

Badania odwiertów rdzeniowych w świetle aktualnych unormowań prawnych. Część 2 – badania wytrzymałościowe i interpretacja uzyskiwanych wyników

t
e
c
h
n
o
l
o
g
i
e



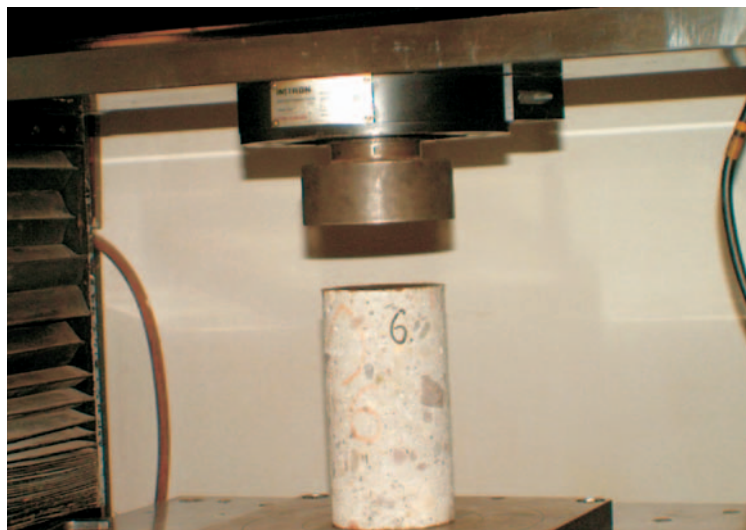
Rys. 1. Widok próbek przygotowanych do badań, których wynik ma się odnosić do wytrzymałości badanej na normowych próbkach sześciennych ($h=\varnothing=100\text{ mm}$)

1. Wprowadzenie

Pomimo że badania wytrzymałościowe próbek, wycianych z odwiertów rdzeniowych, są niekwestionowanym źródłem danych o jakości wbudowanego w konstrukcję betonu, to jednak stosowne przepisy normowe wyraźnie zastrzegają, iż nie mogą one zastępować badań przeprowadzanych na próbkach normowych, zgodnie z PN-EN 206-1 [1]. Ponadto, w myśl tej normy, wykorzystanie wyników badań wytrzymałości betonu „in-situ” do kontroli zgodności betonu ze specyfikacją jest ograniczone do dwóch następujących przypadków.

- Jeżeli istnieje przypuszczenie, że wyniki badania wytrzymałości betonu na ściskanie, prowadzone na próbkach normowych, nie będą reprezentatywne, np. w przypadku mieszanek betonowych o konsystencji CO, lub o konsystencji niższej niż S1, lub w przypadku betonu próżniowanego.
- Jeżeli badania, przeprowadzone zgodnie z proce-

Rys. 2. Widok próbki przygotowanej do badań, których wynik ma się odnosić do wytrzymałości badanej na normowych próbkach walcowych ($h=200\text{ mm}$, $\varnothing=100\text{ mm}$)



durami przewidzianymi w normie PN-EN 206-1 [1], wykazały niezgodność badanego betonu z jego specyfikacją.

Natomiast badania wytrzymałościowe odwiertów rdzeniowych mogą być bez ograniczeń wykorzystywane do oceny parametrów mechanicznych betonu w sytuacji, gdy:

- istniejące konstrukcje mają być modernizowane lub też przeprojektowywane
- występują wątpliwości odnośnie wytrzymałości betonu w konstrukcji, spowodowane błędami wykonawczymi, bądź szkodliwym oddziaływaniem czynników zewnętrznych, w tym temperatur pożarowych
- wymagana jest kontrola jakości betonu w trakcie procesu wznoszenia danego obiektu
- szczegółowe specyfikacje projektowe wymagają przeprowadzenia kontroli zgodności parametrów wytrzymałościowych betonu w konstrukcji.

Należy ponadto podkreślić, iż badania wytrzymałości betonu w konstrukcji (in-situ), w odróżnieniu od badań normowych, realizowanych zwykle po 28 dniach dojrzewania, mają na celu oszacowanie wytrzymałości betonu na ściskanie w chwili badania i w związku z powyższym uzyskiwane wyniki nie wymagają, poza wyjątkowymi przypadkami, przeliczenia na równoważną wytrzymałość 28-dniową.

2. Przygotowanie próbek do badań wytrzymałościowych

Procedury zawarte w [2] wymagają odpowiedniego przygotowania próbek do badań wytrzymałościowych. Pierwszą czynnością z tego zakresu jest prawidłowe pocięcie przeznaczonych do badań odwiertów rdzeniowych. Przyjmuje się zasadę, iż jeśli wynik pomiaru wytrzymałości będzie się odnosił do wytrzymałości badanej na próbkach sześciennych, należy przyjmować stosunek długości próbki wycinanej z odwiertu do jego średnicy równy 1 (rys. 1). Natomiast w przypadku odnoszenia wyniku badań wytrzymałościowych odwiertów do wytrzymałości badanej na walcach normowych stosunek ten winien być równy 2 (rys. 2). Należy przy tym pamiętać, że próbki przeznaczone do badań wytrzymałościowych mogą być wycinane jedynie z nieuszkodzonych i niespękanych fragmentów odwiertów. Zastrzeżenie to często dotyczy także cienkiej przypowierzchniowej warstwy betonu, która jest odcinana ze względu na występujące uszkodzenia powierzchni oraz ślady korozji.

Dla prawidłowego przeprowadzenia badań wytrzymałości betonu na próbkach wyciętych z odwiertów rdzeniowych kluczowe znaczenie ma właściwe przygotowanie końców tych próbek, tak aby zapewnić równoległość powierzchni, do których będzie później przyłożone obciążenie. W tym celu, po pocięciu odwiertów rdzeniowych na poszczególne próbki zaleca się przeszlifowanie ich powierzchni czołowych. Szlifowanie powierzchni uznaje się za podsta-

wowy (w przypadkach dyskusyjnych uważany za wzorcowy) sposób zapewnienia ich równoległości. Jako alternatywne dla szlifowania dopuszcza się także tzw. kapslowanie, polegające na zastosowaniu nakładek piaskowych, bądź też wyrównaniu powierzchni wyprawą z cementów wysokoglinowych lub mieszanek siarkowych, przy czym o ile szlifowanie i nakładki piaskowe można stosować bez ograniczeń, to stosowanie wymienionych powyżej wypraw jest ograniczone do betonów o przewidywanej wytrzymałości nie większej od 50 MPa. Szczegółowe procedury wykonania poszczególnych rodzajów „kapslowania” zawarte zostały w normatywnym załączniku do normy PN-EN 12390-3 (załącznik A) [3].

Wypada w tym miejscu wyraźnie zaznaczyć, iż kwestia zapewnienia równoległości powierzchni czołowych próbek wycinanych z odwiertów rdzeniowych ma pierwszorzędne znaczenie dla zapewnienia miarodajności uzyskiwanych wyników, a ewentualne zaniedbania mogą skutkować znacznym zaniżeniem uzyskiwanych wartości wytrzymałości, sięgającym niekiedy 25%.

Równie istotną dla miarodajnej oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji jest kwestia zapewnienia właściwego stanu wilgotnościowego próbek w chwili badania. Szacuje się, że wartość wytrzymałości na ściskanie określana na próbkach nasyconych wodą jest o około 10-15% niższa od wartości uzyskiwanych na analogicznych próbkach, badanych w stanie powietrzno-suchym [4]. Z tego też względu zasadniczo przyjmuje się, iż wilgotność badanych próbek winna być zbliżona do warunków wilgotnościowych, w jakich dana konstrukcja jest eksploatowana. Między innymi z tych powodów odwierty rdzeniowe są w czasie transportu zwykle przechowywane w workach foliowych. Natomiast zgodnie z wytycznymi zawartymi w przedmiotowych normach [4,5], przygotowanie próbek do badań polega w tym przypadku na wyborze jednego z dwóch następujących wariantów:

- jeśli badany fragment konstrukcji znajduje się w stanie powietrzno-suchym, próbki winny być również badane w stanie powietrzno-suchym; w tym celu należy je przechowywać w laboratorium w warunkach odpowiadających warunkom badania przez okres co najmniej 3 dni poprzedzających badanie
- jeśli natomiast konstrukcja jest nasycona wodą, to badanie przeprowadza się na próbkach, które są również nasycone wodą; dla spełnienia tego warunku wymaga się, aby próbki były nawilżane wodą w temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$, co najmniej przez 40 godzin przed badaniem.

3. Przebieg badań oraz zasady interpretacji uzyskiwanych wyników

Obowiązujące aktualnie przepisy normowe, dotyczące przebiegu badań wytrzymałościowych betonu, zwracają szczególną uwagę na spełnienie wymagań, gwarantujących wiarygodność realizowanych pomiarów [3,6]. Uwaga ta dotyczy zarówno należytej dbałości o właściwy stan techniczny maszyn wytrzymałościowych, jak i przestrzegania stosownych procedur badawczych.

Procedura przeprowadzenia pomiaru wytrzymałości betonu na ściskanie na próbkach wyciętych z odwiertów rdzeniowych jest analogiczna do badania próbek normowych i winna spełniać wymagania określone w [3]. Norma ta, ściśle powiązana z nową normą betonową (PN-EN 206-1), zaleca, aby w czasie badania wytrzymałości betonu na ściskanie obciążenie narastało ze stałą prędkością, mieszczącą się w przedziale od 0,2 MPa/s do 1,0 MPa/s. Jest to niewielka zmia-

na w stosunku do dotychczasowych wymagań [2], które zakres ten określały na poziomie 0,5-1,0 MPa/s. Natomiast za znaczące novum należy uznać szczegółowe zdefiniowanie pojęcia prawidłowego i nieprawidłowego charakteru zniszczenia badanych próbek. W normie [3] zamieszczone zostały poglądowe rysunki, obrazujące oba te przypadki. Dla ilustracji, na rys. 3 przedstawiono wybrane przykłady przełomów, świadczących o prawidłowym przebiegu zniszczenia próbek walcowych. Istotną zmianą jest także wymóg zaokrąglania wartości wytrzymałości betonu na ściskanie do 0,5 MPa, wobec dotychczas obowiązującego zaokrąglenia z dokładnością do 0,1 MPa.

Dokonanie wiarygodnej oceny wytrzymałości betonu na ściskanie w istniejących konstrukcjach budowlanych wymaga stosowania ujednoczonych zasad interpretacji uzyskiwanych wyników. W istocie rzeczy w kraju brak jest jednoznacznych unormowań tej kwestii. W tej sytuacji w praktyce upowszechniła się procedura szacowania klasy betonu w istniejących konstrukcjach, identyczna z procedurami sformułowanymi w normie „Beton zwykły” [2] oraz w normie mostowej [7] dla badań normowych, realizowanych na próbkach wykonywanych w formach. Procedury te określają zasady wyznaczania, w zależności od liczby oznaczeń wytrzymałości, wartości tzw. wytrzymałości gwarantowanej betonu R_b^G , która jest podstawą do zakwalifikowania danego rodzaju betonu do określonej klasy jakościowej. Rozróżniane są tu dwa przypadki.

- Przy liczbie wyników $n < 15$, wytrzymałość gwarantowaną betonu R_b^G można oszacować zgodnie ze wzorem:

$$R_b^G \leq R_{i,min} / \alpha$$

gdzie:

$R_{i,min}$ – najmniejsza wartość wytrzymałości w badanej serii próbek

α – współczynnik zależny od liczby próbek, przy czym:

$$\alpha = 1,15 \text{ dla } n=3-4$$

$$\alpha = 1,10 \text{ dla } n=5-8$$

$$\alpha = 1,05 \text{ dla } n=9-14$$

lub zgodnie z następującymi dwoma wzorami:

$$R_b^G \leq R_{i,min} \text{ oraz } R_b^G \leq \bar{R} / 1,2$$

gdzie:

\bar{R} – średnia wartość wytrzymałości badanej serii próbek.

- Natomiast przy liczbie wyników $n \geq 15$, wytrzymałość gwarantowaną betonu R_b^G można oszacować zgodnie ze wzorem:

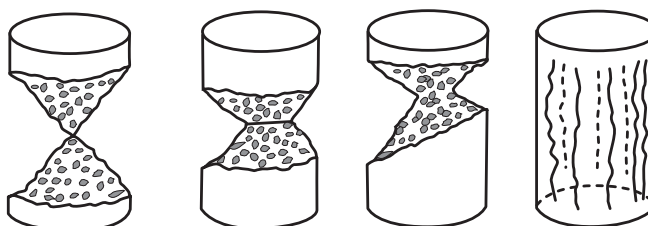
$$\bar{R} - 1,64 S_R R_b^G$$

gdzie:

S_R – odchylenie standardowe wytrzymałości wokół jej wartości średniej.

Nowe uregulowania prawne [1,4] istotnie zmieniają te procedury. Po pierwsze, wprowadzone zostało pojęcie

Rys. 3. Wybrane przykłady prawidłowego zniszczenia próbek walcowych



wytrzymałości charakterystycznej, które zastąpiło pojęcie wytrzymałości gwarantowanej. Ta pozornie „drobna” zmiana może w praktyce stać się jednak przyczyną wielu nieporozumień. Po drugie, będąca aktualnie na końcowym etapie zatwierdzania norma prEN 13791: 2003 [4] formułuje zgoła odmienne zasady określania wytrzymałości charakterystycznej (gwarantowanej). Ich odmiennosc polega przede wszystkim na przyjęciu innych kryteriów oceny zgodności wytrzymałości badanego betonu z wymaganiami sformułowanymi dla danej klasy wytrzymałościowej. O ile dotychczasowe regulacje prawne [2] bazowały na klasycznym wnioskowaniu statystycznym, to wprowadzone obecnie kryteria oceny są oparte na funkcjach operacyjno-charakterystycznych (OC). Nie wdając się w szczegóły, należy stwierdzić, iż bezpośrednią konsekwencją tego faktu jest znaczące zmniejszenie ryzyka producenta betonu kosztem wzrostu ryzyka jego odbiorcy.

Najogólniej rzecz biorąc, proponowane obecnie kryteria zgodności prowadzą do następujących dwóch przypadków określenia charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w istniejącej konstrukcji (in-situ).

- Przypadek I – gdy dysponujemy co najmniej 15 wynikami oznaczenia wytrzymałości na ściskanie, za wartość wytrzymałości charakterystycznej przyjmuje się mniejszą z dwóch następujących wartości:

$$f_{ck, is} = f_{cm(n), is} - 1,48 \cdot s \text{ oraz } f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4$$

gdzie:

$f_{ck, is}$ – charakterystyczna wytrzymałość betonu na ściskanie „in-situ”

$f_{cm(n), is}$ – średnia wytrzymałość betonu na ściskanie „in-situ”, wyznaczona dla „n” wyników

$f_{is, lowest}$ – najmniejsza uzyskana wartość wytrzymałości betonu na ściskanie „in-situ”

s – odchylenie standardowe uzyskanych wyników badań; w przypadku gdy wartość „s” jest mniejsza od 2 MPa, należy przyjąć s = 2 MPa.

- Przypadek II – jeśli dysponujemy mniejszą liczbą wyników niż 15, za wartość wytrzymałości charakterystycznej przyjmuje się mniejszą z dwóch następujących wartości:

$$f_{ck, is} = f_{cm(n), is} - k \text{ oraz } f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4$$

Tabela nr 1
Minimalne wartości charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie „in-situ”, odpowiadające klasom wytrzymałościowym, zgodnym z PN-EN 206-1

Klasa wytrzymałości	Minimalna charakterystyczna wytrzymałość betonu na ściskanie „in-situ” [MPa]	
	walce ($f_{ck, is, cyl}$)	kostki ($f_{ck, is, cube}$)
C8/10	7	9
C12/15	10	13
C16/20	14	17
C20*25	17	21
C25/30	21	26
C30/37	26	31
C35/45	30	38
C40/50	34	43
C45/55	38	47
C50/60	43	51
C55/67	47	57
C60/75	51	64
C70/85	60	72
C80/95	68	81
C90/105	77	80
C100/115	85	98

gdzie:

k – współczynnik uzależniony od liczby posiadanych wyników („n”)

przy czym dla n = 10÷14 – k = 4,

dla n = 7÷9 – k = 5,

dla n = 3÷6 – k = 6.

Przedstawione powyżej kryteria oceny dotyczą w zasadzie wszystkich rodzajów konstrukcji betonowych, z tym że w przypadku konstrukcji mostowych mamy do czynienia ze swego rodzaju dowolnością, wynikającą z faktu, iż obok nowej normy betonowej [1] nadal aktualną jest norma mostowa [8], która zawiera w sobie procedury określenia klas wytrzymałościowych betonu zgodne z wycofaną normą „Beton zwykły” [2]. Tak więc z formalnego punktu widzenia w przypadku obiektów mostowych stan prawny nie uległ zmianie i nadal możliwe jest stosowanie dotychczasowych zasad oceny jakości betonu.

Wielu autorów na przestrzeni lat zwracało uwagę na fakt, iż wytrzymałość rdzeni jest na ogół niższa niż wytrzymałość próbek normowych [8, 9, 10, 11]. W większości publikacji, w tym w amerykańskich przepisach normowych [12], przyjmuje się, iż wytrzymałość betonu na ściskanie, badana na odwiertach rdzeniowych (wytrzymałość „in-situ”), osiąga wartości rzędu 75-85% wytrzymałości próbek normowych, przy czym obserwowany spadek wytrzymałości jest większy dla betonów charakteryzujących się wyższymi parametrami wytrzymałościowymi. Fakt ten potwierdzają także wyniki badań, przeprowadzonych w kraju [13], które wykazały spadek wytrzymałości od 0,873, dla betonów projektowanych jako B30 (C25/30) do 0,812, dla betonów B60 (C50/60). Zjawisko to jest częściowo przypisywane samemu procesowi wiercenia, który niewątpliwie niesie w sobie ryzyko niewielkiego uszkodzenia materiału rdzenia, a częściowo temu, że warunki pielęgnacji betonu na budowie są prawie zawsze gorsze od warunków, z jakimi mamy do czynienia w laboratorium.

Jak dotąd, w naszym kraju zagadnienie to jest w praktyce pomijane milczeniem i do oceny jakości betonu w konstrukcji przyjmowane są zwykle wartości wytrzymałości równe wartościom uzyskiwanym w czasie badania odwiertów rdzeniowych. Tego typu postępowanie niewątpliwie prowadzi do niewielkiego zaniżenia rzeczywistych parametrów wytrzymałościowych wbudowanego betonu. Wchodzące obecnie przepisy normowe [4] z pewnością wymuszają zmianę tej sytuacji. Przyjmują one bowiem obligatoryjny współczynnik korekcyjny, równy 0,85, rozumiany jako stosunek charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie „in-situ” do charakterystycznej wytrzymałości na ściskanie, określanej na próbkach normowych. Istotą tej zmiany ilustruje tabela nr 1, w której zestawiono postulowane wymagania odnośnie minimalnej charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie „in-situ”, w odniesieniu do klas wytrzymałościowych, zgodnych z normą PN-EN 206-1 [1].

4. Przykłady

Poniżej przedstawiono dwa przykłady liczbowe, ilustrujące różnice w ocenie klasy wytrzymałościowej betonu, wynikające z wprowadzonych zmian [4], w stosunku do dotychczas obowiązujących przepisów normowych [2].

W przykładach wykorzystano jednolite oznaczenia, zgodne z PN-EN 206-1 [1].

Przykład nr 1

W czasie próby ściskania 8 próbek ($h=\emptyset=100$ mm), wyciętych z pobranych z konstrukcji odwiertów rdzeniowych, uzyskano następujące wyniki:

- wartości poszczególnych wyników pomiarów (f_{is}): 42 MPa, 46 MPa, 48 MPa, 40 MPa, 47 MPa, 38 MPa, 42 MPa i 45 MPa
- najmniejsza uzyskana wartość wytrzymałości $f_{is,lowest} = 38,0$ MPa
- średnia wytrzymałość uzyskana dla badanej serii próbek $f_{cm(8),is} = 43,5$ MPa.

Określając wartość wytrzymałości charakterystycznej (gwarantowanej) badanego betonu, odpowiadającej wytrzymałości oznaczonej na próbkach sześciennych, zgodnie z dotychczas obowiązującymi wymaganiami normowymi (PN-88/B-06250 – Beton zwykły) uzyskujemy następujące wartości:

$$f_{ck,is,cube} \leq f_{is,lowest} / \alpha = 38 / 1,1 = 34,5 \text{ MPa}$$

lub

$$f_{ck,is,cube} \leq f_{is,lowest} = 38,0 \text{ MPa}$$

oraz

$$f_{ck,is,cube} \leq f_{34/1,2} = 43,5 / 1,2 = 36,2 \text{ MPa}$$

co pozwala ostatecznie przyjąć jej wartość na poziomie około 36,2 MPa i oszacować klasę wytrzymałościową badanego betonu jako C25/30, a po ewentualnym uwzględnieniu współczynnika korekcyjnego ($\gamma=0,85$) jako C30/37.

Określając natomiast analogiczną wartość wytrzymałości charakterystycznej badanego betonu zgodnie z nową normą [4], uzyskujemy następujące wartości:

$$f_{ck,is,cube} = f_{cm(n),is} - 5 = 43,5 - 5 = 38,5 \text{ MPa}$$

oraz

$$f_{ck,is,cube} = f_{is,lowest} + 4 = 38 + 4 = 42,0 \text{ MPa},$$

co pozwala ostatecznie przyjąć jej wartość na poziomie około 38,5 MPa i oszacować klasę wytrzymałościową badanego betonu jako C30/37, a po uwzględnieniu współczynnika korekcyjnego ($\gamma=0,85$) jako C35/45.

Przykład nr 2

W czasie badania wytrzymałości na ściskanie 15 próbek ($h=\emptyset=100$ mm), wyciętych z pobranych z konstrukcji odwiertów rdzeniowych, uzyskano następujące wyniki:

- średnia wytrzymałość badanej serii próbek $f_{cm(15),is} = 43,5$ MPa
- odchylenie standardowe uzyskanych wyników $s = 3,6$ MPa
- najmniejsza uzyskana wartość wytrzymałości $f_{is,lowest} = 38,0$ MPa.

Określając wartość wytrzymałości charakterystycznej (gwarantowanej) badanego betonu, odpowiadającej wytrzymałości oznaczonej na próbkach sześciennych, zgodnie z dotychczas obowiązującymi wymaganiami normowymi (PN-88/B-06250 – Beton zwykły) uzyskujemy wartość:

$$f_{ck,is,cube} \leq f_{cm(15),is} - 1,64 \cdot s = 43,5 - 1,64 \cdot 3,6 = 37,6 \text{ MPa},$$

co pozwala ostatecznie przyjąć jej wartość na poziomie około 37,6 MPa i oszacować klasę wytrzymałościową badanego betonu jako C30/37.

Określając analogiczną wartość wytrzymałości charakterystycznej badanego betonu zgodnie z nową normą [4], uzyskujemy natomiast następujące wartości:

$$f_{ck,is,cube} = f_{cm(n),is} - 1,48 \cdot s = 43,5 - 1,48 \cdot 3,6 = 38,2 \text{ MPa}$$

oraz

$$f_{ck,is,cube} = f_{is,lowest} + 4 = 38 + 4 = 42,0 \text{ MPa},$$

co pozwala ostatecznie przyjąć jej wartość na poziomie około 38,2 MPa i oszacować klasę wytrzymałościową badanego betonu jako C30/37, a po uwzględnieniu współczynnika korekcyjnego ($\gamma=0,85$) jako C35/45.

Jak widać z przedstawionych przykładów nowe przepisy normowe są znacznie bardziej „tolerancyjne” przy ocenie klasy wytrzymałościowej betonu w istniejących konstrukcjach, w odniesieniu do wymagań dotychczas obowiązujących. Wynika to w pierwszym rzędzie z przyjęcia odmiennych (bardziej tolerancyjnych) kryteriów oceny charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie. Z drugiej zaś strony, wiąże się z wprowadzeniem współczynnika korekcyjnego ($\gamma=0,85$), który niejako „rekompensuje” naturalne zniżenie wartości wytrzymałości uzyskiwanych w czasie badania próbek, wycinanych z odwiertów rdzeniowych w stosunku do wyników uzyskiwanych w czasie badania próbek normowych.

dr inż. Andrzej Moczko

Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej

Literatura

1. PN-EN 206-1: 2003, *Beton – Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*
2. PN-88/B-06250, *Beton zwykły.*
3. PN-EN 12390 – Część 3: 2001, *Badania betonu – Wytrzymałość na ściskanie*
4. prEN 13791: 2003, *Assessment of concrete compressive strength in structures or in structural elements*
5. PN-EN 12504 – Część 1: 2001, *Badania betonu w konstrukcjach – Odwierty rdzeniowe. Wycinanie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie*
6. PN-EN 12390 – Część 4: 2001, *Badania betonu – Wytrzymałość na ściskanie – Specyfikacja maszyn wytrzymałościowych*
7. PN-S-10040: 1999, *Obiekty mostowe – Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone – Wymagania i badania*
8. Petersons N., *Should standard cube test specimens be replaced by test specimens taken from structures? Materiale and Structures, vol. 1, nr 5, 1968, str. 425-435*
9. Malhorta V.M., *Concrete strength requirements – cores versus in-situ evaluation. Journal of American Concrete Institute, vol. 74, nr 4, 1977, str. 163-172*
10. Yuan R.L., *Evaluation of core strength in high-strength concrete. Concrete International, vol. 13, nr 5, 1991, str. 30-34*
11. Neville A.M., *Właściwości betonu. 4 wydanie, Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 2000*
12. ACI 318-95, *Building code requirements for structural concrete. ACI Manual of Concrete Practice, Part 3: Use of Concrete in Buildings – Design, Specifications and Related Topics, Detroit, Michigan 1994*
13. Ajdukiewicz A., Kliszczewicz A., *Wytrzymałość walcowa i odkształcalność betonu w konstrukcji i w próbkach, XL Konferencja Naukowo-Techniczna KLIW PAN i KN PZITB w Krynicy 1994, tom 3*