

Nowe podejście do oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji istniejącej wg PN-EN 13791:2019-12

Streszczenie

Zaktualizowana w grudniu 2019 roku norma PN-EN 13791 wprowadza gruntowne zmiany w zasadach oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji. W tym artykule przedstawiono zagadnienia dotyczące oceny betonu w konstrukcjach istniejących. Zwrócono uwagę na bardziej precyzyjne zasady dotyczące wyznaczania miejsca pomiarowego i koniecznych w jego obrębie punktów pomiarowych. Precyzyjniejsze są również zasady szacowania wytrzymałości betonu w konstrukcji. W podsumowaniu zestawiono główne różnice pomiędzy starą i aktualną wersją normy.

Słowa kluczowe:

beton, ocena betonu w konstrukcji, wytrzymałość betonu w konstrukcjach istniejących, badania betonu

Abstract

Updated in December 2019, the PN-EN 13791 standard introduces profound changes in the rules for assessing the strength of concrete in construction. This article presents issues regarding the assessment of concrete in existing structures. Attention was drawn to more precise rules regarding the determination of the test region and necessary test location points within it. The rules for estimating the strength of concrete in a structure are also more precise. The summary contains the main differences between the old and the new version of the standard.

Keywords:

concrete, assessment of concrete in construction, concrete strength in existing structures, testing of concrete

1. Wprowadzenie

Praktyka inżynierska dość często wymaga oceny betonu w konstrukcji. Dotyczy ona w zasadzie dwóch sytuacji – pierwsza, na etapie diagnozowania obiektów istniejących oraz druga, w obiektach realizowanych, w przypadku wątpliwości co do jego jakości. W pierwszej chodzi przede wszystkim o informację o aktualnej wytrzymałości betonu w konstrukcji, która potrzebna jest np. do sprawdzania stanów granicznych konstrukcji. W drugiej natomiast chodzi o możliwość zaakceptowania wbudowanego betonu jako spełniającego wymagania specyfikacji, lub też jego dyskwalifikację.

Dla pozyskania takiej wiedzy, przez ostatnie kilkadziesiąt lat dopracowano się wielu metod i narzędzi badawczych pozwalających na szacowanie wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji. Generalnie dzielą się na bezpośrednie, niszczące, poprzez pobranie z konstrukcji odwiertów rdzeniowych, oraz pośrednie (teoretycznie nieniszczące), wśród których dominują dwie – metoda sklerometryczna i metoda ultradźwiękowa.

W tym czasie opracowano też sporo dokumentów normalizujących sposób postępowania przy ocenie, instrukcji, wytycznych, czy też opublikowanych raportów badawczych [3]. Dopóki nie wprowadzono do obiegu w 2008 roku normy europejskiej (PN-EN 13791:2008 [1]), służyły one jako dokumenty bazowe w ustalaniu zakresu badań, a później in-

terpretacji ich wyników. Z powodu zróżnicowanego podejścia do proponowanych działań, dawały też różniące się rozstrzygnięcia. Często pozwalały na sterowanie interpretacją wyników, niekoniecznie w stronę rzetelnej wiedzy o materiale konstrukcyjnym, ale na przykład w celu kwestionowania jakości, by w konsekwencji obniżyć wartość obiektu czy robót budowlanych. Najczęstszą wadą opracowań oceniających beton w konstrukcji był brak jasno określonego celu badań, a w ślad za nim brak właściwie przygotowanego programu badań, który dałby w efekcie wiarygodną wiedzę o ocenianych właściwościach. Czasami można było mieć wrażenie, że najpierw wykonywano badania, metodą, która dla diagnozującego była najbardziej dostępna (np. sklerometr, odwiert), a dopiero później zastanawiano się, którą teorię do nich dostosować, by uzyskać oczekiwane wnioski.

Wdrożona do stosowania w 2008 roku norma PN-EN 13791 [1] w znacznym stopniu uporządkowała zasady oceny betonu w konstrukcji, a to dlatego, że jako pierwszy dokument prawny rozwiązywała problem w sposób kompleksowy. Na rys. 1 przedstawiony jest schemat możliwości wykorzystania normy (zawarty w rozdziale „Wprowadzenie”), który przede wszystkim przymusza jej użytkownika do zdefiniowania celu badań – do wyboru jest jedna z trzech „ścieżek”, a dla każdej wymienione są wskazania odpowiednich rozdziałów normy zawierających wymogi w zakresie doboru metody, zakresu badań, a w końcu kryteria oceny.

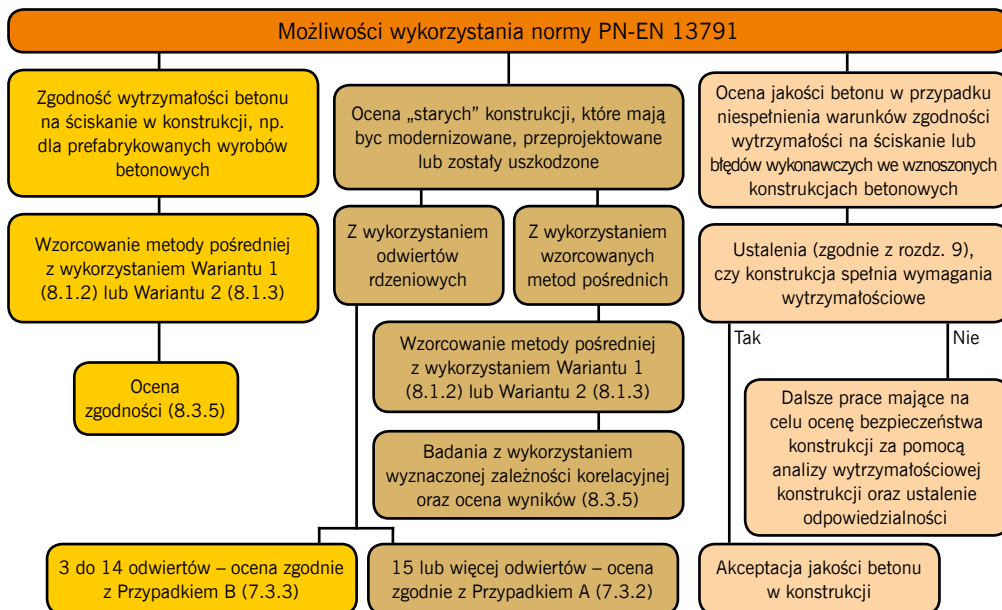
„Ścieżka” środkowa dotyczy zagadnień ujętych w niniejszym artykule, czyli oceny „starych” konstrukcji, które mają być modernizowane, przeprojektowane lub zostały uszkodzone. Ogólnie mówiąc, zasada działania ukierunkowana jest na ocenę charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji i obejmuje zdefiniowane w normie „miejsce pomiarowe”. Odbywa się za pomocą badania – albo odwiertów rdzeniowych, albo z wykorzystaniem wzorcowanych metod pośrednich (metoda sklerometryczna, „pull-out” i ultradźwiękowa). W zakresie kombinacji metod odwołuje się do ewentualnych postanowień krajowych lub literatury.

Nowa wersja normy PN-EN 13791:2019-12 [2], opublikowana w grudniu 2019 r., dość istotnie zmienia sposób postępowania, jak również zasady stosowania metod badania [9]. Dla właściwego zrozumienia nowego podejścia poniżej przedstawione jest w skrócie podejście stare, do którego środowisko inżynierskie stosujące i diagnozujące beton jako materiał konstrukcyjny zdążyło się już, przynajmniej częściowo, przyzwyczaić. Warto też, dla łatwiejszego zrozumienia zagadnień objętych normą, przypomnieć na początek dwie ważne definicje charakteryzujące obszar badań:

- punkt pomiarowy – ograniczony obszar wybrany do pomiarów, w którym oznacza się pojedynczy wynik pomiaru, wykorzystywany następnie do oszacowania wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji



foto: G. Stanię



Rys. 1. Schemat możliwości wykorzystania normy PN-EN 13791 do oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji przedstawiony w wersji normy z 2008 roku [1]. Uwaga: przywołana na schemacie numeracja rozdziałów pochodzi z normy

– miejsce pomiarowe – jeden lub kilka elementów konstrukcyjnych, albo prefabrykowanych wyrobów betonowych, co do których wiadomym jest lub przypuszcza się, że wykonane są z betonu o tych samych składnikach i tej samej klasie wytrzymałości na ściskanie, lub równoważnej objętości związanej z badaniem identyczności w zakresie wytrzymałości na ściskanie; miejsce pomiarowe zawiera wiele punktów pomiarowych.

2. Ocena betonu w konstrukcjach „starych” według normy PN-EN 13791:2008 [1]

Ocenę betonu w konstrukcji, która polega w tej normie na ocenie charakterystycznej wytrzymałości na ściskanie, przeprowadza się dla miejsca pomiarowego (patrz definicja powyżej). W zależności od objętości betonu poddawanego ocenie oraz od przyjętej metody badań (odwierty, metody pośrednie) ustala się liczbę punktów pomiarowych. Każdy punkt pomiarowy oznacza pojedynczy wynik badania, który posłuży w dalszych analizach związanych z oceną miejsca pomiarowego.

W przypadku wyboru odwiertów rdzeniowych jako metody badania, minimalna ich liczba to 3, przy czym jeśli ich średnica jest mniejsza niż 100 mm, to powinno ich być odpowiednio więcej (dla średnicy 50 mm trzy razy więcej). Każdy odwiert rdzeniowy odpowiada jednemu punktowi pomiarowemu. W zależności od liczby uzyskanych wyników badania, ich ocena odniesiona jest do kryteriów zestawionych w tab. 1. W efekcie obliczeń uzyskuje się wartość charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji $f_{ck, is}$, na podstawie której, korzystając z normowej tablicy, można zakwalifikować beton do odpowiedniej klasy wytrzymałości. Można też wyliczoną wartość zastosować bezpośrednio w obliczeniach sprawdzających konstrukcję. Ogólna przyjęta w normie zasada wskazuje, że wytrzymałość betonu w konstrukcji jest o 15% niższa niż ta oceniana na próbkach normowych, czyli $f_{ck, is} = 0,85 f_{ck}$.

W przypadku wyboru metody pośredniej do oceny charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji konieczne jest uprzednie wzorcowanie tej metody według wariantu 1. lub 2. – tab. 2. Trzeba w tym miejscu zwrócić uwagę, że samo

wzorcowanie metody to już co najmniej 9 odwiertów rdzeniowych, które mogą służyć ocenie betonu w konstrukcji (chyba że wzorcowanie przeprowadzono na tym samym betonie, ale na innych elementach lub obiektach). Przy stosowaniu metody pośredniej norma zaleca badania w co najmniej 15 punktach pomiarowych dla danego miejsca pomiarowego. W przypadku stosowania metody sklerometrycznej jeden punkt pomiarowy to konieczność wykonania co najmniej 9 odczytów w celu uzyskania pojedynczego wyniku, czyli liczby odbicia R. W metodzie ultradźwiękowej to jeden pomiar przed-

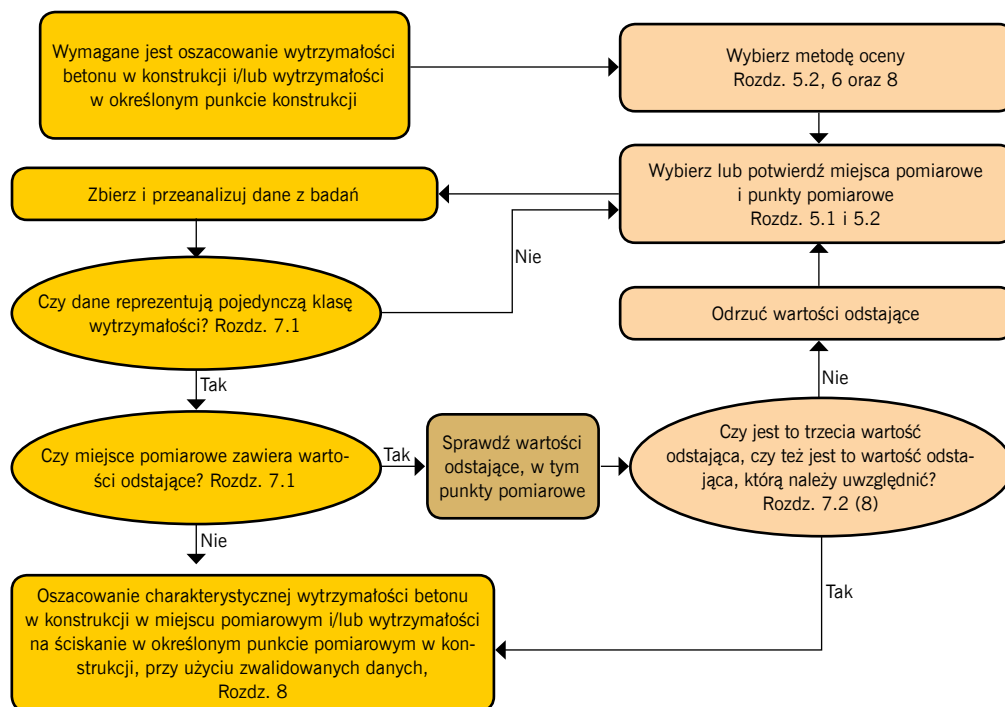
Tabela 1. Ocena betonu w konstrukcji z wykorzystaniem odwiertów rdzeniowych według zasad zawartych w wersji normy PN-EN 13791:2008 [1]

Ocena betonu w konstrukcji z wykorzystaniem odwiertów rdzeniowych	
Przypadek A	Przypadek B
Badania	
Liczba odwiertów dla miejsca pomiarowego ≥ 15	Liczba odwiertów dla miejsca pomiarowego 3 ÷ 14
Kryteria oceny	
$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - 1,48 \cdot s$ $f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4$	$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k^a$ $f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4$
^a zmienna k zależna od liczby ocenianych wyników badań: dla $n = 10 \div 14$, $k = 5$ dla $n = 7 \div 9$, $k = 6$ dla $n = 3 \div 6$, $k = 7$	

Tabela 2. Ocena betonu w konstrukcji z wykorzystaniem badań metodami pośrednimi według zasad zawartych w wersji normy PN-EN 13791:2008 [1]

Ocena betonu w konstrukcji metodą pośrednią z wykorzystaniem wzorcowanej zależności korelacyjnej	
Wariant 1	Wariant 2
Wzorcowanie – bezpośrednia korelacja z wynikami badań odwiertów rdzeniowych – minimum 18 par wyników (18 punktów pomiarowych): badanie pośrednie/odwiert	Wzorcowanie – przy wykorzystaniu ograniczonej liczby odwiertów rdzeniowych oraz podstawowej krzywej regresji – minimum 9 par wyników (9 punktów pomiarowych): badanie pośrednie/odwiert
Badania:	
Badanie metodą pośrednią miejsca pomiarowego (metoda sklerometryczna, ultradźwiękowa, pull-out) w minimum 15 punktach pomiarowych	
Kryteria oceny	
$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - 1,48 \cdot s$ $f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4$	

Rys. 2. Schemat blokowy do wyznaczania charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji dla miejsca pomiarowego oraz wytrzymałości na ściskanie w konstrukcji w określonym punkcie wg PN-EN 13791:2019-12 [2]. Uwaga: przywołana na schemacie numeracja rozdziałów pochodzi z normy



kości fali v , a w metodzie pull-out to jeden pomiar siły wyrwywającej F . Uzyskane w nich wyniki poddaje się analizie, a w efekcie uzyskuje się wartość charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji $f_{ck, is}$, na podstawie której, podobnie jak przy badaniu odwiertów rdzeniowych, kwalifikuje się beton do odpowiedniej klasy wytrzymałości. Norma w żadnym wypadku nie dyskwalifikuje do stosowania badań pośrednich bez wzorcowania, ale nie w celu ustalenia wartości wytrzymałości. Mogą one służyć np. ocenie jednorodności materiału konstrukcyjnego, albo wyznaczaniu miejsc słabszych.

3. Ocena betonu w konstrukcji według normy PN-EN 13791:2019-12 [1]

Aktualna wersja normy, po nowelizacji w grudniu 2019 r., w zasadzie nie definiuje przypadku oceny betonu w konstrukcji jako oceny „starych” konstrukcji. Ustala natomiast jako ogólne cele,

niezależnie od wieku konstrukcji, wyznaczenie wytrzymałości betonu w konstrukcji i/lub wyznaczenie wytrzymałości betonu w konstrukcji w określonym punkcie. Określony cel zdeterminowany może być potrzebą na przykład przeliczenia nośności lub odkształceń konstrukcji przy aktualnych parametrach wytrzymałościowych materiału, z którego jest wykonana. Jeśli taka potrzeba zaistnieje, tok postępowania nakreślony jest schematem blokowym przedstawionym na rys. 2.

Działanie rozpoczyna się od wyboru metody oceny dla przyjętego miejsca pomiarowego (patrz definicja w p. 1), przy czym przy ustalaniu miejsca pomiarowego konieczne jest ustalenie (na podstawie wiedzy inżynierskiej, dostępnej dokumentacji itp.), że obejmuje ono jeden rodzaj betonu. Następnie, w zależności od objętości betonu stanowiącego miejsce pomiarowe, celu badania i wymaganej pewności oszacowania, należy ustalić liczbę punk-

Tabela 3. Rodzaj badań i ich związek z punktami pomiarowymi i miejscami pomiarowymi (wg PN-EN 13791:2019-12 [2])

Rodzaj badania	Punkt pomiarowy	Miejsce pomiarowe
Wytrzymałość na ściskanie odwiertów rdzeniowych (PN-EN 12504-1)	Wynikiem badania może być wytrzymałość pojedynczego odwiertu lub średnia wytrzymałość, jeśli uzyskuje się więcej niż jedną próbkę rdzeniową w punkcie pomiarowym, np. kiedy długi odwiert dzielony jest na dwie lub więcej próbek rdzeniowych. W przypadku odwiertów o średnicy ≤ 75 mm ich liczba powinna być większa (dla średnicy 50 mm wynosi 3).	Do oszacowania charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w miejscu pomiarowym minimalna liczba ważnych wyników to osiem dla odwiertów o średnicy ≥ 75 mm. Zaleca się wykonanie odwiertów w dziesięciu punktach pomiarowych, aby uwzględnić możliwe wartości odstające. ^b Dla małego miejsca pomiarowego dopuszczalna jest liczba wyników co najmniej trzy. Minimalna liczba ważnych wyników dla odwiertów o średnicy ≥ 75 mm użytych w kombinacji z badaniami pośrednimi wynosi trzy. Zaleca się wykonanie odwiertów w czterech punktach pomiarowych, aby uwzględnić możliwą wartość odstającą.
Liczba odbicia ^a (PN-EN 12504-2)	Wynikiem badania jest liczba odbicia i jest ona medianą z minimum 9 prawidłowych odczytów w punkcie pomiarowym	Równomierne rozmieszczenie badań liczby odbicia wskazuje różnice w twardości powierzchniowej betonu w konstrukcji i pozwala zidentyfikować części miejsca pomiarowego, w których należy pobrać odwierty lub podjąć dalsze badania.
Metoda ultradźwiękowa ^a (PN-EN 12504-4)	Wynikiem badania może być pojedynczy pomiar prędkości fali ultradźwiękowej w pomiarze bezpośrednim lub pośrednim w przekroju betonowym, lub średnia prędkość, jeśli w punkcie pomiarowym wykonywane jest więcej niż jedno badanie	Równomierne rozmieszczenie badań ultradźwiękowych wskazuje zmiany gęstości betonu w konstrukcji i pozwala zidentyfikować części miejsca pomiarowego, w których należy pobrać odwierty lub podjąć dalsze badania.

^a ani liczba odbicia, ani prędkość fali ultradźwiękowej nie są bezpośrednimi pomiarami wytrzymałości na ściskanie, ale kiedy są wzorcowane dla zastosowanego betonu, mogą być użyte do oszacowania wytrzymałości betonu na ściskanie w tej konstrukcji (procedura wzorcowania na co najmniej 8 ważnych parach wyników: „metoda pośrednia/odwiert” zawarta jest w p. 8.2.1 normy [2])

^b norma [2] dopuszcza w rozdz. 8.1 minimalną liczbę ważnych wyników dla pojedynczych odwiertów o średnicy 50 mm (z betonu o uziarnieniu kruszywa do 16 mm) równą dwanaście. Wtedy trzeba wykonać odwierty w co najmniej 14 punktach pomiarowych, aby uwzględnić możliwe wartości odstające.

tów pomiarowych, a w nich z kolei liczbę bezpośrednich pomiarów – zalecenia zawiera tab. 3.

Po wykonaniu badań w liczbie co najmniej wskazanej w tab. 3 ich wyniki należy zebrać i poddać analizie, by odpowiedzieć na dwa zasadnicze pytania:

- czy wyniki reprezentują beton jednej klasy? – jeśli nie, należy ponownie dokonać ustalenia obszaru miejsca pomiarowego i wyznaczyć punkty pomiarowe dla dwóch lub więcej odmiennych betonów
- czy wyniki zawierają wartości statystycznie odstające? – jeśli tak, należy je odrzucić i przeprowadzić ponownie analizę.

Po przeprowadzeniu powyższych analiz można uznać uzyskane wyniki za ważne i poddać je dalszej obróbce w celu oceny charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji dla miejsca pomiarowego i/lub wytrzymałości na ściskanie w konstrukcji w określonym punkcie.

3.1. Ocena miejsca pomiarowego w celu ustalenia, czy reprezentuje ono beton jednej klasy wytrzymałości

Po uzyskaniu wyników zaplanowanych badań w wyznaczonym miejscu pomiarowym, może zaistnieć podejrzenie, że nie reprezentują one jednej klasy wytrzymałości betonu na ściskanie – pomimo że nie wystąpiła taka przesłanka na etapie planowania badań i zbierania informacji o konstrukcji. Może to być konsekwencją np. błędów wykonawczych, błędnych dostaw betonu, błędów w pielęgnacji, różnych warunków temperaturowych wykonawstwa itp.

Jeżeli z wyników badań wynika, że miejsce pomiarowe obejmuje ewidentnie dwie klasy betonu, to należy wtedy:

- podzielić zestaw danych na dwa miejsca pomiarowe, ale przy spełnieniu minimalnych wyma-

gań dla każdego miejsca pomiarowego (liczba punktów pomiarowych)

- podzielić dane na dwa zestawy danych i sprawdzić przy pomocy np. testu t-Studenta, czy wartości średnie są różne. Jeśli różnice są duże, dane dzieli się na dwa miejsca pomiarowe, jeśli nie, rozważa się je jako jedno miejsce pomiarowe – jeśli jednak występują duże różnice pomiędzy poszczególnymi wynikami badań, to jest wysoce prawdopodobne, że zostaną wyeliminowane przy sprawdzaniu wartości odstających.

3.2. Ocena poszczególnych wyników badań w miejscu pomiarowym

Jeśli zestaw otrzymanych wyników zawiera jedną lub więcej wartości wyjątkowo niskich lub wysokich, to należy je sprawdzić, czy są statystycznymi wartościami odstającymi. W tym celu można zastosować dowolną metodę statystyczną, ale gdy dane mają charakter rozkładu normalnego, norma przedstawia szczegółowo procedurę z zastosowaniem testu Grubbsa. Najwyższą lub najniższą wartość uzyskanego wyniku uznaje się za odstającą, gdy wartości wyliczone wg wzorów (1) i/lub (2) przekraczają wartość krytyczną G_p :

$$(f_{c, is, highest} - f_{c, m(n) is})/s > G_p \quad (1)$$

$$(f_{c, m(n) is} - f_{c, is, lowest})/s > G_p \quad (2)$$

Dla ułatwienia analiz krytyczne wartości G_p , dla poziomu istotności 1%, podane są w normie dla liczby wyników od 4 do 250.

W przypadku wartości odstających na obu krańcach zbioru badanie rozpoczyna się dla wartości bardziej odbiegającej od średniej. Badanie można zastosować dwukrotnie dla zestawu danych dla miejsca pomiarowego. Przed powtórzeniem ba-



CENTRUM TECHNOLOGICZNE BUDOWNICTWA INSTYTUT BADAŃ I CERTYFIKACJI

Akredytowane laboratorium badawcze - AB 535
Jednostka notyfikowana - NB 2039
Jednostka certyfikująca wyroby - AC 205



ul. Przemysłowa 23
35-105 Rzeszów



+48 17 864 04 50



ctb@ctb-ibc.pl

www.ctb-ibc.pl

Oferta:

certyfikacja zakładowej kontroli produkcji betonu towarowego
badania wstępne betonu towarowego
kompleksowa obsługa laboratoryjna producenta betonu towarowego
kompleksowa obsługa laboratoryjna producenta kruszyw
badania typu wyrobów budowlanych, w tym liniowych elementów odwodnień
obsługa laboratoryjna wykonawcy robót i nadzoru
ekspertyzy i opinie budowlane
szkolenia otwarte w zakresie budownictwa

dania pierwsza wartość odstająca jest wyłączona z obliczeń średniej i odchylenia standardowego. Jeśli zdarzyłoby się, że więcej niż dwie wartości są odstające, może to wskazywać, że w miejscu pomiarowym są co najmniej dwa różne betony i należy tę możliwość sprawdzić.

4. Oszacowanie wytrzymałości betonu na ściskanie koniecznej do oceny istniejącej konstrukcji

4.1. Oszacowanie wytrzymałości z wykorzystaniem wyłącznie badań odwiertów

Charakterystyczna wytrzymałość betonu na ściskanie w konstrukcji $f_{ck, is}$ wyliczana jest z wykorzystaniem wszystkich ważnych wyników badania z poniższych zależności, jako wartość mniejsza:

$$f_{ck, is} = f_{cm(n), is} - k_n \cdot s \quad (3)$$

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

We wzorach tych wartości k_n i M , zestawione są w tab. 4 i 5. Odchylenie standardowe s we wzorze (3) to obliczone zwykłe odchylenie standardowe albo wartość, która zapewnia 8% współczynnik zmienności.

Tabela 4. Wartości k_n do wzoru (3) [2]

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

Tabela 5. Wartości zapasu M we wzorze (4) [2]

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

Norma przewiduje ocenę betonu w konstrukcji w małym miejscu pomiarowym, które zdefiniowane jest jako jeden do trzech elementów i o objętości betonu nie większej niż ok. 10 m³, dla którego należy pobrać co najmniej trzy odwierty o średnicy ≥ 75 mm, przy tym co najmniej jeden z każdego elementu. Wylicza się dla niego wytrzymałość na ściskanie betonu w konstrukcji $f_{c, is}$. Jeśli lokalizacja odwiertów reprezentuje beton, który ma pozostać w konstrukcji, to jako wartość $f_{c, is}$ przyjmuje się najmniejszą wartość z tych trzech lub więcej odwiertów, przy czym rozrzut wyników nie może być większy niż 15% od średniej.

4.2. Oszacowanie wytrzymałości z wykorzystaniem kombinacji metody pośredniej i badań odwiertów

W zasadzie, aby możliwe było wykorzystanie kombinacji metody pośredniej i odwiertów, konieczne jest wzorcowanie metody pośredniej.

Do wzorcowania metody trzeba uzyskać 10 par wyników „metoda pośrednia/odwiert”, tak aby po ewentualnym odrzuceniu wartości odstających pozostało co najmniej 8 par. W każdym punkcie pomiarowym najpierw wykonuje się badanie pośrednie, a następnie w tym miejscu pobiera się odwiert rdzeniowy. Wyniki badania odwiertów przelicza się na wartości $f_{c, is}$ i umieszcza się je na wykresie na osi „y”, w relacji z wynikami badania metodą pośrednią na osi „x”. Następnie ustala się najlepiej

dopasowaną zależność metodą regresji liniowej – powinna być wystarczająca, ponieważ zakres wytrzymałości jest z reguły dość ograniczony.

Stosując ustalone równanie regresji liniowej należy przeliczyć wszystkie ważne wyniki badania metodą pośrednią na ich równoważne wartości $f_{c, is, reg}$ nawet w tych punktach pomiarowych, w których uzyskano rzeczywiste wyniki badań bezpośrednich (aby uniknąć podwójnego uwzględniania zmienności). Dla ustalonej regresji liniowej nie należy dokonywać ekstrapolacji o więcej niż 4 MPa na obu końcach udowodnionej relacji.

Uzyskane równania regresji stosuje się do oszacowania charakterystycznej wytrzymałości betonu w konstrukcji w miejscu pomiarowym i/lub oszacowania wytrzymałości betonu w konstrukcji w określonym punkcie.

Do oszacowania charakterystycznej wytrzymałości betonu w konstrukcji w miejscu pomiarowym stosuje się w zasadzie wzory (3) i (4), te same co do „obróbki” statystycznej w ocenie wyników pozyskanych wyłącznie z odwiertów rdzeniowych (p. 4.1), ale z małą modyfikacją opisaną w p.8.2.2 normy [2]. Wytrzymałość średnia wyliczana jest z wyników przeliczonych na wartości równoważne ($f_{c, is, reg}$), to znaczy:

$$f_{c, m(m)is} = \sum (f_{c, is, reg})/m \quad (5)$$

gdzie m jest liczbą ważnych wyników badania metodą pośrednią w miejscu pomiarowym. Z kolei odchylenie standardowe zastępowane jest ogólnym odchyleniem standardowym (wzory 6÷8 w normie [2]), uwzględniającym zmienność zarówno wyliczonych wartości równoważnych, jak i tych uzyskanych w badaniu bezpośrednim na odwiertach. Przy doborze współczynnika k_n z tab. 4, w miejscu liczby stopni swobody n wstawia się wartość $(n_{eff} + 1)$, gdzie n_{eff} oznacza efektywną liczbę stopni swobody (wyliczoną ze wzoru 9 w normie [2]). Z kolei we wzorze (4) $f_{c, is, lowest}$ jest mniejszą wartością z dwóch: najmniejszej wyliczonej i najmniejszej pomierzonej na odwiertach.

Przy oszacowaniu wytrzymałości betonu w konstrukcji w określonym punkcie trzeba wziąć pod uwagę fakt, że nie jest bezpieczne użycie średniej ustalonej zależności „metoda pośrednia/odwiert”, ponieważ istnieje 50% prawdopodobieństwo, że rzeczywista wytrzymałość jest mniejsza. Dlatego do tego wyliczenia trzeba wziąć wynik badania pośredniego przeliczony na wartość dolnej krzywej granicznej wyznaczającej 5% poziom istotności, co w efekcie prowadzi do wyliczenia $f_{c, is, est}$ (wykorzystując wzór 10 z normy [2]). Ta wartość dopiero może być użyta w ocenie konstrukcji. Jeżeli w określonym punkcie badania występuje wynik badania odwiertu o średnicy ≥ 75 mm, to w ocenie stosuje się wartość tego badania, a nie wartość oszacowaną z badania pośredniego. Norma wskazuje też, że pojedynczy wynik badania odwiertu o średnicy 50 mm jest niewystarczający.

4.3. Oszacowanie wytrzymałości z wykorzystaniem metody pośredniej i badań co najmniej trzech odwiertów

Ten wariant oceny można zastosować dla miejsca pomiarowego obejmującego nie więcej niż 30 m³ betonu. Oszacowanie wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji następuje tutaj przy użyciu metody pośredniej bez wzorcowania. Stosując metodę

pośrednią (sklerometryczną lub ultradźwiękową), należy przebadać miejsce pomiarowe w celu określenia zmienności i wskazania punktów o niższej wytrzymałości. W obszarze o stwierdzonym najniższym wyniku wytrzymałości pobiera się wtedy co najmniej trzy odwierty o średnicy ≥ 75 mm (lub równoważną liczbę przy mniejszej średnicy). Wyniki badania odwiertów pozwalają na wyliczenie wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji $f_{c,15}$ – jeśli lokalizacja odwiertów obejmuje beton, który pozostaje w konstrukcji, jako wartość $f_{c,15}$ przyjmuje się średnią wartość z trzech lub więcej odwiertów, pod warunkiem że rozrzut wyników nie przekracza 15% wartości średniej. W przypadku większej różnicy niż 15%, jeżeli analiza uzasadnia wyeliminowanie jednego z wyników, można wyliczyć średnią z pozostałych ważnych wyników badania. Tak wyliczona wartość $f_{c,15}$ może być zastosowana w procesie oceny konstrukcji.

5. Podsumowanie

Używanie normowych zasad działania związanych z oceną betonu w konstrukcji przez okres ostatnich kilkunastu lat doprowadziło do dość gruntownej ich rewizji, co ogólnie pokazano w treści niniejszego artykułu. Przedstawiona procedura postępowania musi być uzupełniona o szczegółowe zapisy normy PN-EN 13791:2019-12 [2], a także norm powiązanych [4,5,6]. Pomocny w rozwiązywaniu konkretnych przypadków, jak też w zrozumieniu podstaw teoretycznych dla zapisów w normie [2], może być równocześnie z nią opracowany dość obszerny dokument FprCEN/TR 17086 [7].

W celu łatwiejszej analizy nowych zasad normowych trzeba zwrócić uwagę, że najważniejsze różnice w stosunku do „starej” wersji to:

- zrezygnowano w przypadku oceny betonu w konstrukcji istniejącej ze stosowania współczynnika wyrażającego stosunek charakterystycznej wytrzymałości betonu w konstrukcji do charakterystycznej wytrzymałości znormalizowanych próbek do badania o wartości 0,85, a w ślad za tym do ustalania aktualnej klasy wytrzymałości betonu na ściskanie (tablica 1 w normie z 2008 r. [1]). W nowej wersji normy wylicza się wprost wartości charakterystycznej wytrzymałości betonu w konstrukcji w miejscu pomiarowym i/lub wytrzymałości betonu w konstrukcji w określonym punkcie, które bezpośrednio używane są w procesie oceny konstrukcji
- zmieniono współczynnik przeliczeniowy wartości uzyskiwanych na odwiertach o stosunku wysokości do średnicy 2:1 do odwiertów o stosunku wysokości do średnicy 1:1, z 0,85 na 0,82
- średnicę odwiertów ≥ 75 mm traktuje się jako podstawową (wcześniej ≥ 100 mm). Dopiero przy mniejszych średnicach należy uwzględnić wpływ wielkości odwiertów
- w zasadzie wyeliminowano z normy metodę pull-out (wrywania kotew) jako metodę pośrednią. Nie oznacza to braku możliwości jej stosowania, ale uważa się ją za metodę bardziej przydatną do oceny wytrzymałości betonu dojrzwającego w konstrukcji (kotwy umieszczone w trakcie betonowania, a nie nawiercane)
- bardziej precyzyjnie określono sposób ustalania miejsca pomiarowego, które podlega odrębnej ocenie oraz istotnie zmieniono liczbę punktów pomiarowych w poszczególnych metodach oceny.

- zmieniono sposób przygotowania odwiertów do badań, zwłaszcza warunki ich przechowywania od momentu pobrania do chwili badania. Wcześniej zakładano badanie próbek w stanie powietrzno-suchym, obecnie dąży się do badania próbek w stanie wilgotnościowym zbliżonym do stanu betonu w konstrukcji. Generalnie będzie to prowadzić do uzyskiwania wartości niższych
- wprowadzono rekomendację, by cała procedura badawcza od pobrania odwiertów w konstrukcji była przeprowadzana przez laboratorium posiadające w tym zakresie akredytację.

Przedstawione zagadnienia stanowią tylko część tych ujętych w normie [2], a związane są z oceną betonu w konstrukcji istniejącej. Pozostałe reguły dotyczą oceny betonu w konstrukcjach realizowanych, w przypadku wątpliwości co do jego jakości. W tym zakresie podejście normowe też zostało gruntownie zmienione [8] – a oznacza to konieczność szybkiej edukacji i wdrożenia zapisów tego dokumentu w środowisku inżynierskim i producentów (betonu towarowego i prefabrykatów).

dr inż. Grzegorz Bajorek, prof. PRZ
Politechnika Rzeszowska
Centrum Technologiczne Budownictwa
Instytut Badań i Certyfikacji
dr inż. Maciej Gruszczyński
Politechnika Krakowska
Stowarzyszenie Producentów
Betonu Towarowego w Polsce

Literatura

- 1 PN-EN 13791:2008 Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych
- 2 PN-EN 13791:2019-12 Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych
- 3 Bajorek G., Kiernia-Hnat M., Skrzypczak I., Normalizacja europejska w zakresie oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji, „Inżynieria i Budownictwo” 4/2013, s. 208-212
- 4 PN-EN 12504-1:2019-08 Badania betonu w konstrukcjach. Część 1: Próbkę rdzeniowe. Pobieranie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie
- 5 PN-EN 12504-2:2013-03 Badania betonu w konstrukcjach. Część 2: Badania nieniszczące. Oznaczanie liczby odbicia
- 6 PN-EN 12504-4:2005 Badania betonu w konstrukcjach. Część 4: Oznaczanie prędkości fali ultradźwiękowej
- 7 FprCEN/TR 17086 Further guidance on the application of 13791 and background to the provisions
- 8 Bajorek G., Gruszczyński M., Ocena betonu wbudowanego w konstrukcję w przypadku wątpliwości co do jego jakości, „Budownictwo, Technologie, Architektura”, 1/2020
- 9 Bajorek G., Gruszczyński M., Praktyczne aspekty oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji po nowelizacji normy PN-EN 13791, „Inżynieria i Budownictwo” 4-5/2020



fot. G. Bajorek