

Oszacowanie wartości charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie według aktualnych zaleceń normowych

Izabela Skrzypczak¹

¹ *Katedra Geodezji i Geotechniki, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Rzeszowska, e-mail: izas@prz.edu.pl*

Streszczenie: Stosowanie odwiertów rdzeniowych jest integralną częścią oceny istniejących konstrukcji, które mają być modernizowane, przeprojektowywane lub zostały uszkodzone. Oceny wyników badań i szacowania wartości charakterystycznych wytrzymałości na ściskanie można wykonać według metody statystycznej zaproponowanej w załączniku D do normy PN-EN 1990, a także według PN-EN 13791. Procedury, zalecane w obu dokumentach różnią się od siebie, co może prowadzić do różnych oszacowań wartości charakterystycznych. Zweryfikowano, że wartości wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie, określone według obydwu norm są do siebie zbliżone.

Wartości charakterystycznej wytrzymałości na ściskanie określono w odniesieniu do obecnie obowiązujących zaleceń normowych zawartych w PN-EN 13791 i PN-EN 1990 - Załącznik D.

Słowa kluczowe: beton, wytrzymałość charakterystyczna, oszacowanie, zalecenia normowe

1. Wprowadzenie

Stosowanie odwiertów jest integralną częścią sprawdzania wiarygodności istniejących konstrukcji betonowych lub żelbetonowych, co do których istnieją niepewności związane z właściwościami materiałów. Oszacowanie wartości charakterystycznej wytrzymałości betonu w konstrukcjach na podstawie odwiertów rdzeniowych można wykonać zgodnie z normą PN-EN 13791 [1], która opiera się na zaleceniach zawartych w EN 206-1 [3], a więc określeniu właściwości betonu na podstawie kryteriów zgodności. Normatyw PN-EN 13791 [1] za szczególnie uzasadnione przypadki, w których oszacowanie wytrzymałości betonu na ściskanie może być dokonywane na podstawie wyników badania odwiertów rdzeniowych dla istniejących obiektów, przyjmuje następujące sytuacje:

- ocena stanu technicznego istniejących konstrukcji, w przypadku gdy mają być one modernizowane lub przeprojektowane;
- dokonanie oceny bezpieczeństwa konstrukcji, w sytuacji gdy pojawiają się wątpliwości odnośnie wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji, spowodowane błędami wykonawczymi, uszkodzeniami pożarowymi betonu bądź też innymi czynnikami.

Ocenę statystyczną i oszacowanie wartości charakterystycznych na podstawie badań przedstawia również Załącznik D „Projektowanie wspomaganie badaniami” do PN-EN 1990 [2]. Zaproponowana w Załączniku procedura statystyczna jest spójna z dokumentami ISO 13822 [5], ISO 12491 [6] oraz PN-ISO 2394 [7].

Metody statystyczne, stosowane w celu oszacowania wartości charakterystycznych wytrzymałości betonu, w niektórych przypadkach, mogą być używane do bezpośredniego szacowania wartości projektowych, dlatego bardzo ważna jest spójność zaproponowanych procedur obliczeniowych.

Procedury zaproponowane w normach PN-EN 13791 [1] i PN-EN 1990 [2], jednak różnią się od siebie i mogą prowadzić do różnych oszacowań wartości charakterystycznej. Empiryczne relacje określone w PN-EN 13791 [1] prowadzą do uzyskiwania wyższych wartości charakterystycznej wytrzymałości betonu, a zatem od strony niebezpiecznej.

Uzyskane wartości wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie odniesiono do obecnie obowiązujących wytycznych projektowych zawartych w PN-EN 1990 - Załącznik D [2] oraz PN-EN 1992 [3].

2. Oszacowanie wartości charakterystycznych według PN-EN 13791

Norma PN-EN 13791 [1] przewiduje dwie różne procedury oceny wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji w zależności od liczby wyników badań.

Norma [1] rozróżnia dwa przypadki:

Przypadek „A” - dysponujemy 15 lub więcej wynikami badań wytrzymałości wykonanymi na odwiertach rdzeniowych. Wytrzymałość charakterystyczna betonu w konstrukcji $f_{ck, is}$ jest mniejszą z wartości:

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k_2 \cdot s \quad (1)$$

lub

$$f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4 \quad (2)$$

gdzie: $f_{m(n), is}$ – wytrzymałość średnia z n wyników badań

$f_{is, lowest}$ – najmniejszy wynik badania wytrzymałości wśród n wyników badań

k_2 – współczynnik statystyczny (wartość k_2 przyjmowana jest jako 1,48)

s – odchylenie standardowe (s powinno być wartością wyliczoną, lub równą 2,0 MPa, w zależności od tego, która wartość jest większa).

Przypadek „B” - dysponujemy mniej niż 15 wynikami badań wytrzymałości wykonanymi na odwiertach rdzeniowych (3÷14 wyników). Wytrzymałość charakterystyczna betonu w konstrukcji $f_{ck, is}$ jest mniejszą z wartości:

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k \cdot f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k \quad (3)$$

lub

$$f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4 \quad (4)$$

gdzie: $f_{m(n), is}, f_{is, lowest}$ – jak we wzorach (1) i (2)

k – współczynnik (wartość z Tabeli 1 w zależności od liczby wyników badań)

Tabela 1. Zmienna k przy małej liczbie wyników badań [1]

n	k
od 10 do 14	5
od 7 do 9	6
od 3 do 6	7

Po ustaleniu wytrzymałości charakterystycznej betonu w konstrukcji $f_{ck, is}$ można zakwalifikować beton do odpowiedniej klasy zgodnej z normą PN-EN 206-1 [4].

3. Oszacowanie wartości charakterystycznych według PN-EN 1990

Przy ocenie wyników badań zaleca się porównanie zachowania się próbek i postaci zniszczenia z przewidywanymi teoretycznie. Wszystkie znaczące niezgodności w stosunku do przewidywanych (założeń) należy wyjaśnić poprzez dodatkowe badania lub modyfikację (zmianę) modelu teoretycznego.

Zgodnie z Załącznikiem D do normy PN-EN 1990 [2] zaleca się, aby ocenę wyników badań przeprowadzać na podstawie metod statystycznych z wykorzystaniem istniejących informacji o typie stosowanego rozkładu i związanych z nim parametrów. Metoda wymieniona w załączniku D może być stosowana tylko wtedy, gdy są spełnione poniższe warunki:

- dane statystyczne (w tym informacje a priori) podane są z określonych i wystarczająco wiarygodnych danych źródłowych;

- dostępna jest wystarczająca liczba obserwacji.

Na poziomie interpretacji oceny wyników badań rozróżnia się trzy, główne kategorie:

- przeprowadza się tylko jedno badanie (lub bardzo mało badań) i żadna klasyczna statystyczna interpretacja nie jest możliwa. W takim przypadku należy wykorzystać szeroką wiedzę a priori związaną z hipotezą o względnych stopniach ważności tej informacji i wyników badań rozumianych jako ocena statystyczna (ocena z wykorzystaniem procedur Bayesa opisane w normie ISO 12491 [4], L. Brunarski [8], L. Czarnecki [9]);
- w celu oceny parametru przeprowadza się większą serię badań i można wykorzystać klasyczną ocenę statystyczną. Najczęstsze przypadki z tej kategorii zostały przedstawione w Załączniku D, pkt D7. W procedurze tej, jest możliwe wykorzystanie informacji a priori o parametrze, posiadanie informacji wcześniejszych jest mniej konieczne niż w przypadku powyżej;
- przeprowadza się serię badań w celu kalibracji modelu (jako funkcji) i jednego lub więcej związanych parametrów i jest możliwa klasyczna interpretacja statystyczna.

Załącznik D do PN EN 1990 [2] zawiera ogólne wytyczne do oceny pojedynczej właściwości, którą może być:

- nośność wyrobu;
- właściwość wpływająca na nośność wyrobu.

Wytyczne zawarte w Załączniku D zawierają bardzo ważną informację praktyczną: „Tablice i wyrażenia podane w D7.2 i D7.3 ustalono na podstawie następujących założeń:

- wszystkie zmienne wykazują rozkłady normalne lub log-normalne;
- nie ma informacji wcześniejszych dotyczących wartości średniej;
- w przypadku, gdy V_x nieznane, nie ma wcześniejszej wiedzy o wartości współczynnika zmienności;
- w przypadku, gdy V_x znane, istnieje pełna wiedza o wartości współczynnika zmienności”.

Procedury wymienione w Załączniku D normy PN-EN 1990 [2] opierają się na założeniu, że znany jest rozkład statystyczny analizowanej właściwości. Przyjęcie rozkładu log-normalnego, ma tę zaletę, że w przeciwieństwie do rozkładu normalnego umożliwia wyeliminowanie występowania wartości ujemnych. Zakłada się również, że nie jest znana wiedza a priori o średniej $f_{m(n),is}$. Średnia jest określona na podstawie wyników badań, zgodnie z zależnością:

$$f_{m(n),is} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{is,i}}{n} \quad (5)$$

gdzie: f_{is} – pojedynczy wynik pomiaru wytrzymałości betonu na ściskanie,
 $f_{m(n),is}$ – średnia wartość wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji, uzyskana z n wyników pomiarów.

Zgodnie z załącznikiem D do normy EN 1990 [1] (a także normatywami ISO 12491 [4] i PN-ISO 2394 [5]) wartość charakterystyczna wytrzymałości betonu na ściskanie na podstawie n wyników badań może być oszacowana na podstawie formuły:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} \cdot (1 - k_n \cdot V_x) \quad (6)$$

gdzie: k_n – wartość współczynnika dla 5% wartości charakterystycznej przyjęta zgodnie z Tabelą D1 Załącznika D normy PN-EN 1990 [2] (wartość k_n uzależniona jest od liczby próby oraz informacji na temat współczynnika zmienności: „ V_x znane” lub „ V_x nieznane”).

W praktyce preferuje się stosowanie przypadku „ V_x znane” razem z konserwatywną górną oceną V_x , niż V_x nieznane. Zaleca się przyjmowanie wartości V_x , jeśli jest ona nieznana, nie mniejszej niż 0,10.

Dla oceny wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie współczynnik zmienności „ V_x nieznane” można obliczyć ze wzoru:

$$V_x = \frac{s}{f_{m(n),is}} \quad (7)$$

gdzie : s – odchylenie standardowe próbki, obliczone na podstawie n - wyników badań ze wzoru:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (f_{is,i} - f_{m(n),is})^2} \quad (8)$$

Dolna granica wartości charakterystycznej jest szacowana na podstawie wyników badań, uwzględniając poziom ufności przynajmniej równy 0,75. Przy braku innych informacji, charakterystyczną wartość przyjmuje się równą 0,05 kwantyla rozkładu normalnego [ISO 2394]. Oszacowania wartości charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie można wykonać zgodnie z zaleceniami zawartymi w PN-EN 1990. Zgodnie z normą PN-EN 206-1 [1] wytrzymałość charakterystyczna jest to wartość wytrzymałości, poniżej której może się znaleźć 5% populacji wszystkich możliwych oznaczeń wytrzymałości dla danej objętości betonu. Wielkość $f_{ck,is}$ można więc zdefiniować jako 5% kwantyl rozkładu statystycznego wytrzymałości betonu na ściskanie. Wartość charakterystyczną wytrzymałości betonu na ściskanie można określić jako:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k_n \cdot s \quad (9)$$

4. Porównanie normowych procedur obliczeniowych

Procedury, zaproponowane w obu dokumentach różnią się od siebie. W celu porównania metod określania wartości charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie wykonano obliczenia generując 1000 grup liczb losowych o liczebności n zgodnych z rozkładem normalnym o różnym odchyleniu standardowym populacji i średniej 33MPa. Zastosowana funkcja losująca to standardowa funkcja rand() z języka C. Obliczono wartość wytrzymałości charakterystycznej dla obu kryteriów (1) i (2) oraz (3) i (4) zalecanych w PN-EN 13791 oraz dla metody statystycznej zaproponowanej w PN-EN 206-1. W przypadku analiz przeprowadzonych dla metody zaproponowanej w [1] i próby o liczebności $n > 15$ decydującym kryterium o wartości wytrzymałości charakterystycznej jest kryterium dla średniej. Dla odchylenia standardowego większego niż 3MPa kryterium dla wartości minimalnej było warunkiem decydującym o wartości wytrzymałości dla około 15%.

Dla próby o liczebności $n=3$ decydującym kryterium określającym wartość wytrzymałości charakterystycznej jest warunek dla wartości średniej.

Empiryczne relacje między procedurami dotyczącymi określania wartości charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie zgodnie z PN-EN 13791 i PN-EN 1990 można opisać równaniem:

- dla próby $n \geq 15$

$$\Delta = f_{ck,is}(1) - f_{ck,is}(9) = -1,48 \cdot s + k_n \cdot s = (-1,48 + k_n) \cdot s \quad (10)$$

- dla $n=3 \div 14$

$$\Delta = f_{ck,is}(3) - f_{ck,is}(9) = -k \cdot s + k_n \cdot s = (-k + k_n) \cdot s \quad (11)$$

Przypadek „A”

Różnica wartości wytrzymałości betonu na ściskanie dla procedur normowych zalecanych w [1] i [2] oraz dla próby o liczebności co najmniej 15 wyników badań zgodnie ze wzorem (10) wynosi:

$$\Delta = (-1,48 + k_n) \cdot s \quad (12)$$

Przy założonym a priori odchyleniu standardowym, estymator odchylenia standardowego s można otrzymać korzystając z funkcji Melina [10,11]:

$$s = \sigma \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{n} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \right) \quad (13)$$

gdzie: $\Gamma(\dots)$ - wartość funkcji,

n – liczebność próby,

σ – odchylenie standardowe populacji.

W celu określenia różnicy wartości charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie zgodnie z PN-EN 13791 [1] oraz PN-EN 1990 [2] należy skorzystać z poniższej formuły, otrzymanej na podstawie wzorów (12) i (13):

$$\Delta = (-1,48 + k_n) \cdot \sigma \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{n} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \right) \quad (14)$$

Przypadek „B”

Różnica wartości wytrzymałości betonu na ściskanie dla procedur normowych zalecanych w [1] i [2] oraz dla próby o liczebności poniżej 15 wyników badań zgodnie ze wzorem (11) można zapisać jako:

$$\Delta = (-k + k_n) \cdot \sigma \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{n} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \right) \quad (15)$$

Funkcja gamma $\Gamma(\dots)$ jest funkcja dwuparametrową, jej kształt zależy od parametru skali b oraz parametru kształtu p . Parametry te można wyznaczyć korzystając z poniższych zależności [10]:

$$f_{m(n),is} = p \cdot b \quad (16)$$

oraz

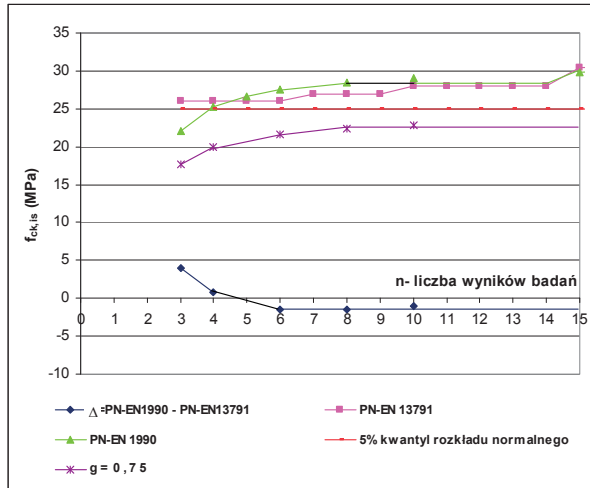
$$\sigma^2 = p \cdot b^2 \quad (17)$$

5. Przykład liczbowy

Wartość charakterystyczną wytrzymałości betonu na ściskanie określono zgodnie z procedurami obliczeniowymi zaproponowanymi w normie PN-EN 13791 [1] oraz PN-EN 1990 [2]. Określono relacje empiryczne wyznaczenia wartości wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie według procedur normowych zalecanych w [1] i [2]. Następnie w celu określenia poprawności zalecanych metod obliczeniowych wygenerowano 1000 grup po 15 oraz 3 wyniki badań zgodnych z rozkładem normalnym o odchyleniu standardowym 4,86 MPa i średniej 33 MPa. Wartość odchylenia standardowego $\sigma = 4,86$ MPa, przyjęto na podstawie zależności $f_{cm} = f_{ck} + 8$ według PN-EN 1992 [3].

Przy założonym a priori odchyleniu standardowym, estymator odchylenia standardowego s można otrzymać korzystając ze wzoru (13).

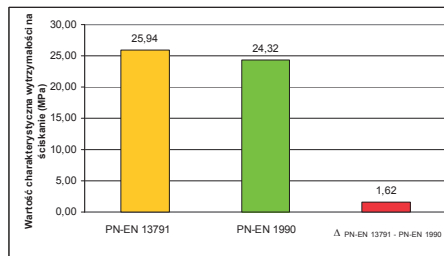
Otrzymane relacje empiryczne dla zalecanych procedur normowych przedstawiono na rys. 1. Największe różnice wartości wytrzymałości charakterystycznej otrzymano z relacji empirycznej dla $n=3$ (3,93 MPa), a najmniejsze dla $n=15$ (0,65 MPa).



Rys. 1. Relacje empiryczne dla prób o różnej liczebności według procedur normowych zalecanych w PN-EN 13791 i PN-EN 1990 oraz odchylenia standardowego 4,86MPa

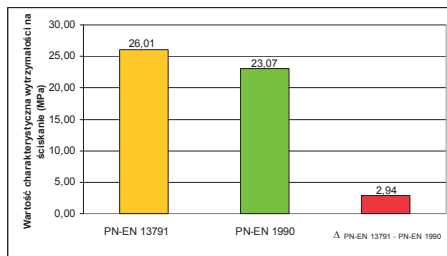
Kolejnym etapem obliczeń było wykorzystanie generatora liczb pseudolosowych i obliczenie oraz porównanie wartości wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie według zleceń normowych (1), (3), (9), (10), (11) zawartych w [1] i [2].

Otrzymana różnica wartości wytrzymałości na ściskanie z symulacji 1000 grup po $n=15$ wyników dla odchylenia standardowego 4,86 MPa i średniej 33 MPa dla procedur zalecanych w PN-EN 13791 i PN-EN 1990 to 1,65 MPa (rys. 2). Jest to więc wartość zbliżona do oczekiwanej 0,65 MPa z relacji empirycznych. Błąd względny oszacowania wartości wytrzymałości charakterystycznej wynosi 6%.

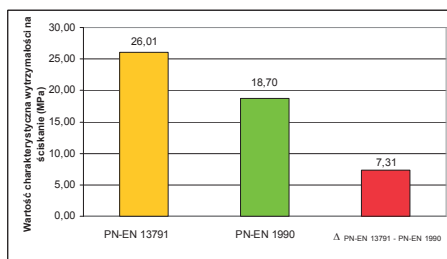


Rys. 2. Wartości wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie otrzymane dla odchylenia standardowego 4,86 MPa i próby o liczebności $n=15$

Wartość wytrzymałości charakterystycznej określono również dla próby o liczebności $n=3$ oraz $n=6$ generując 1000 grup po $n=3$ oraz $n=6$ wyników badań (rys. 3 i 4). Otrzymane różnice wartości charakterystycznej są większe niż oczekiwane z relacji empirycznych. Dla próby o liczebności $n=6$ jest to 2,94 MPa, a dla $n=3$ jest to 7,31 MPa. Błąd względny określenia wartości wytrzymałości charakterystycznej dla próby o liczebności $n=6$ wynosi 11%, a dla próby o liczebności $n=3$ to 28%.



Rys. 3. Wartości wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie otrzymane dla odchylenia standardowego 4,86 MPa i próby o liczebności $n=6$



Rys. 4. Wartości wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie otrzymane dla odchylenia standardowego 4,86 MPa i próby o liczebności $n=3$

Różnice wartości charakterystycznej wytrzymałości na ściskanie dla obu metod obliczeniowych oraz procedur obliczeniowych zaproponowanych w PN-EN 13791 oraz PN-EN 1990 maleją wraz ze wzrostem liczebności próby.

Tabela 1. Różnica wytrzymałości charakterystycznej dla procedur zalecanych w PN-EN 13791 i PN-EN 1990

Metoda obliczeń	Różnica wytrzymałości charakterystycznej (MPa)		
	$n=15$	$n=6$	$n=3$
Symulacja	1,62	2,94	7,31
Metoda statystyczna	0,65	-1,50	3,93
Błąd względny oszacowania	6%	11%	28%

Wartości wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie określone zgodnie z normą PN-EN 13791 są porównywalne z obliczonymi wartościami według metody statystycznej zaproponowanej w PN-EN 1990.

Największą różnicę określenia wartości charakterystycznej otrzymano dla próby o liczebności $n=3$. Błąd względny oszacowania wytrzymałości charakterystycznej betonu na ściskanie wyniósł 28%.

O wyborze i liczbie miejsc pobierania odwiertów decydują: potrzeba zapewnienia statystycznej reprezentatywności i wymaganej dokładności oszacowania, nie osłabienia konstrukcji, obniżenia kosztu i pracochłonności odwiercania i naprawy powstałych ubytków konstrukcji. Według L. Brunarskiego [8] dokładność w próbie ściskania betonu rzędu około 10% uzyskuje się przy liczności próbek min 6, dlatego przy ocenie betonu w konstrukcji oprócz czynników ekonomicznych należy wziąć pod uwagę wiarygodność uzyskiwanych wyników badań. Przeprowadzona analiza statystyczna oraz metoda symulacyjna potwierdziła, że zaproponowana przez L. Brunarskiego w [8] liczebność $n=6$ jest próbą optymalną ze względów zarówno wiarygodności, jak i ekonomii.

6. Wnioski

Oceny istniejących konstrukcji, które mają być modernizowane, przeprojektowywane lub zostały uszkodzone dokonuje się zwykle poprzez zastosowanie metod statystycznych. Norma PN-EN 13791 zaleca szacowanie wartości wytrzymałości charakterystycznej na

podstawie kryteriów zawierających współczynnik k (zaproponowany a priori), którego wartość uzależniona jest od liczebności próby. Procedura ta różni się od procedur zalecanych w PN-EN 1990, Załącznik D „Projektowanie wspomagane badaniami”, na podstawie metod statystycznych. Numeryczne symulacje przeprowadzone dla rozkładu normalnego o średniej 33 MPa i odchyleniu standardowym 4,86 MPa wskazują, że wartości charakterystyczne wytrzymałości na ściskanie otrzymane według EN 13791 są porównywalne do wartości określonych zgodnie z metodami statystycznymi zalecanymi w PN-EN 1990.

Procedury obliczeniowe zaproponowane w normach PN-EN 13791 oraz PN-EN 1990 różnią się od siebie, jednak oszacowane wartości wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie są porównywalne, co może świadczyć o spójności zaproponowanych zaleceń oraz procedur szacowania wartości wytrzymałości na ściskanie. Otrzymane różnice wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie są porównywalne i nie mają wpływu na bezpieczeństwo i niezawodność projektowanych konstrukcji budowlanych.

Literatura

- 1 PN-EN 13791:2008 Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych
- 2 PN-EN 1990 Eurokod: Projektowanie konstrukcji
- 3 PN-EN 1992 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu
- 4 PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- 5 ISO 13822 ISO 13822:2010, Bases for design of structures - Assessment of existing structures
- 6 ISO 12491:1997, Statistical methods for quality control of building materials and components
- 7 PN ISO 2394 Ogólne zasady niezawodności konstrukcji budowlanych, kwiecień 2000
- 8 Brunarski L., Metody badawcze stosowane przy ocenie konstrukcji budowlanych - oszacowanie wytrzymałości betonu in situ. Sesja Naukowo-Techniczna Instytutu Techniki Budowlanej: Diagnostyka i Wzmacnianie Konstrukcji Żelbetowych, Warszawa 15 marca 1994
- 9 Czarnecki L., Beton wg Normy PN-EN 206-1 Komentarz, Polski Cement, 2007
- 10 Firkowicz S., Statystyczne badanie wyrobów, WNT, Warszawa 1970
- 11 Holicky M., Jung K., Sykora M., Estimation of concrete strength from small samples, 5 -th IPW, Ghent 2007, s.232-239

Estimation of the characteristic compressive strength value of concrete based on the current code recommendations

Izabela Skrzypczak¹

¹ *Department of Geodesy and Geotechnics, Faculty of Civil Engineering and Environmental, Rzeszow University of Technology, e-mail: izas@prz.edu.pl*

Abstract: The use of cores is an integral part of the assessment of existing structures that are modernized, redesigned or have been damaged. Evaluation of the test results and the estimation of characteristic values of compressive strength can be performed according to the statistical method proposed by the Annex D of the PN-EN 1990 [1] standard, and also according to the PN-EN 13791 [2]. The procedures recommended in these both documents are different which can lead to various assessments of the characteristic values. The author has been verified whether the empirical relationships, defined in PN-EN 13791 [2], lead to obtaining larger values of characteristic strength and, consequently, to estimation at the unsafe region. The characteristic compressive strength was determined in accordance with the recommendations of the PN-EN 13791 code [2] and the PN-EN 1990 - Annex D [1].

Keywords: concrete characteristic strength, estimation, recommendations of codes