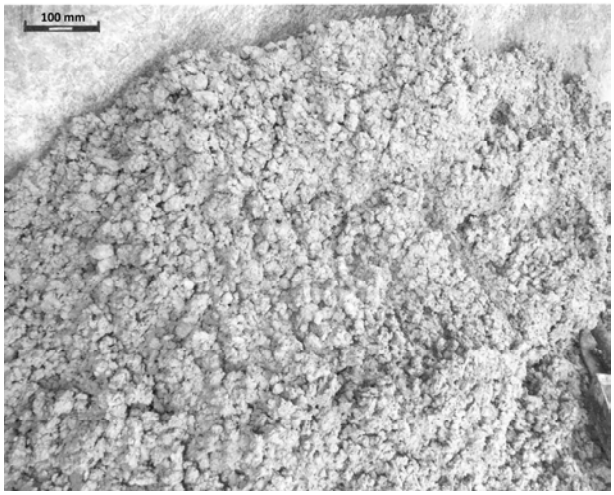
Skład [kg/m^3]	**B15**	**B16**	**B17**	**B18**
Cement CEM III/A 42,5N LH/HSR/NA	337	342	336	345
Piasek 0-2 mm	-	363	356	365
Kruszywo serpentynitowe 2-8 mm	-	-	466	776
Kruszywo serpentynitowe 8-16 mm	-	-	-	179
Kruszywo barytowe 0-16mm	2828	2298	1504	771
Superplastyfikator 1	0,98	0,61	1,76	1,94
Superplastyfikator 2	-	-	-	3,1
Woda	162	164	161	165
Gęstość objętościowa [kg/m^3]	3328	3168	2825	2606
Opad stożka [cm]	190	180	40	100
Temperatura [°C]	19	18	18	18
w/c	0,48	0,48	0,48	0,49

Na zdjęciach rys. 1 – 3 przedstawione zostały trzy różne mieszanki charakterystyczne dla programu badań: mieszanka betonowa wykonana przy zastosowaniu kruszywa ciężkiego (magnetyt) – Fot. 1, mieszanka wykonana przy zastosowaniu kruszywa zawierającego związki wodoru (serpentynit) – Fot. 2 oraz mieszanka wykonana przy zastosowaniu zarówno kruszywa ciężkiego (baryt) jak i zawierającego związki wodoru (serpentynit) – Fot. 3.



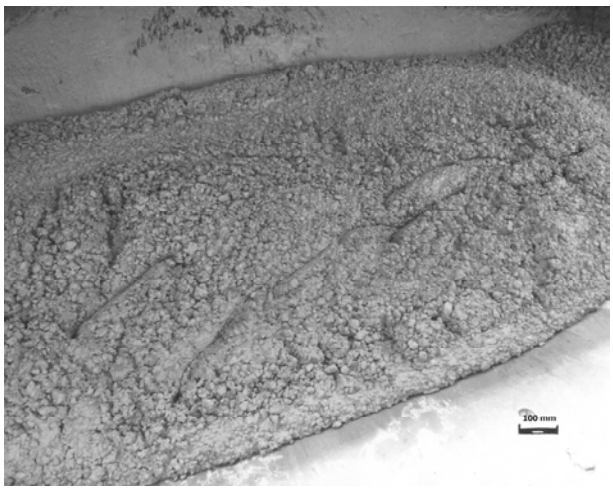
Rys. 1. Mieszanka betonowa B11 – piasek, kruszywo magnetytowe – konsystencja 120 mm

Fig. 1. Concrete mixture B11 – sand, magnetite aggregate – consistency 120 mm



Rys. 2. Mieszanka betonowa B12 – piasek, kruszywo serpentynitowe – konsystencja 20 mm

Fig. 2. Concrete mixture B12 – sand, serpentinite aggregate – consistency 20 mm



Rys. 3. Mieszanka betonowa B18 – piasek, kruszywo serpentynitowe, kruszywo barytowe – konsystencja 100 mm

Fig. 3. Concrete mixture B18 – sand, serpentinite aggregate, barite aggregate – consistency 100 mm

Dla wykonanych mieszanek betonowych uzyskano duże różnice w konsystencji mierzonej za pomocą opadu stożka. Wynosiły one od 20 do 190 mm. Różnica w konsystencji pomiędzy poszczególnymi mieszankami wynikała

z przemysłowej technologii mieszania składników. W niektórych przypadkach przyjęte wcześniej ilości domieszek okazywały się niewystarczające do otrzymania projektowanej konsystencji jednak technologia mieszania składników w węźle betoniarskim wyklucza dodawanie domieszek do gotowej już mieszanki betonowej. Tym bardziej, że domieszka dodawana bez wody zarobowej nie działa w optymalny sposób. Należy jednak zaznaczyć, że wszystkie mieszanki wykazywały odpowiednią urabialność pozwalającą na układanie ich w deskowaniach.

2.2. Metody badań

Badania właściwości mieszanki betonowej przeprowadzono metodami normowymi: badanie konsystencji metodą opadu stożka wg PN-88/B-06250 lub PN-EN 12350-2, badanie gęstości objętościowej wg PN-EN 12350-6

Badanie wytrzymałości na ściskanie sześciennych próbek betonowych wykonano po upływie 28 dni, 56 dni oraz 90 dni od wykonania betonów. Do badań wykorzystano maszynę wytrzymałościową klasy I typu Dr MB-300, stosując normową metodę badania na ściskanie wg PN-EN 12390-3. W każdym terminie badane były trzy próbki. Próbki były wykonane, przechowywane i badane w akredytowanym Laboratorium badawczym „Hydrobudowy-1 Betoniarnia – Laboratorium" Sp. z o.o.

Badanie skurczu betonu wykonano wg. Procedury HB-1 (IB-24) - wilgotność 65%, T = 18 ± 2°C (Rys. 4)

Rys. 4. Badanie skurczu betonu – stanowisko badawcze wg. Procedury IB-24

Fig. 4. Testing concrete shrinkage – test position by procedure IB-24

3. Wyniki badań

Wyniki badań przedstawiono w Tabelach 3, 4 oraz na Rys. 5, 6. Podane wartości są wartościami średnimi z trzech badań.

Tabela 3. Średnie wyniki badań – Część 1

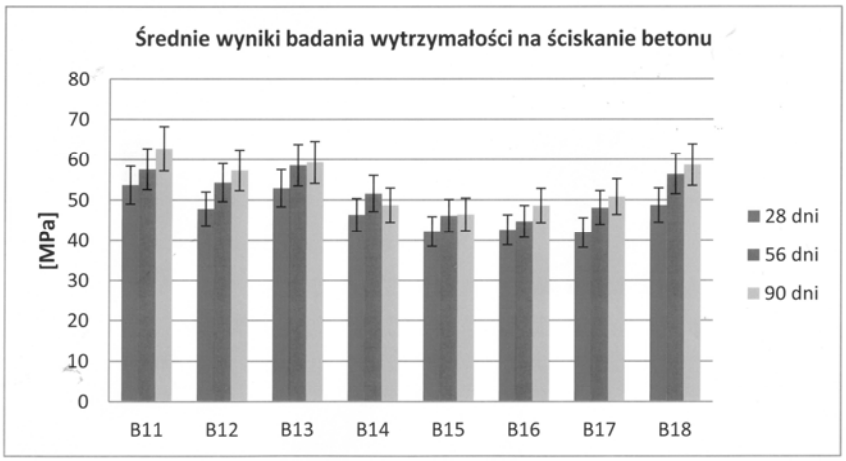
Table 3. Average testing results – Part 1.

	B11	**B12**	**B13**	**B14**
Wytrzymałość na ściskanie				
po 28 dniach [MPa]	53,7 ± 4,7	47,8 ± 4,2	52,9 ± 4,6	46,3 ± 4,1
po 56 dniach [MPa]	57,6 ± 5,0	54,3 ± 4,7	58,6 ± 5,1	51,6 ± 4,5
po 90 dniach [MPa]	62,7 ± 5,5	57,3 ± 5,0	59,3 ± 5,2	48,7 ± 4,2
Skurcz:				
po 7 dniach [mm/m]	0,15±0,01	0,31±0,02	0,23±0,01	0,25±0,01
po 14 dniach [mm/m]	0,29±0,01	0,49±0,02	0,36±0,02	0,42±0,02
po 21 dniach [mm/m]	0,35±0,02	0,63±0,03	0,40±0,02	0,52±0,03
po 28 dniach [mm/m]	0,38±0,02	0,68±0,03	0,46±0,02	0,56±0,03
po 56 dniach [mm/m]	0,46±0,02	0,83±0,04	0,57±0,03	0,66±0,03
po 90 dniach [mm/m]	0,49±0,02	0,84±0,04	0,62±003	0,71±0,04

Tabela 4. Średnie wyniki badań – Część 2

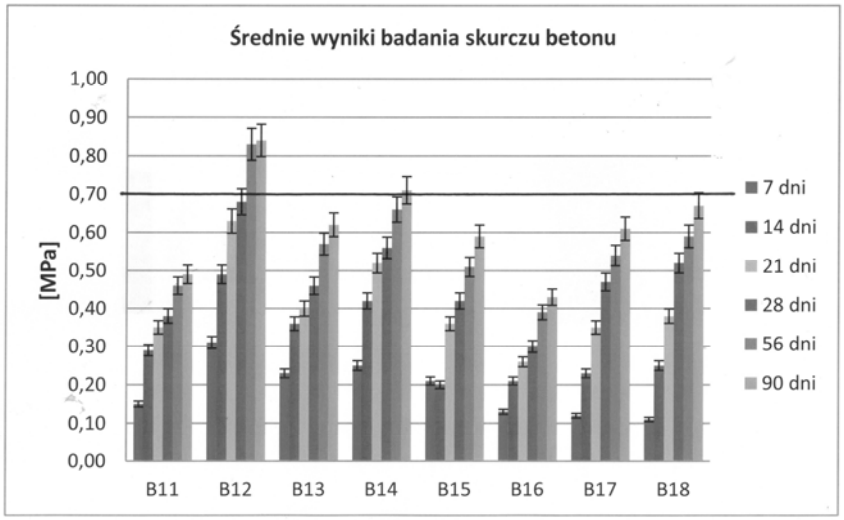
Table 4. Average testing results – Part 2.

	B15	**B16**	**B17**	**B18**
Wytrzymałość na ściskanie:				
po 28 dniach [MPa]	42,2 ± 3,7	42,6 ± 3,7	41,9 ± 3,7	48,7 ± 4,2
po 56 dniach [MPa]	46,1 ± 4,0	44,7 ± 3,9	48,1 ± 4,2	56,4± 4,9
po 90 dniach [MPa]	46,4 ± 4,0	48,6 ± 4,2	50,8 ± 4,4	58,7 ± 5,1
Skurcz:				
po 7 dniach [mm/m]	0,21±0,01	0,13±0,01	0,12±0,01	0,11±0,01
po 14 dniach [mm/m]	0,30±0,01	0,21±0,01	0,23±0,01	0,25±0,01
po 21 dniach [mm/m]	0,36±0,02	0,26±0,01	0,35±0,02	0,38±0,02
po 28 dniach [mm/m]	0,42±0,02	0,30±0,01	0,47±0,02	0,52±0,03
po 56 dniach [mm/m]	0,51±0,03	0,39±0,02	0,54±0,03	0,59±0,03
po 90 dniach [mm/m]	0,59±0,03	0,43±0,02	0,61±0,03	0,67±0,03



Rys. 5. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie

Fig. 5. Average testing results of concrete's compressive strength



Rys. 6. Wyniki badań skurczu betonu - linia pozioma – przyjęta zwyczajowo dopuszczalna wartość skurczu 0,7 mm/m

Fig. 6. Average testing results of concrete shrinkage - horizontal line - established by custom permissible shrinkage value of 0.7 mm / m

Dla wszystkich wykonanych betonów po upływie 28 dni uzyskano projektowaną klasę C30/37. Wartości wytrzymałości na ściskanie betonu zależą od rodzaju zastosowanego kruszywa a w zasadzie od jego wytrzymałości. Najwyższe wytrzymałości otrzymano dla betonów z dużą ilością kruszywa magnetytowego a najniższe dla betonów z dużą ilością kruszywa barytowego.

W sześciu betonach wartość skurczu po 90 dniach nie przekracza przyjętej zwyczajowo wartości dopuszczalnej, tj. 0,7 mm/m.

Wartości skurczu zależą od rodzaju zastosowanego kruszywa i są największe dla betonów z kruszywem serpentynitowym. Im więcej kruszywa serpentynitowego tym większy skurcz betonu. Betony z kruszywem magnetytowym i barytowym charakteryzują się podobnym skurczem. Zastąpienie około 20% objętości kruszywa barytowego piaskiem spowodowało zmniejszenie skurczu po 90 dniach o prawie 30%.

4. Wnioski

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- Konsystencja mieszanki betonowej według opracowanych receptur umożliwia jej transport i wbudowanie w czasie odpowiadającym wymaganiom przemysłowej technologii betonu;
- Przy zastosowaniu kruszywa magnetytowego oraz piasku można uzyskać mieszankę betonową o gęstości około 3500 kg/m^3;
- Do mieszanek betonowych wykonanych z zastosowaniem kruszywa serpentynitowego należy stosować dużą ilość domieszki upłynniającej;
- Mieszanki z kruszywem serpentynitowym charakteryzują się niską konsystencją, nawet przy zastosowaniu dużej ilości domieszki upłynniającej. Należy brać to pod uwagę w przypadku wbudowywania mieszanki w szalunek a w szczególności przy transporcie i podawaniu mieszanki betonowej w deskowanie;
- W żadnej mieszance betonowej ani w próbkach betonowych nie zauważono rozsegregowania kruszyw;
- Z uwagi na trudności z uzyskaniem odpowiedniej konsystencji w mieszankach z dużą ilością kruszywa serpentynitowego oraz duży skurcz betonu przed kolejnym etapem badań odrzucono mieszanki B12, B14, B18.

Referat został przygotowany w ramach Projektu „Trwałość i skuteczność betonowych osłon przed promieniowaniem jonizującym w obiektach energetyki jądrowej”, PBSII/A2/15/2014.

Literatura

[1] Brandt Andrzej M., Jóźwiak-Niedźwiedzka Daria, Nowowiejski Grzegorz, Denis Piotr, Wyniki badania betonu osłonowego z kruszywem magnetytowym, Konferencja Dni Betonu, 13-15 Października 2014, Wisła, 839 – 850.

[2] Alexander M., Mindess S. (2005) Aggregates in concrete. Taylor & Francis, 435.

TESTING THE TECHNOLOGICAL PERFORMANCE CONCRETE SHIELDS IN CONCRETE PLANT

S u m m a r y

In the paper the technological tests of concretes for shields against ionizing radiation are presented. The concretes were composed with magnetite, serpentinite and barite aggregates. The aim of this part of investigations was to ensure necessary workability and strength and to limit shrinkage. In the paper 8 various mixture compositions are presented. Concretes were aged at standard conditions up to 90 days and compressive strength and shrinkage were determinated. In conclusion the compositions B12, B14, B18 are less appropriale for the next stage of the experiments.

Keywords: heavy concrete, magnetite aggregate, barite aggregate, serpentinite aggregate, compressive strength, shrinkage of concrete

Przesłano do redakcji: 07.06.2016 r.
Przyjęto do druku: 30.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.9