

Halina Garbalińska¹, Beata Marciniak²

OCENA WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE BETONÓW RÓŻNEGO RODZAJU WYZNACZANEJ NA PRÓBKACH PROSTOPADŁOŚCIENNYCH

Wprowadzenie

Wymiary i kształty próbek przeznaczonych do badania cech wytrzymałościowych stwardniałego betonu są szczegółowo określone w odpowiednich normatywach. Elementy próbne wykorzystywane do badań wytrzymałości na ściskanie mają kształt sześciątów i walców o wymiarach nominalnych podanych w normie [1]. Podstawę klasyfikacji betonu stanowi wytrzymałość charakterystyczna na ściskanie określana w 28 dniu dojrzewania na próbkach walcowych o średnicy 150 mm i wysokości 300 mm lub na próbkach sześciennych o boku 150 mm. Norma [1] dopuszcza jednak badania na elementach o mniejszych bądź większych wymiarach.

Jednak w takiej sytuacji należy uwzględnić fakt, że próbki przeznaczone do badań niszczących, mimo że zostaną wykonane z tej samej mieszanki betonowej, dostarczą innych wyników z badań wytrzymałościowych, zależnych zarówno od kształtu, jak i wielkości elementów próbnych.

Problem ten ma istotne znaczenie podczas badań prowadzonych np. na próbkach rdzeniowych pobieranych bezpośrednio z konstrukcji. Niekiedy nie ma możliwości uzyskania elementu próbnego o wymiarach wymaganych przez normę [2]. W sytuacji gdy charakteryzuje się on mniejszym wymiarem od wymaganego, staje się bezużyteczny, jeśli w dyspozycji nie ma określonych przeliczników dotyczących zależności wytrzymałości od wielkości próbki. Podczas lokalizowania odwiertów należy kierować się zasadą ograniczenia możliwych skutków osłabienia konstrukcji. Co za tym idzie - minimalizuje się ilość i wielkość pobieranych próbek. Dlatego niezwykle istotne jest ustalenie zależności pozwalających określić wpływ wielkości próbki na jej miarodajne parametry wytrzymałościowe. Problem skali w badaniach wytrzymałościowych w odniesieniu do próbek walcowych podjęto w pracy [3],

¹ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury, al. Piastów 50, 70-311 Szczecin, e-mail: Halina.Garbalińska@zut.edu.pl

² Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury, al. Piastów 50, 70-311 Szczecin, e-mail: Beata.Marciniak@zut.edu.pl

natomiast w odniesieniu do próbek prostokątnych rozpatrzono w pracy [4]. W niniejszym artykule przedstawiono zrealizowane w [4] badania porównawcze dotyczące próbek o trzech różnych wymiarach (10 x 10 x 10 cm, 15 x 15 x 15 cm, 4 x 4 x 16 cm), wykonanych z betonów według czterech różnych receptur.

1. Opis składników i receptur

Do przeprowadzenia badań testujących zdecydowano się wykonać cztery różne mieszanki betonowe. Każda z nich została sporządzona przy użyciu cementu CEM I 42,5 R, piasku kwarcowego o uziarnieniu 0÷2 mm jako kruszywa drobnego oraz czterech różnych kruszyw grubych, jednakowej frakcji z przedziału 4÷8 mm.

W pierwszej mieszance zastosowano kruszywo kamienne otoczkowe, w drugiej - kruszywo lekkie keramzytowe, w trzeciej - kruszywo lekkie popiołoporytowe (pollytag), w czwartej - kruszywo bazaltowe. Ponadto do wykonania ostatniej mieszanki zastosowano pył krzemionkowy oraz superplastyfikator.

Każda z receptur została oznaczona innym symbolem literowym:

Z - mieszanka betonowa z kruszywem kamiennym otoczkowym,

K - mieszanka betonowa z kruszywem keramzytowym,

P - mieszanka betonowa z kruszywem popiołoporytowym,

B - mieszanka betonowa z kruszywem bazaltowym, pyłem krzemionkowym oraz superplastyfikatorem.

Do przygotowania mieszanek betonowych używano kruszywa w stanie naturalnym, posiadającego określoną wilgotność. Z tego względu dokonano korekty ilości wody w składzie każdej mieszanki, uwzględniając naturalną wilgotność zarówno kruszywa drobnego, jak i grubego. Tabela 1 przedstawia skład mieszanek betonowych po wprowadzeniu korekty wilgotności kruszywa.

TABELA 1

Skład mieszanek betonowych

| Symbol mieszanki | Składniki mieszanki betonowej [g/dm ³] | | | | | |
|------------------|---|--------|--------|-----------------------|------------------|--------------------|
| | Kruszywo drobne 0÷2 mm | Woda | Cement | Kruszywo grube 4÷8 mm | Pył krzemionkowy | Superplastyfikator |
| Z | 457,18 | 195,46 | 368,70 | 1221,89 | – | – |
| K | 572,44 | 236,09 | 461,54 | 278,23 | – | – |
| P | 553,91 | 401,58 | 446,61 | 460,64 | – | – |
| B | 592,01 | 224,58 | 453,77 | 1058,08 | 51,00 | 12,15 |

Z każdej receptury wykonano łącznie po 11 próbek:

– 4 próbki sześciennie o wymiarze deklarowanym 10 x 10 x 10 cm,

– 4 próbki sześciennie o wymiarze deklarowanym 15 x 15 x 15 cm,

– 3 próbki prostokątne o wymiarze deklarowanym 4 x 4 x 16 cm.

2. Przygotowanie próbek do badań wytrzymałościowych

Wykonywanie i pielęgnację próbek betonowych przeznaczonych do badań wytrzymałościowych przeprowadzono zgodnie z normą [5]. Mieszanki betonowe były układane w formach w dwóch warstwach i po ułożeniu każdej zagęszczane mechanicznie. Próbki w formach sześciennych były zagęszczane na stoliku wibracyjnym, zaś te w formach do beleczek prostokątnych zagęszczane z zastosowaniem wstrząsarki normowej przeznaczonej do zapraw. Nadmiar betonu powyżej górnej krawędzi form był usuwany przy użyciu stalowej kielni, a powierzchnie górne były dokładnie zacierane.

Próbki w formach były przechowywane w komorze klimatycznej. Elementy wykonane z betonu na bazie kruszywa kamiennego zostały rozformowane po upływie 24 godzin oraz trwale i wyraźnie oznakowane symbolem oznaczającym rodzaj mieszanki i numer próbki. Dodatkowo nanoszono datę ich wykonania. Elementy z betonów lekkich zostały rozformowane i oznaczone po 3 dniach ze względu na to, że przy próbie rozformowania po 24 godzinach kruszyły się, dlatego zdecydowano się dłużej pozostawić je w formach. Natomiast próbki wykonane z betonu na bazie kruszywa bazaltowego rozformowano i oznakowano po 2 dniach. Niezwłocznie po wyjęciu elementów z form wszystkie ponownie złożono na rusztach, nad powierzchnią wody w komorze klimatycznej, aby dojrzewały przez 28 dni.

Symbol próbki zawierał każdorazowo informację o rodzaju kruszywa (Z, K, P, B), z jakiego zostały wykonane poszczególne betony, oraz wymiar deklarowany danej próbki.

Przyjęte umowne oznaczenia zestawiono poniżej:

- Z/K/P/B15 - próbki o wymiarze deklarowanym 15 x 15 x 15 cm,
- Z/K/P/B10 - próbki o wymiarze deklarowanym 10 x 10 x 10 cm,
- Z/K/P/B4 - próbki o wymiarze deklarowanym 4 x 4 x 16 cm.

3. Przebieg badań wytrzymałościowych i uzyskane wyniki

Badanie wytrzymałości na ściskanie czterech grup betonów przeprowadzono zgodnie z zaleceniami normy [6] na próbkach sześciennych oraz dodatkowo na połówkach prostokątnych beleczek uzyskanych podczas badania wytrzymałości na zginanie. To ostatnie oznaczenie przeprowadzono zgodnie z normą [7], a jego wyniki szczegółowe zestawiono w pracy [4].

Elementy próbne każdego rodzaju, przed przystąpieniem do zasadniczych badań, wycierano z wilgoci i umieszczano w maszynie wytrzymałościowej na płycie dociskowej. Ustawiano je tak, aby obciążenie było przykładane prostopadle do kierunku formowania. W przypadku połówek prostokątnych beleczek powierzchnia płyty dociskowej maszyny wytrzymałościowej wynosiła 4 x 4 cm, zaś w przypadku próbek sześciennych powierzchnia ta była od nich większa i wynosiła ok. 10 x 10 cm oraz ok. 15 x 15 cm. Ze względu na występujące drobne odchyłki wymiarowe przeprowadzono z pomocą suwmiarki elektronicznej dokładny pomiar

obciążanych powierzchni próbek sześciennych, aby móc dokładnie określić powierzchnię styku obydwu płyt dociskowych z każdą badaną próbką.

Średnie wartości wytrzymałości na ściskanie obliczone na podstawie siły ściskającej i średnich pól z obydwu powierzchni docisku każdej z próbek zestawiono w tabeli 2.

TABELA 2

Średnie wartości wytrzymałości na ściskanie f_{ck} wszystkich rodzajów próbek

| Rodzaj próbki | Z4 | Z10 | Z15 | K4 | K10 | K15 | P4 | P10 | P15 | B4 | B10 | B15 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| f_{ck} [MPa] | 45,8 | 42,0 | 41,9 | 28,4 | 28,0 | 17,9 | 35,6 | 32,8 | 28,6 | 90,6 | 70,6 | 62,0 |

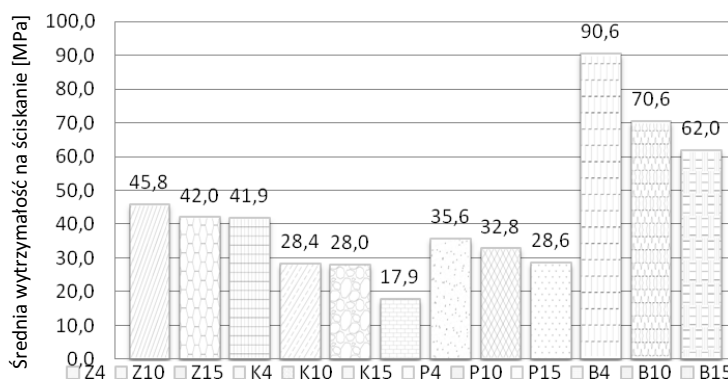
4. Analiza wyników

Uśrednione wartości wytrzymałości na ściskanie, uzyskane dla poszczególnych rodzajów betonu i próbek różnych gabarytów, posłużyły do przeprowadzenia analizy opierającej się na porównaniu:

- wyników uzyskanych na próbkach o różnych wymiarach, wykonanych z tego samego rodzaju betonu,
- wyników uzyskanych na próbkach o jednakowych wymiarach, wykonanych z różnych rodzajów betonu.

4.1. Porównanie wytrzymałości na ściskanie oznaczonej na próbkach o różnych wymiarach, wykonanych z tego samego rodzaju betonu

Na rysunku 1 przedstawiono uśrednione wartości wytrzymałości na ściskanie dla wszystkich rodzajów betonu, badanych na próbkach o różnym wymiarze.



Rys. 1. Uśrednione wartości wytrzymałości na ściskanie, uzyskane na próbkach różnych gabarytów, zestawione w odniesieniu do: betonu zwykłego na kruszywie kamiennym Z, betonu na kruszywie keramzytowym K, betonu na kruszywie pollytag P oraz betonu na kruszywie bazaltowym B

Przeprowadzone badania pozwoliły ocenić, w jakim stopniu wraz ze wzrostem wymiarów próbki maleje średnia wartość wytrzymałości na ściskanie betonu danego rodzaju. Zależność ta w najbardziej jednoznaczny sposób ujawniła się w przypadku próbek wykonanych z betonu na kruszywie popiołoporytowym oraz z betonu na kruszywie bazaltowym. W przypadku dwóch pozostałych betonów niektóre średnie wytrzymałości na ściskanie wykazywały zbliżone do siebie wartości, jednak nadal zaznaczała się tendencja malejąca. Dla betonu zwykłego wykonanego na kruszywie kamiennym były to próbki sześciennie o wymiarach 10 x 10 x 10 cm oraz 15 x 15 x 15 cm, zaś w przypadku betonu wykonanego na kruszywie keramzytowym były to połówki beleczek prostopadłościennych oraz próbki sześciennie o wymiarze deklarowanym 10 x 10 x 10 cm.

Uzyskane w przeprowadzonych badaniach wyniki pozwalają ustalić zależność pomiędzy średnią wytrzymałością na ściskanie, uzyskaną na próbkach o wymiarze deklarowanym 150 x 150 x 150 mm, a średnią wytrzymałością na ściskanie, uzyskaną na próbkach o innych wymiarach. Wyznaczone relacje ilościowe zestawiono w tabeli 3.

TABELA 3

Relacje między wytrzymałością na ściskanie wyznaczoną na próbkach o wymiarze deklarowanym 15 x 15 x 15 cm oraz wyznaczoną na wszystkich grupach próbek

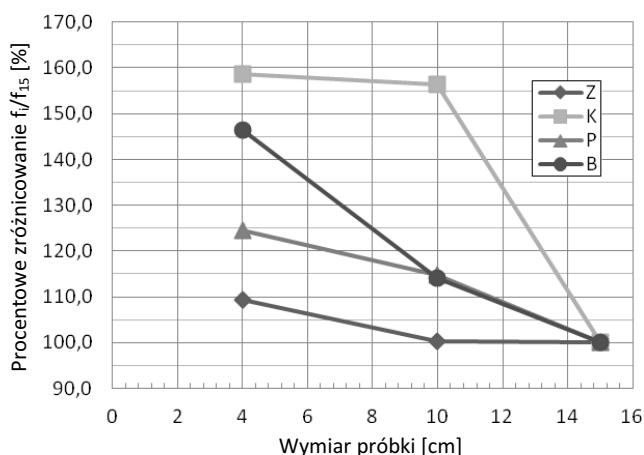
| Rodzaj betonu | f_{15}/f_{15} | f_{15}/f_{10} | f_{15}/f_4 |
|---------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Z | 1 | 1,0 | 0,9 |
| K | 1 | 0,6 | 0,6 |
| P | 1 | 0,9 | 0,8 |
| B | 1 | 0,9 | 0,7 |

Ponadto obliczono procentowe relacje między wytrzymałością względną na ściskanie określoną dla każdego rodzaju betonu na próbkach różnych wymiarów w stosunku do wytrzymałości próbki o wymiarze deklarowanym 15 x 15 x 15 cm. Zależności te zestawiono w tabeli 4 i zobrazowano na rysunku 2.

TABELA 4

Wytrzymałość względną na ściskanie określona na próbkach różnych wymiarów w stosunku do wytrzymałości próbki o wymiarze deklarowanym 15 x 15 x 15 cm

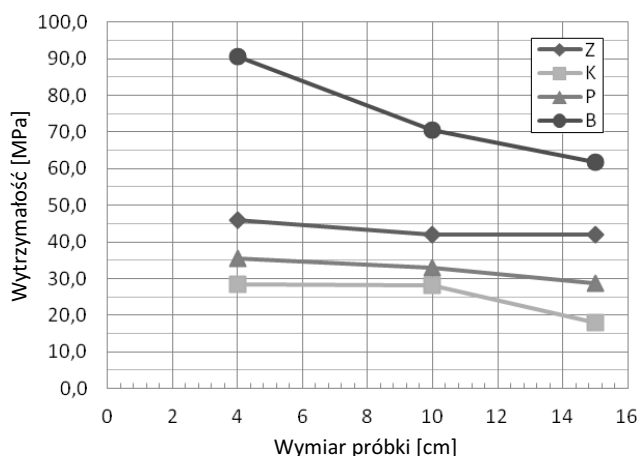
| Rodzaj betonu | $f_{15}/f_{15} \cdot 100$ [%] | $f_{10}/f_{15} \cdot 100$ [%] | $f_4/f_{15} \cdot 100$ [%] |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Z | 100 | 100 | 109 |
| K | 100 | 156 | 159 |
| P | 100 | 115 | 124 |
| B | 100 | 114 | 146 |



Rys. 2. Skala różnicowania wytrzymałości na ściskanie próbek różnej wielkości, wykonanych z betonów różnego rodzaju (Z, K, P, B), gdzie $i = 15, 10, 4$

4.2. Porównanie wytrzymałości na ściskanie różnych rodzajów betonu, oznaczonych na próbkach o jednakowym wymiarze

Rysunek 3 przedstawia średnie wartości wytrzymałości na ściskanie każdego rodzaju betonu (Z, K, P, B), zbadane na próbkach różnych wymiarów. Były to: połówki prostokątnych beleczek, sześciiany o wymiarze deklarowanym 100 x 100 x 100 mm oraz sześciiany o wymiarze deklarowanym 150 x 150 x 150 mm.



Rys. 3. Wytrzymałość na ściskanie próbek o różnej wielkości, wykonanych z betonów różnego rodzaju: Z, K, P, B

Zbiorcze zestawienie przedstawione na rysunku 3 jednoznacznie ilustruje uzyskane w eksperymencie wzajemne relacje między poszczególnymi wynikami. Wyraźnie widać, że najniższą średnią wytrzymałością na ściskanie charakteryzują się betony na kruszywie lekkim, przy czym w każdym przypadku beton K (na keram-

zycie) wykazywał niższą średnią wytrzymałość na ściskanie w stosunku do betonu P (na pollytagu). Wyższą wytrzymałością odznaczył się beton Z (na kruszywie zwykłym), zaś beton B (na kruszywie bazaltowym) wykazał najwyższą, wyraźnie odbiegającą od pozostałych, wytrzymałość na ściskanie. Miał na to niewątpliwie wpływ nie tylko rodzaj kruszywa, ale także zabieg zastosowania dodatku pyłu krzemionkowego oraz użycie superplastyfikatora. Powyższej omówione wzajemne relacje ujawniły się dla wszystkich rodzajów betonu bez żadnych odstępstw od reguły.

Podsumowanie

Szczegółowe dane zebrane w toku zrealizowanego eksperymentu pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków końcowych:

- wszystkie betony uzyskiwały w badaniach coraz mniejszą wartość wytrzymałości średniej na ściskanie wraz ze wzrostem wymiarów próbek,
- w przypadku betonu na kruszywie lekkim pollytag oraz betonu na kruszywie bazaltowym z dodatkiem pyłu krzemionkowego i superplastyfikatora potwierdziła się zależność podawana w literaturze [8]: $f_{15} = 0,9f_{10}$,
- w przypadku betonu na kruszywie lekkim keramzytowym średnie wytrzymałości na ściskanie oznaczane na próbkach sześciennych o wymiarach 10 x 10 x 10 cm oraz na połówkach beleczek prostopadłościennych uzyskały porównywalną wartość. Obydwie te wartości średnie f_{10} i f_4 oraz f_{15} pozostawały w następujących wzajemnych proporcjach $f_{15} = 0,6f_{10} = 0,6f_4$,
- w przypadku betonu na kruszywie kamiennym otoczkowym średnie wytrzymałości na ściskanie oznaczane na próbkach sześciennych o wymiarach 15 x 15 x 15 cm oraz 10 x 10 x 10 cm uzyskały porównywalną wartość. Obydwie te wartości średnie f_{15} i f_{10} oraz f_4 pozostawały w następujących wzajemnych proporcjach $f_{15} = 1,0f_{10} = 0,9f_4$,
- dla wszystkich wielkości i kształtów próbek najwyższe średnie wartości wytrzymałości na ściskanie osiągał beton na kruszywie bazaltowym, na drugim miejscu uplasował się beton na kruszywie kamiennym otoczkowym, po nim beton na kruszywie pollytag, a na samym końcu z najniższą średnią wartością ułożył się beton na kruszywie keramzytowym.

Literatura

- [1] PN-EN 12390-1: 2013-03, Badania betonu. Część 1: Kształt, wymiary i inne wymagania dotyczące próbek do badań i form.
- [2] PN-EN 12504-1: 2011, Badania betonu w konstrukcjach. Część 1: Próbki rdzeniowe. Pobieranie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie.
- [3] Narodowska K., Badania i analiza wytrzymałości na ściskanie betonów różnego rodzaju wyznaczonej na próbkach walcowych, Praca dyplomowa magisterska realizowana pod kierunkiem prof. H. Garbalińskiej, Wydział Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, luty 2017.

- [4] Marciniak B., Badania i analiza wytrzymałości na ściskanie betonów różnego rodzaju wyznaczonej na próbkach prostopadłościennych, Praca dyplomowa magisterska realizowana pod kierunkiem prof. H. Garbalińskiej, Wydział Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, luty 2017.
- [5] PN-EN 12390-2: 2011, Badania betonu. Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych.
- [6] PN-EN 12390-3: 2011/AC: 2012, Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań.
- [7] PN-EN 12390-5: 2011, Badania betonu. Część 5: Wytrzymałość na zginanie próbek do badań.
- [8] Jamróży Z., Beton i jego technologie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2015.

Streszczenie

Przedmiotem artykułu jest ocena wzajemnych relacji ilościowych między wytrzymałościami na ściskanie, wyznaczonymi na próbkach prostopadłościennych o różnej wielkości. Eksperyment obejmował cztery grupy betonów o zróżnicowanym składzie. Był to beton zwykły, beton wysokiej wytrzymałości oraz dwie grupy betonów lekkich. Badaniom poddano kompozyty betonowe o szerokim spektrum wytrzymałości.

Słowa kluczowe: wytrzymałość na ściskanie, beton, beton lekki, beton wysokowytrzymałościowy

Assessment of the compressive strength of various kinds of concrete tested on cuboid samples

Abstract

The purpose of this study was to assess the mutual quantitative relationships between the compressive strengths, designated on the rectangular samples, of different sizes. The experiment consisted of four groups of different concrete composites. The groups were ordinary concrete, high strength concrete, and two lightweight concretes. The concrete composites were broad-spectrum resistance.

Keywords: compressive strength, concrete, lightweight concrete, high-strength concrete