

Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach budowlanych na podstawie badania odwiertów rdzeniowych, w świetle nowej normy europejskiej EN 13791:2019

Assessment of the compressive strength of concrete in building structures based on core drilling tests, in the light of the new European standard EN 13791:2019

dr inż. Andrzej Moczko (ORCID: 0000-0002-2492-2283), Politechnika Wrocławska

DOI: 10.5604/01.3001.0053.9399

Streszczenie: Panuje powszechne przekonanie, że badania próbek wycinanych z odwiertów rdzeniowych są rozstrzygające dla oceny jakości betonu w istniejących konstrukcjach. W 2008 roku w Polsce wprowadzona została europejska norma EN 13791 [1], która uporządkowała zasady tej oceny. Procedury te przez ponad 10 lat były powszechnie stosowane w naszej praktyce inżynierskiej. W grudniu 2019 roku nastąpiła nowelizacja tejże normy [2], istotnie zmieniająca te zasady, co jest do dzisiaj źródłem wielu wątpliwości i nieporozumień. Praca niniejsza pokazuje najważniejsze zmiany dokonane w stosunku do „starej” wersji normy oraz przedstawia przykłady zastosowania znowelizowane zasady oceny jakości betonu in-situ.

Słowa kluczowe: beton, odwierty rdzeniowe, wytrzymałość betonu na ściskanie w konstrukcji.

Abstract: There is a general belief that testing cores is decisive for a reliable assessment of the quality of concrete in existing structures. In 2008, the European standard EN 13791 [1] was introduced in Poland, which organized the rules for this type of concrete quality assessment. These procedures have been widely used in our engineering practice for over 10 years. In December 2019, this standard was revised [2], significantly changing these rules, which is still a source of many doubts and misunderstandings. This paper shows the most important changes in relation to the “old” version of this standard and, using examples, presents new rules for assessing the quality of in-situ concrete basing on the tests of cores.

Keywords: concrete, core drilling, compressive strength of concrete in construction.

1. Wprowadzenie

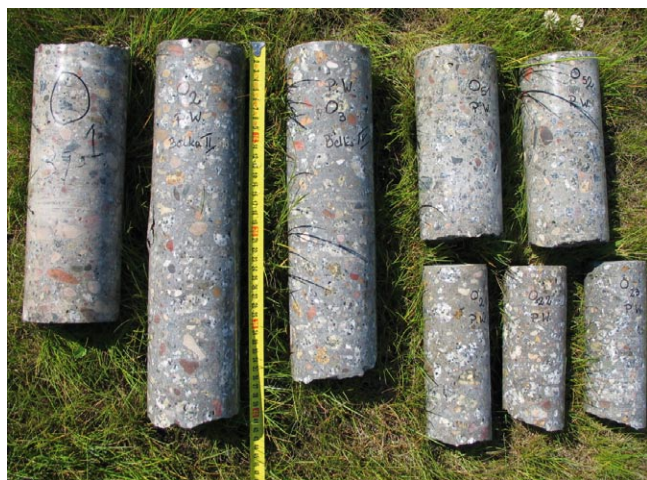
Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w istniejących konstrukcjach (in-situ) zasadniczo różni się od oceny jakości betonu jako materiału dostarczanego na budowę, bazującego na ścisaniu normowych próbek sześciennych, zgodnie z PN-EN 206 [3], określającą między innymi klasę wytrzymałościową badanego betonu. Natomiast wytrzymałość in-situ to wielkość rzeczywista, charakteryzująca parametry mechaniczne betonu tu i teraz. Jej ocena nie jest prostym zadaniem. Mamy bowiem do czynienia z szeregiem różnych czynników, które istotnie wpływają na uzyskiwane wyniki, niezależnie od jakości samego betonu. Należy do nich zaliczyć między innymi warunki wbudowania, dojrzewania, a także jego pielęgnacji. Dlatego też, istotne znaczenie dla wiarygodności tego rodzaju oceny mają zarówno znormalizowane procedury wycinania i badania odwiertów, jak i właściwa ich interpretacja.

2. Badania odwiertów rdzeniowych

2.1. Zasady wycinania odwiertów z istniejącej konstrukcji

Badania wytrzymałościowe betonowych odwiertów rdzeniowych, wycinanych bezpośrednio z istniejącej konstrukcji budowlanych (rys. 1), uważane są powszechnie za najbardziej wiarygodne źródło informacji o rzeczywistej jakości wbudowanego betonu. Wyniki tych badań najczęściej przesądzą występujące wątpliwości odnośnie parametrów mechanicznych badanego betonu i są zwykle punktem odniesienia dla oceny wiarygodności wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji.

Wiarygodność oceny parametrów mechanicznych betonu w istniejących konstrukcjach budowlanych jest w znacznym stopniu uzależniona od spełnienia szeregu warunków, związanych z prawidłowym wyborem miejsc pobrania odwiertów, ich wielkością oraz sposobem wycięcia. Zagadnienia



Rys. 1. Widok grupy odwiertów rdzeniowych, wyciętych z istniejącej konstrukcji betonowej

te w znacznym stopniu reguluje norma [4]. Zostały one także wyczerpująco omówione w pracy [5]. Niemniej jednak, dla pełnego obrazu omawianej problematyki, warto w tym miejscu przytoczyć najważniejsze zasady postępowania przy pobieraniu odwiertów rdzeniowych.

Lokalizacja oraz liczba miejsc, z których mają być pobrane odwierty rdzeniowe, jest ściśle uzależniona od celu i zakresu prowadzonych badań. W pierwszym rzędzie należy tu brać pod uwagę konieczność zapewnienia wymaganej reprezentatywności, wymóg możliwie jak najmniejszego osłabienia konstrukcji oraz dążenie do minimalizacji kosztów



Rys. 2. Widok sposobu wycinania odwiertu rdzeniowego z płyty pomostowej obiektu mostowego

zarówno samego wiercenia, jak i późniejszej naprawy powstałych uszkodzeń.

W celu zapewnienia maksymalnie zbliżonych warunków badań wytrzymałościowych odwiertów rdzeniowych do warunków określonych dla próbek normowych [3] zaleca się, aby odwierty były pobierane prostopadle do kierunku betonowania. Niemniej jednak w niektórych przypadkach, rodzaj badanej konstrukcji wymusza kierunek wycinania odwiertów, zgodny z kierunkiem układania betonu. Z tego rodzaju sytuacją mamy do czynienia np. w czasie badania mostowych płyt pomostowych (rys. 2), betonowych nawierzchni drogowych, czy też różnego rodzaju fundamentów.

W praktyce inżynierskiej preferowana średnica odwiertów rdzeniowych jest zbliżona do 100 mm. Takie przyjęcie wynika w pierwszej kolejności z faktu, iż stosunek wymiaru maksymalnego ziarna zastosowanego kruszywa do średnicy odwiertu nie powinien być większy niż 1:3, co w praktyce oznacza, że przy kruszywie o uziarnieniu do 32 mm optymalna średnica jest zbliżona do 100 mm.

Jednocześnie stosowne przepisy normowe [1, 4] stanowią, iż wartości wytrzymałości betonu na ściskanie, uzyskiwane na próbkach walcowych, których średnica i wysokość są równe i zbliżone do 100 mm, odpowiadają wytrzymałości, określanej na normowych próbkach sześciennych o boku równym 150 mm, wykonywanych i dojrzewających w tych samych warunkach.

Istotną kwestią, wymagającą należytej staranności, jest także wcześniejsza lokalizacja prętów zbrojeniowych, tak aby w miarę możliwości uniknąć ich przecięcia.

2.2. Przygotowanie próbek do badań

Wycięte z istniejącej konstrukcji odwierty rdzeniowe, powinny być poddane badaniom makroskopowym, mającym na celu dokonanie oceny jakościowej pozyskanych odwiertów w kontekście możliwości ich dalszego wykorzystania w badaniach wytrzymałościowych. Uwaga ta dotyczy w szczególności sprawdzenia, czy w strukturze betonu występują wady wewnętrzne bądź fragmenty zbrojenia.

Po wyeliminowaniu uszkodzonych fragmentów odwierty należy pociąć na próbki przeznaczone do badań wytrzymałościowych, w zależności od tego, czy uzyskiwane wyniki mają być wyrażone jako wytrzymałość na ściskanie, odpowiadająca badaniom próbek sześciennych o boku 150 mm, czy też jako wytrzymałość słupowa, uzyskiwana na próbkach walcowych o proporcji wysokości do średnicy równej 2:1.

W warunkach polskich najczęściej przyjmuje się wysokość próbki równą jej średnicy i wynoszącą około 100 mm, co pozwala traktować wynik badania jako tożsamy z wytrzymałością próbki sześciennych o boku równym 150 mm, wykonanej i dojrzewającej w tych samych warunkach.

Kluczową kwestią, warunkującą wiarygodność wyników badań wytrzymałościowych, próbek wyciętych z odwiertów rdzeniowych, jest zapewnienie równoległości powierzchni, do których przykładana jest siła ściskająca.

W tym celu zaleca się przeszlifowanie zewnętrznych powierzchni próbek betonowych. Szlifowanie powierzchni uznaje się za podstawowy sposób zapewnienia ich równoległości. Jako alternatywne dla szlifowania dopuszcza się także tzw. „kapslowanie”, polegające na zastosowaniu sztywnych metalowych nakładek dociskowych, wypełnionych warstwą zagęszczonego piasku kwarcowego, bądź też wyrównaniu powierzchni wyprawą z cementów wysokoglinowych lub mieszanek siarkowych. Szczegółowe zasady wykonania poszczególnych rodzajów „kapslowania” oraz przebieg samego badania próbek na ściskanie sformułowane zostały w normie [6].

3. Różnice pomiędzy „nową” i „starą” wersją normy PN-EN 13791

Należy podkreślić, że przedstawione powyżej uwarunkowania badania wytrzymałości na ściskanie betonu w istniejących konstrukcjach budowlanych dotyczą jedynie sposobu wycinania oraz przygotowania próbek betonu do badań. Nie zawierają natomiast informacji ani wskazówek odnośnie interpretacji uzyskiwanych wyników. Kwestia ta przez ostatnie 10 lat była regulowana przez normę PN-EN 13791 z 2008 roku [1], która między innymi określała kryteria kwalifikowania danego betonu do odpowiedniej klasy wytrzymałościowej. Szczegółowe omówienie tych zagadnień można między innymi znaleźć w pracach [7, 8].

W grudniu 2019 roku nastąpiła nowelizacja tejże normy [2], która istotnie zmieniła filozofię oceny jakości badanego betonu, ocenianej na podstawie badania odwiertów rdzeniowych. Jest to do dzisiaj źródłem wielu wątpliwości i nieporozumień. Omówienie szczegółów tych nowych uregulowań można znaleźć między innymi w pracach [9, 10].

Pierwszą istotną zmianą w stosunku do dotychczasowych zaleceń jest dopuszczenie do badań odwiertów o średnicy ≥ 75 mm, w porównaniu do wymaganych dotąd 100 mm.

Kolejną, kluczową zmianą, wprowadzoną przez tę normę jest fakt, iż co do zasady nie przewiduje ona określania klasy wytrzymałościowej betonu w istniejącej konstrukcji i ogranicza się jedynie do określenia charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w danym miejscu pomiarowym. Ta pozornie mało istotna zmiana powoduje szereg wątpliwości i nieporozumień pomiędzy uczestnikami procesu budowlanego. Dotychczasowe procedury normowe były znacznie prostsze i dawały odpowiedź na najczęściej zadawane pytanie – z jaką klasą wytrzymałościową mamy do czynienia w konkretnym przypadku? Obecna wersja wspomnianej normy [2] nie daje wprost odpowiedzi na to pytanie.

Dodatkową komplikacją jest wprowadzenie zasady, iż wszystkie uzyskiwane w badaniach odwiertów rdzeniowych wartości wytrzymałości betonu $f_{ck, is}$ zaleca się odnosić do wyników badania odwiertów o proporcji wysokości do średnicy równej 2:1, co oznacza, że pojęcie

wytrzymałości w konstrukcji (in-situ compressive strength) odnosi się jedynie do tzw. wytrzymałości słupowej. Jest to poważne utrudnienie, jako że w polskiej praktyce inżynierskiej w powszechnym użyciu jest pojęcie wytrzymałości kostkowej, określanej na próbkach sześciennych o boku 150 mm. W rzeczywistości fakt ten oznacza, że każdorazowo wynik badania odwiertu o stosunku wysokości do średnicy równym 1:1 (odpowiadający wytrzymałości kostkowej) należy pomnożyć przez odpowiedni współczynnik przeliczeniowy.

Wartość tego współczynnika, określanego w nowej wersji normy [2] jako CLF (*Core Length Factor* – współczynnik długości odwiertu) zaleca się przyjmować jako równy 0,82. Jest to również istotna zmiana, bo dotychczas wartość tego współczynnika była przyjmowana jako równa 0,80.

Zmieniono także sposób przechowywania odwiertów od momentu pobrania do chwili badania. Wcześniej zakładano badania próbek w stanie powietrzno-suchym. Obecnie dąży się do badania próbek w stanie wilgotnościowym zbliżonym do stanu betonu w konstrukcji. Dlatego odwierty po wycięciu z konstrukcji zaleca się, aby były przechowywane w szczelnych pojemnikach, pozwalających na utrzymanie ich wilgotności zbliżonej do istniejącej w konstrukcji.

Procedury oceny jakości betonu, na podstawie badania odwiertów rdzeniowych zawarte w „nowej” wersji wspomnianej normy [2], wyraźnie różnicują dwa przypadki:

- oszacowanie wytrzymałości betonu na ściskanie w istniejącej (starej) konstrukcji,
- ocena klasy wytrzymałości betonu na ściskanie w razie wątpliwości co do spełnienia deklarowanej jakości betonu na miejscu budowy.

4. Oszacowanie wytrzymałości betonu w istniejącej konstrukcji

Ten przypadek wzbudza najwięcej wątpliwości interpretacyjnych, ponieważ zasadniczo zmienia obowiązujące dotychczas podejście do oceny jakości betonu w istniejących (starych) obiektach budowlanych. Pierwszą istotną zmianą jest wprowadzenie do normy wymogu, iż minimalna liczba wiarygodnych wyników, uzyskanych w czasie badań wytrzymałościowych odwiertów, niezbędna dla określenia wartości charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie $f_{ck, is}$ w konstrukcji, wynosi 8, co nie zawsze jest możliwe do zrealizowania. Dotychczas minimalna liczba wyników wynosiła 3.

Wyjątkiem jest przypadek tzw. „małego miejsca pomiarowego”, zawierającego od jednego do trzech elementów o całkowitej objętości nie większej niż około 10 m³. W takim przypadku minimalna liczba odwiertów jest równa 3, z tym, że za wartość wytrzymałości charakterystycznej betonu na ściskanie $f_{ck, is}$ przyjmuje się najmniejszą z uzyskanych wartości wytrzymałości.

Dodatkowym novum jest również rezygnacja ze stosowania współczynnika 0,85 (współczynnik wyrażający stosunek charakterystycznej wytrzymałości na ściskanie betonu w konstrukcji do charakterystycznej wytrzymałości znormalizowanych próbek do badania), Tym samym korzystanie z tabeli 1, zawartej w [1], do ustalania klasy wytrzymałościowej betonu stało się bezprzedmiotowe. W konsekwencji zmienione zostały także normowe wzory, służące do określania charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie. Za wartość charakterystycznej wytrzymałości na ściskanie w istniejącej konstrukcji $f_{ck, is}$ przyjmuje się obecnie mniejszą z dwóch wartości:

$$f_{ck, is} = f_{c, m(n)is} - k_n \cdot s \quad (1) \quad \text{oraz} \quad f_{ck, is} = f_{c, is, lowest} + M \quad (2)$$

gdzie:

k_n – zależy od liczby badanych próbek (tab. 1),

M – zależy od wartości $f_{c, is, lowest}$ (tab. 2),

s – odchylenie standardowe, jako większa z wartości – obliczone odchylenie standardowe lub wartość, przy której współczynnik zmienności wynosi 8%

Tabela 1. Wartości współczynnika k_n

n	8	10	12	16	20	30	∞
k_n	2,00	1,92	1,87	1,81	1,76	1,73	1,64

Tabela 2. Wartości zapasu M

Wartość $f_{c, is, lowest}$ [MPa]	Zapas M [MPa]
≥ 20	4
$\geq 16 < 20$	3
$\geq 12 < 16$	2
< 12	1

4.1. Przykład obliczeniowy

Należy wyznaczyć wartość wytrzymałości charakterystycznej badanego betonu dla wyników uzyskanych w badaniach odwiertów o proporcji wymiarów 1:1, zestawionych w tabeli 3.

Krok 1: Przeliczenie wartości wytrzymałości kostkowej na wytrzymałość słupową za pomocą współczynnika CLF = 0,82 (dolny wiersz tabeli 3).

Tabela 3. Wartości wytrzymałości na ściskanie uzyskane w czasie badania odwiertów

Punkt pomiarowy	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
$f_{c, 1:1 \text{ core}}$ [MPa]	26,8	29,0	37,5	31,5	26,0	25,2	27,6	27,9	31,6	23,5
$f_{c, is}$ [MPa]	22,0	23,8	30,8	25,8	21,3	20,7	22,6	22,9	25,9	19,3

Krok 2: Wyliczenie wartości: $f_{c, m(10)is} = 23,51$ MPa, $s = 3,30$ MPa, oraz $f_{c, is, lowest} = 19,3$ MPa.

Krok 3: Wyznaczenie wartości odchylenia standardowego, odpowiadającego współczynnikowi zmienności 8%:

$0,08 \times 23,51 = 1,88$ MPa < 3,30 MPa (wartość rzeczywista).

Krok 4: Wyznaczenie wartości charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie jako mniejszej wartości z dwóch poniższych:

$$f_{ck, is} = 23,51 - 1,92 \times 3,30 = 17,2 \text{ MPa}$$

$$\text{oraz } f_{ck, is} = 19,3 + 3 = 22,3 \text{ MPa}$$

gdzie: wartość $k_n = 1,92$ przyjęto z tabeli 1, a wartość $M = 3$ MPa przyjęto z tabeli 2.

Wniosek: Szacunkowa wartość charakterystycznej wytrzymałości badanego betonu na ściskanie wynosi 17,2 MPa.

5. Ocena klasy wytrzymałościowej betonu w przypadku wątpliwości co do jego jakości

Istotnej zmianie uległa także procedura oceny jakości betonu w sytuacji, gdy pojawiają się wątpliwości co do tego, czy rzeczywista jakość betonu wbudowanego w trakcie wznieszenia danego obiektu odpowiada deklarowanej klasie wytrzymałościowej.

Postępowanie w takim przypadku polega na przyjęciu wartości charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie, wynikającej z jego oczekiwanej klasy wytrzymałościowej $f_{ck, spec}$ i wyliczeniu, zgodnie z podanymi kryteriami oceny, wartości wytrzymałości średniej $f_{cm, is}$ i minimalnej $f_{is, lowest}$ koniecznych dla spełnienia tychże kryteriów. Innymi słowy „nowa” wersja normy [2] pozwala jedynie na sprawdzenie, czy badany beton spełnia lub nie – wymagania stawiane założonej klasie wytrzymałościowej betonu.

Kryteria oceny, a co za tym idzie i zalecane wzory są, w powyższym przypadku, uzależnione od objętości badanego betonu, przy przyjęciu objętości 30 m³ jako wartości, której krotność jest podstawą do ich właściwego stosowania. Równoczesne spełnienie dwóch poniższych kryteriów jest warunkiem uznania, że badany beton odpowiada wymaganiom wytrzymałościowym, stawianym założonej klasie betonu:

$$\text{Kryterium 1: } f_{cm, is} \geq 0,85 (f_{ck, spec} + 1) \quad (3)$$

dla objętości betonu w miejscu badania, wynoszącej 2–4-krotności 30 m³

$$\text{oraz } f_{cm, is} \geq 0,85 (f_{ck, spec} + 2) \quad (4)$$

dla objętości betonu w miejscu badania, wynoszącej 5–6-krotności 30 m³

$$\text{Kryterium 2: } f_{is, lowest} \geq 0,85 (f_{ck, spec} - M) \quad (5)$$

gdzie:

M = 4 MPa dla betonów klasy C20/25 lub wyższych,

M = 3, 2 lub 1 MPa odpowiednio dla klas wytrzymałości C16/20, C12/15 i C8/10.

W przypadku gdy mamy do czynienia z niewielką objętością betonu, nieprzekraczającą 30 m³, obowiązuje jedynie Kryterium 2.

5.1. Przykład obliczeniowy

Deklarowana klasa wytrzymałościowa wznoszonego fragmentu konstrukcji była klasą C25/30. W trakcie realizacji obiektu pojawiły się wątpliwości odnośnie spełnienia przez beton wymagań wytrzymałościowych, wynikających z założonej klasy wytrzymałościowej. Dla wyjaśnienia powstałych wątpliwości zbadano 4 odwierty rdzeniowe o średnicy i wysokości równej około 100 mm, które zostały wycięte z miejsca pomiarowego, o łącznej objętości wynoszącej około 60 m³, uzyskując następujące wartości:

$$f_{c1, 1:1 \text{ core}} = 29,5 \text{ MPa} \quad f_{c2, 1:1 \text{ core}} = 33,3 \text{ MPa}$$

$$f_{c3, 1:1 \text{ core}} = 30,5 \text{ MPa} \quad f_{c4, 1:1 \text{ core}} = 29,7 \text{ MPa}$$

Krok 1: Przeliczenie wartości wytrzymałości kostkowej na wytrzymałość słupową za pomocą współczynnika CLF = 0,82:

$$f_{c1, is} = 24,2 \text{ MPa} \quad f_{c2, is} = 27,3 \text{ MPa}$$

$$f_{c3, is} = 25,0 \text{ MPa} \quad f_{c4, is} = 24,4 \text{ MPa}$$

Krok 2: Wyliczenie wartości wytrzymałości średniej ($f_{cm, is} = 25,2 \text{ MPa}$) oraz wartości najmniejszej ($f_{is, lowest} = 24,2 \text{ MPa}$).

Krok 3: Sprawdzenie obu kryteriów oceny, przyjmując dla klasy C25/30 $f_{ck, spec} = 25 \text{ MPa}$.

$$\text{Kryterium 1: } f_{cm, is} \geq 0,85 (f_{ck, spec} + 1) = 0,85 (25 + 1) = 22,1 \text{ MPa}$$

$$f_{cm, is} = 25,2 \text{ MPa} > 22,1 \text{ MPa}$$

$$\text{Kryterium 2: } f_{is, lowest} \geq 0,85 (f_{ck, spec} - M) = 0,85 (25 - 4) = 17,9 \text{ MPa}$$

$$f_{is, lowest} = 24,2 \text{ MPa} > 17,9 \text{ MPa}$$

Wniosek: oba kryteria oceny są spełnione. Można przyjąć, że badany beton odpowiada wymaganiom wytrzymałościowym stawianym klasie wytrzymałości C25/30.

6. Podsumowanie

Podsumowując powyższe rozważania, należy stwierdzić, że wprowadzona nowelizacja normy PN EN 13791 jest znacznym utrudnieniem oceny jakości betonu w istniejących konstrukcjach za pomocą badania odwiertów rdzeniowych. Szczególną niedogodnością jest brak możliwości określenia klasy wytrzymałościowej betonu. Określenie jedynie wartości charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w istniejącej konstrukcji często nie jest wystarczające i może prowadzić do nieporozumień pomiędzy uczestnikami procesu budowlanego.

Dodatkowym utrudnieniem jest także konieczność odnośzenia wszystkich wyników badań do tzw. wytrzymałości słupowej, określonej na próbkach walcowych o proporcji wysokości do średnicy równej 2:1, zamiast do wytrzymałości kostkowej, określanej na próbkach sześciennych o boku 150 mm, a także wymóg dysponowania co najmniej 8 wynikami badania odwiertów rdzeniowych, co w praktyce jest trudne do zrealizowania.

Przeprowadzone obliczenia porównawcze wykazały, że o ile w przypadku wątpliwości co do spełnienia deklarowanej jakości betonu na miejscu budowy, zarówno „stara”, jak i „nowa” wersja omawianej normy dają zbliżone wyniki, wartości charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie, uzyskiwane zgodnie ze znowelizowanymi wymaganiami normowymi, są niższe od wartości wyznaczonych zgodnie ze „starą” normą.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 13791: 2008: Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych
- [2] PN-EN 13791: 2019: Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych
- [3] PN-EN 206-1: 2016: Beton: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [4] PN-EN 1250-1: 2019: Badania betonu w konstrukcjach – Odwierty rdzeniowe. Wycinanie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie
- [5] Moczko A., Badania odwiertów rdzeniowych w świetle aktualnych unormowań prawnych. Część 1 – pobieranie odwiertów z konstrukcji oraz badania makroskopowe. Budownictwo, Technologie, Architektura 1/2004, str. 24–27
- [6] PN-EN 12390-3: 2019: Badania betonu – Wytrzymałość próbek do badań na ściskanie
- [7] Brunarski L., Oszacowanie wytrzymałości „in-situ” – komentarz do PN-EN 13791:2008. Konferencja Dni Betonu 2010, materiały konferencyjne, str. 943–953
- [8] Moczko A., Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach na podstawie badania odwiertów rdzeniowych w świetle nowej normy europejskiej EN-13791:2007. Budownictwo, Technologie, Architektura 1/2008, str. 50–55
- [9] Bajorek G., Ocena betonu wbudowanego w konstrukcję w przypadku wątpliwości co do jego jakości. Budownictwo, Technologie, Architektura 1/2020, str. 68–72
- [10] Bajorek G., Nowe podejście do oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji istniejącej wg PN-EN 13791:2019-12. Budownictwo, Technologie, Architektura 2/2020, str. 62–67