

GRZEGORZ BAJOREK^{1,2}, MARTA KIERNIA-HNAT², IZABELA SKRZYPCZAK¹

¹Politechnika Rzeszowska – Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

²Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej

ZASADY OCENY BETONU W KONSTRUKCJI W ODNIESIENIU DO AKTUALNYCH WYMOGÓW NORMOWYCH

1. WPROWADZENIE

Oceny wytrzymałości betonu w istniejących konstrukcjach budowlanych można dokonać zgodnie z normą PN-EN-13791 [11], która porządkuje zasady oceny wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych. Praca jest próbą usystematyzowania, w świetle powyższej normy i norm z nią zharmonizowanych, zagadnień związanych z wykazaniem zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji, np. dla prefabrykowanych wyrobów betonowych, oceną „starych” konstrukcji, które mają być modernizowane, przeprojektowane lub zostały uszkodzone oraz oceną jakości betonu w przypadku niespełnienia warunków zgodności wytrzymałości na ściskanie lub błędów wykonawczych we wznoszonych konstrukcjach betonowych. Sposoby ustalania wartości charakterystycznej wytrzymałości betonu w konstrukcjach na podstawie odwiertów rdzeniowych można określić zgodnie z normą PN-EN 13791 [11], który opiera się na zaleceniach zawartych w PN-EN 206-1 [9], a więc określeniu właściwości betonu na podstawie kryteriów zgodności. Ocenę statystyczną i oszacowanie wartości charakterystycznej na podstawie badań można przeprowadzić natomiast według Załącznika D do PN-EN 1990 [16], który jest spójny z dokumentami ISO 13822 [13], ISO 12491 [6] oraz ISO 2394 [7]. Ocenę betonu w konstrukcji zobrazowano przykładem liczbowym dotyczącym oceny jakości betonu w przypadku wątpliwości co do zgodności wytrzymałości na ściskanie (błędów wykonawczych we wznoszonej konstrukcji betonowej). Uzyskane wartości wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie odniesiono do wytycznych projektowych zawartych w aktualnych normach PN-EN 1990 - Załącznik D [16] oraz PN-EN 1992 [17].

2. NORMOWE ZALECENIA OCENY WYTRZYMAŁOŚCI BETONU W KONSTRUKCJI

Zalecenia oceny wytrzymałości w konstrukcjach według PN-EN-13791 [12] dotyczą trzech przypadków:

– wykazania zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji, czyli betonu już wbudowanego w element konstrukcyjny (np. prefabrykat betonowy), ale bez użycia

próbek „normowych”; wykorzystuje się tutaj metody pośrednie, czyli takie, które nie „niszczą” konstrukcji, a jednocześnie są tańsze od tradycyjnego pobierania próbek kontrolnych,

– oceny jakości betonu w przypadku niespełnienia warunków zgodności wytrzymałości na ściskanie, którą przeprowadzono z użyciem próbek normowych, albo wtedy, gdy dopatrzone się w trakcie realizacji robót błędów wykonawczych (np. brak zabezpieczeń przy betonowaniu w warunkach obniżonych temperatur, nieprawidłowo prowadzony proces zagęszczania, brak prawidłowej pielęgnacji dojrzewającego betonu, itp.),

– oceny stanu technicznego istniejących konstrukcji, w przypadku gdy mają być one modernizowane lub przeprojektowane.

Powyższe przypadki implikują odpowiednią procedurę postępowania w zależności od przyjętej metody badania zgodnie ze schematem blokowym oraz właściwe formuły ustalenia wytrzymałości charakterystycznej betonu f_{ck} , która jest wyjściowym parametrem przy ocenie konstrukcji. Norma [12] podaje wzory dotyczące analizy wyników badań, natomiast przeprowadzenie samych badań opisują cztery normy narzędziowe serii PN-EN 12504 [8, 10, 11, 14]. Dotyczą one wykonywania odwiertów rdzeniowych oraz badań metodą sklerometryczną, „pull-out” i ultradźwiękową.

3. POBIERANIE ODWIERTÓW RDZENIOWYCH

W przypadku zastosowania metody „bezpośredniej” badania przeprowadza się na próbkach wyciętych z konstrukcji poprzez wykonanie odwiertów rdzeniowych. Powinny one mieć średnicę od 50 do 150 mm, przy czym te o średnicy od 100 do 150 mm pozwolą na użycie bezpośredniej relacji uzyskanej w badaniu wytrzymałości w odniesieniu do badań przeprowadzanych na próbkach normowych, natomiast w przypadku średnic mniejszych niż 100 mm wymaga się zastosowania współczynników korygujących. Zależności korelacyjne odnoszące się do wymiarów próbek, ich ilości, wyglądu oraz wpływu tych czynników na interpretację uzyskanych wyników podaje norma [12] i dotyczą one, m.in.:

- Badania odwiertu o długości równej nominalnej średnicy, wynoszącej 100 mm, daje to wartość wytrzymałości, która odpowiada wytrzymałości próbki sześcienniej o boku równym 150 mm, wykonanej i dojrzewającej w tych samych warunkach.
- Badania odwiertu o nominalnej średnicy nie mniejszej niż 100 mm i nie większej niż 150 mm oraz długości równej dwukrotnej średnicy, daje to wartość wytrzymałości, która odpowiada wytrzymałości próbki walcowej o wymiarach 150 mm na 300 mm, wykonanej i dojrzewającej w tych samych warunkach.
- Odwierty rdzeniowe powinny być przechowywane w warunkach laboratoryjnych przez co najmniej 3 dni przed badaniem. Wytrzymałość odwiertu nasyczonego wodą jest od 10 do 15% niższa niż wytrzymałość podobnego odwiertu, badanego w stanie powietrzno-suchym.
- Podwyższona porowatość obniża wytrzymałość. Szacunkowo 1% porowatości obniża wytrzymałość od 5 do 8%.
- Wytrzymałość odwiertu wycinanego pionowo (zgodnie z kierunkiem betonowania) może być wyższa niż wytrzymałość odwiertu, który wycięto poziomo z tego samego betonu. Różnica ta zawiera się zwykle w przedziale od 0 do 8%.
- W przypadku odwiertów o średnicy mniejszej niż 100 mm (przy $l/d = 1,0$) zmienność wytrzymałości jest zazwyczaj większa. Z tego powodu dla odwiertów o średni-

cy 50 mm może być wskazane przeprowadzenie badania na 3x większej liczbie odwiertów niż dla odwiertów o średnicy 100 mm. Dla średnic zawierających się pomiędzy 100 a 50 mm, ilość próbek określa się za pomocą interpolacji liniowej.

- Zmienność mierzonej wartości wzrasta wraz ze zmniejszeniem stosunku średnicy odwiertu do maksymalnego wymiaru ziarna kruszywa.
- Odwierty rdzeniowe nie powinny zawierać prętów zbrojeniowych. Jeśli nie da się tego uniknąć, należy oczekiwać, że nastąpi zaniżenie mierzonej wartości. Odwierty zawierające pręty zbrojeniowe równoległe do osi odwiertu nie nadają się do oznaczania wytrzymałości betonu.

Natomiast PN-EN 12504-1 [14] podaje zależności wytrzymałości próbek rdzeniowych od ich średnicy oraz od wymiaru zastosowanego kruszywa:

- w przypadku kruszywa o wymiarze 20 mm – wytrzymałość rdzeni o średnicy 100 mm była o około 7% większa niż rdzeni o średnicy 50 mm, wytrzymałość rdzeni o średnicy 50 mm była o około 20% większa niż rdzeni o średnicy 25 mm,
- w przypadku kruszywa o wymiarze 40 mm – wytrzymałość rdzeni o średnicy 100 mm była o około 17% większa niż rdzeni o średnicy 50 mm, wytrzymałość rdzeni o średnicy 50 mm była o około 19% większa niż rdzeni o średnicy 25 mm.

4. OCENA CHARAKTERYSTYCZNEJ WYTRZYMAŁOŚCI BETONU METODĄ BEZPOŚREDNIĄ

W przypadku metody bezpośredniej norma 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 – może być różna w różnych krajach za sprawą załącznika krajowego do normy)

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 (ale co najmniej 3) wynikami badań wytrzymałości wykonanymi na odwiertach rdzeniowych. Wytrzymałość charakterystyczna betonu w konstrukcji $f_{ck, is}$ jest mniejszą z wartości:

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

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 tab. 1 w zależności od liczby wyników badań)

Tabela 1. Zmienna k przy małej liczbie wyników badań [12]

Table 1. Variable k for low number of test results [12]

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 [9].

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. Dokładność w próbie ściskania betonu rzędu około 10% uzyskuje się przy liczności próbek min 6 wg [1], dlatego przy ocenie betonu w konstrukcji oprócz czynników ekonomicznych należy wziąć pod uwagę wiarygodność uzyskiwanych wyników badań.

5. OCENA CHARAKTERYSTYCZNEJ WYTRZYMAŁOŚCI BETONU NA ŚCISKANIE METODĄ POŚREDNIĄ

W metodach pośrednich mierzone są wartości inne niż wytrzymałość. Norma PN-EN 13791 [12] przewiduje zastosowanie trzech metod pośrednich, w których mierzone są:

- liczba odbicia (metoda sklerometryczna) – PN-EN 12504-2 [8],
- siła wrywająca (metoda „pull-out”) – PN-EN 12504-3 [11],
- prędkość fali ultradźwiękowej (metoda ultradźwiękowa) PN-EN 12504-4 [10].

W celu uzyskania wiarygodnej informacji o wytrzymałości betonu na ściskanie konieczne jest wzorcowanie przyjętej metody badań.

Norma PN-EN 13791 [12] przewiduje dwa warianty wzorcowania:

- wariant 1 – z wykorzystaniem bezpośredniej korelacji z wynikami badań odwiertów rdzeniowych,
- wariant 2 – z wykorzystaniem ograniczonej liczby wyników badania odwiertów rdzeniowych oraz tzw. „podstawowej krzywej regresji”.

Wariant 1 – bezpośrednią korelację pomiędzy wynikami uzyskiwanymi z metody pośredniej a wynikami badań odwiertów rdzeniowych można uzyskać dysponując co najmniej 18 parami takich wyników. Na podstawie wyznaczonej korelacji, już w trakcie późniejszych badań elementów konstrukcyjnych wykonanych z takiego samego betonu (np. ten sam obiekt, beton pochodzący od tego samego producenta wykonywany z tych samych składników, beton w procesie produkcji prefabrykatów, itp.) określona może być wytrzymałość betonu na ściskanie w konstrukcji $f_{is, n}$ w poszczególnych punktach pomiarowych.

Do oceny betonu wybranego elementu konstrukcyjnego należy wybrać miejsce pomiarowe (np. dla metody sklerometrycznej o wymiarach ok. 300x300 mm) i dokonać w minimum 15 punktach w obrębie tego miejsca pomiarów metodą pośrednią. Na podstawie otrzymanych wyników można określić wartość wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji $f_{ck, is}$, wykorzystując poniższe wzory:

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - 1,48 \cdot s \quad (5)$$

lub

$$f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4 \quad (6)$$

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

s – odchylenie standardowe (s powinno być wartością wyliczoną, lub równą 3,0 MPa, w zależności od tego, która wartość jest większa).

Wariant 2 – z wykorzystaniem ograniczonej liczby wyników badania odwiertów rdzeniowych oraz „podstawowej krzywej regresji”. Założeniem wariantu 2 jest możliwość wykorzystania do oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji wyniku badania pośredniego (liczby odbicia, prędkości fali ultradźwiękowej, siły wyrywającej) przy zastosowaniu „podstawowej krzywej regresji”, która jest przesunięta do właściwego poziomu za pomocą wyników badania odwiertów rdzeniowych. Postaci „podstawowych krzywych granicznych” przedstawione są zarówno w formie graficznej, jak i analitycznej w normie PN-EN 13791 [12].

W celu przesunięcia „podstawowej krzywej regresji” do właściwego dla badanego betonu poziomu (czyli zawzorcowania metody przy ograniczonej – mniejszej niż 18 – liczbie wyników badania odwiertów rdzeniowych) konieczne jest posiadanie co najmniej 9 par wyników badania „odwiert rdzeniowy – wynik metody pośredniej”. Do wzorcowania takie miejsce pomiarowe (element), które obejmie co najmniej 9 punktów pomiarowych. W każdym punkcie pomiarowym należy wykonać badanie bezpośrednie (odwiert) i oznaczyć wytrzymałość betonu w konstrukcji f_{is} . Jednocześnie w każdym punkcie należy wykonać pomiar badania pośredniego, czyli oznaczyć liczbę odbicia R , lub prędkość fali ultradźwiękowej v lub siłę wyrywającą F . W następnej kolejności należy nanieść na rysunek wytrzymałości betonu w konstrukcji f_{is} w funkcji wyników pomiarów metodą pośrednią R , v lub F . Dla każdego punktu pomiarowego określa się różnicę wytrzymałości betonu w konstrukcji δf_i pomiędzy wartością mierzoną na odwiertach f_{is} a wartością uzyskaną z podstawowej krzywej regresji $f_{R, v, F}$:

$$\delta f_i = f_{is} - f_{R, v, F} \quad (7)$$

po czym należy wyliczyć wartości średniej różnicy $\delta f_{m(n)}$ oraz odchylenia standardowego s . Posłużą one do wyznaczenia wartości Δf , o którą należy przesunąć podstawową krzywą regresji:

$$\Delta f = \delta f_{m(n)} - k_I \cdot s \quad (8)$$

w którym: k_I jest współczynnikiem zależnym od liczby par wyników badań n .

„Podstawowa krzywa regresji” została położona „sztucznie nisko”, co oznacza, że jej przesunięcie jest zawsze dodatnie.

Posiadając wygenerowaną przesuniętą podstawową krzywą regresji, można ją wykorzystywać do oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji tak jak wykorzystuje się bezpośrednią korelację opisaną wyżej w „wariancie 1” – wzory (5) i (6).

6. OCENA ZGODNOŚCI WYTRZYMAŁOŚCI BETONU NA ŚCISKANIE W KONSTRUKCJI, NP. DLA PREFABRYKOWANYCH WYROBÓW BETONOWYCH

Norma PN-EN 13791 [12] przewiduje wykorzystanie wzorcowanej metody pośredniej do prowadzenia oceny zgodności wytrzymałości betonu w konstrukcji, która jest jednym z koniecznych warunków do akceptacji i dopuszczenia wyrobu budowlanego do zastosowania. Obowiązek oceny zgodności leży po stronie producenta wyrobu i może on, po udokumentowaniu wzorcowania metody, wprowadzić ją jako wiarygodne

narzędzie potwierdzające jakość w procesie produkcji. Rozwiązanie takie może okazać się wygodniejsze w stosowaniu, bardziej wiarygodne, a przede wszystkim tańsze.

7. OCENA JAKOŚCI BETONU W PRZYPADKU NIESPEŁNIENIA WARUNKÓW ZGODNOŚCI WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE LUB BŁĘDÓW WYKONAWCZYCH WE WZNOSZONYCH KONSTRUKCJACH BETONOWYCH

Powodem wykonywania badań sprawdzających, czy wbudowany beton w konstrukcję jest zgodny z zaleceniami specyfikacji są wątpliwości co do osiąganych przez niego właściwości, wywołane np. złymi wynikami w ocenie zgodności bazującej na badaniach znormalizowanych lub wizualnie stwierdzonymi defektami wykonanej konstrukcji. Oceny wytrzymałości takiego betonu można dokonać wybierając jeden, z trzech przypadków uzależniony od ilości ocenianego betonu i od liczby wyników badań sprawdzających (czy to bezpośrednich, czy pośrednich), a następnie zdecydować o spełnieniu lub niespełnieniu wymagań wytrzymałościowych dla konstrukcji:

Przypadek 1 – w danym miejscu pomiarowym, obejmującym wiele wbudowanych w konstrukcję zarobów betonu, dysponujemy 15 lub więcej wynikami badań odwiertów rdzeniowych. Jakość betonu jest właściwa i spełnia warunki zgodności określone w PN-EN 206-1 [9], jeśli spełnione są zależności:

$$f_{m(n), is} \geq 0,85 \cdot (f_{ck} + 1,48 \cdot s) \quad (9)$$

oraz

$$f_{is, lowest} \geq 0,85 (f_{ck} - 4) \quad (10)$$

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

f_{ck} – oczekiwana wytrzymałość charakterystyczna określona w projekcie (lub dowodzie dostawy betonu)

Przypadek 2 – na podstawie porozumienia pomiędzy stronami, w danym miejscu pomiarowym dysponujemy 15 lub więcej wynikami badań przeprowadzonych metodą pośrednią, oraz co najmniej dwoma wynikami odwiertów rdzeniowych. Wytrzymałość odpowiada wymaganiom, jeśli spełniony jest warunek:

$$f_{is, lowest} \geq 0,85 (f_{ck} - 4) \quad (11)$$

gdzie: $f_{is, lowest}$, f_{ck} – jak we wzorze (10)

Przypadek 3 – w miejscu pomiarowym o niewielkich rozmiarach, obejmującym jeden lub kilka zarobów betonu, osoba specyfikująca beton może wybrać na podstawie doświadczenia, dwa miejsca pobrania odwiertów rdzeniowych. Wytrzymałość w tym miejscu odpowiada wymaganiom, jeśli spełniony jest warunek:

$$f_{is, lowest} \geq 0,85 (f_{ck} - 4) \quad (12)$$

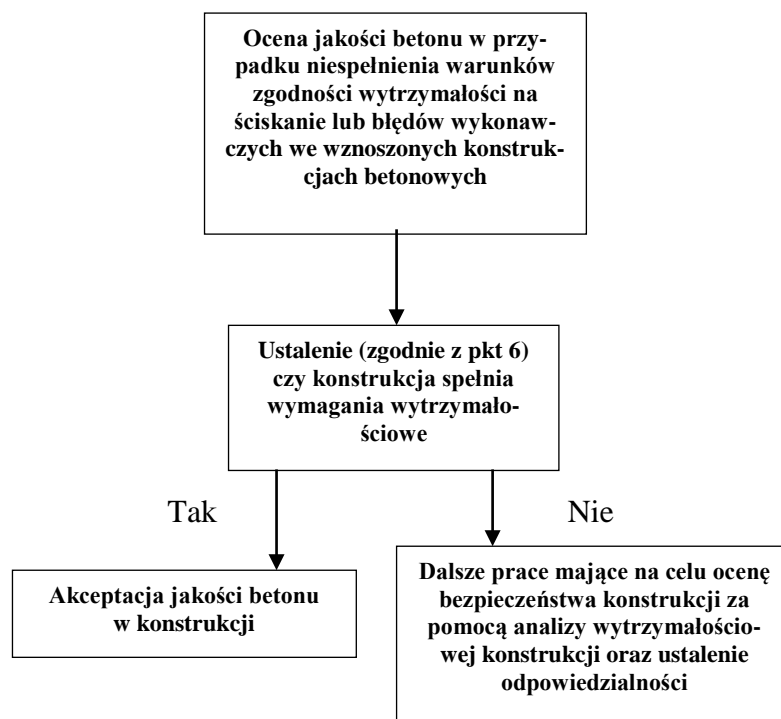
gdzie: $f_{is, lowest}$, f_{ck} – jak we wzorze (10).

Należy podkreślić, że decyzja o akceptacji metody oceny betonu oraz wyniku tej oceny, powinna być podjęta na zasadzie porozumienia pomiędzy stronami oraz poparta doświadczeniem osoby decydującej o bezpieczeństwie konstrukcji oraz wiedzą [1, 2, 4, 5, 12].

8. BADANIA BETONU Z REALIZACJI BUDYNKU O KOSTRUKCJI ŻELBETOWEJ MONOLITYCZNEJ

W wyniku wątpliwości i błędów wykonawczych dotyczących jakości wbudowanego betonu przy realizacji obiektu o konstrukcji żelbetowej monolitycznej przeprowadzono dodatkowe badania w celu określenia wytrzymałości charakterystycznej. Dotyczyły one oceny jakości betonu wbudowanego w ściany klatki schodowej, stropu na parterze oraz stropu nad drugim piętrem.

Zachowano procedurę postępowania według rysunku 1, zgodnym ze schematem 1 zawartym w PN-EN 13791 [12].



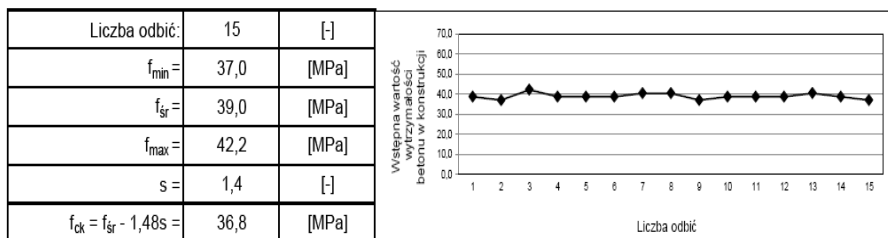
Rys.1. Schemat procedury postępowania w celu oszacowania wytrzymałości we wznoszonych konstrukcjach betonowych [12]

Fig.1. The diagram of procedure for concrete strength estimation in new construction [12]

W celu określenia wytrzymałości charakterystycznej zastosowano Przypadek 2 (por. pkt. 7), na podstawie porozumienia pomiędzy stronami, w danym miejscu wykonano 15 pomiarów metodą pośrednią (młotek Schmidta – MS) (rys.2) oraz dwa odwier-ty rdzeniowe tab. 2).

Procedura badawcza wg PN-EN 12504-2:2002 + A1:2004 "Badania betonu w konstrukcjach. Część 2: Badania nieniszczące. Oznaczanie liczby odbicia".

Liczba odbić:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Wynik pomiaru liczby odbić R:	34	33	36	34	34	34	35	35	33	34	34	34	35	34	33
Wstępna wartość wytrzymałości betonu w konstrukcji f_{Rc} :	38,7	37,0	42,2	38,7	38,7	38,7	40,5	40,5	37,0	38,7	38,7	38,7	40,5	38,7	37,0



Rys.2. Dziennik pomiarów sklerometrycznych młotkiem Schmita (MS) dla ścian klatki schodowej

Fig.2. Schmidt Hammer (MS) rebound numbers sheet for staircase walls

Wytrzymałość odpowiada wymaganiom jeśli spełniony jest warunek (11):

$$f_{is, lowest} \geq 0,85(f_{ck} - 4) \quad (13)$$

zatem:

$$f_{ck} \leq (f_{is, lowest} / 0,85) + 4 \quad (14)$$

Tabela 2. Dziennik pomiarów wytrzymałości na ściskanie odwiertów dla ścian klatki schodowej

Table 2. Compressive strength test results sheet for staircase walls obtained from cores

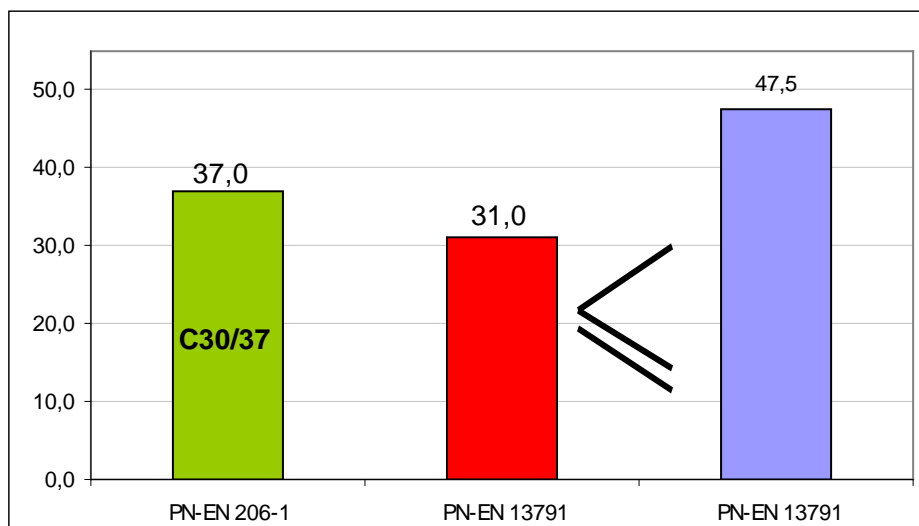
Procedura oznaczenia wytrzymałości: PN-EN 12390-3:2009 "Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań".

Lp.	Oznaczenie próbki	Masa [kg]	Średnica d_m [mm]	Wysokość H [mm]	H : d_m	Powierzchnia zgniotu A_c [mm ²]	Stan wilgotności próbki	Sila F [kN]	Wytrzymałość na ściskanie f_c [MPa]
1	521 / 1B 22.09.2011	1,959	104	104	1:1	8495	suchy	351,7	41,4
2	521 / 2 22.09.2011	2,036	104	104	1:1	8495	suchy	498,2	58,6

Do oceny betonu przyjęto jako $f_{is, lowest}$ wartość 37,0 MPa zgodnie z rysunkiem 2 oraz tabelą 2 (wzór 14):

$$f_{ck} \leq (37,0 / 0,85) + 4 \rightarrow f_{ck} \leq 47,5 \text{ MPa} \quad (15)$$

Klasę betonu sprawdzono zgodnie z tabelą 1 zamieszczoną w [12]. Badany beton można zakwalifikować jako zgodny zaleceniami specyfikacji dla realizowanego obiektu (tj. do klasy C30/37) (rys.3).



Rys.3. Wartość wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie dla ścian klatki schodowej oraz wymagań odnośnie klasyfikacji betonu wg PN-EN 13791 [12] oraz PN-EN 206-1 [9]

Fig.3. Characteristic in-situ compressive strength for staircase walls and required for classification according to PN-EN 13791 [12] and PN-EN 206-1 [9]

Wyznaczone wartości wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie porównano z wartością wytrzymałości charakterystycznej obliczonej na podstawie wytycznych zawartych w normie PN-EN 1990 - Załącznik D [16] dotyczących projektowania wspomaganych badaniami.

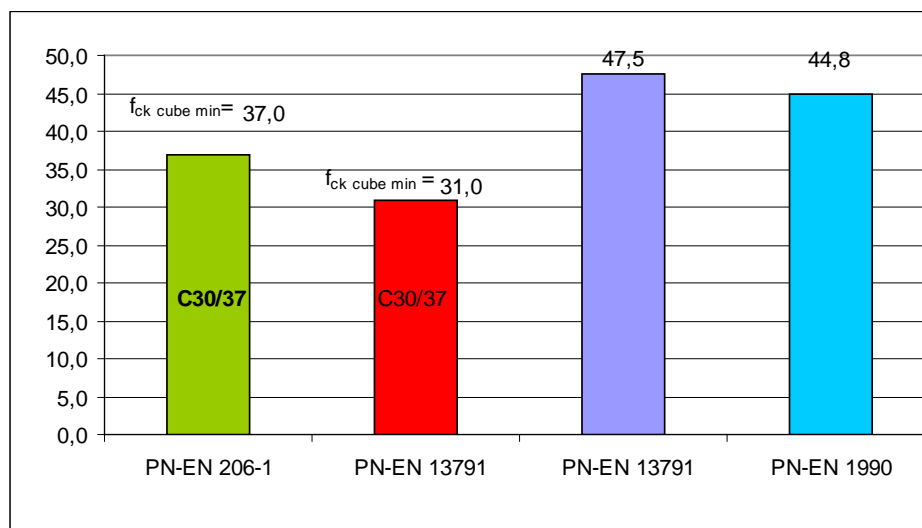
Zgodnie z Załącznikiem D do oszacowania wartości charakterystycznych może być bezpośrednio stosowana procedura według D.7.2 i D.7.3 [16]. Zaleca się, aby ocenę wyników badań przeprowadzać na podstawie metod statystycznych z wykorzystaniem istniejących (statystycznych) informacji o typie stosowanego rozkładu i związanych z nim parametrów. Do oszacowania wartości charakterystycznej według [2] skorzystano z zaproponowanej formuły:

$$f_{ck} = f_{cm} \cdot (1 - k_n \cdot V) \quad (16)$$

gdzie: V – współczynnik zmienności próby; $V = S / f_{cm}$

k_n – jest współczynnikiem zależnym od wielkości próby i poziomu ufności (przy minimalnym poziomie ufności $\gamma = 0,75$ i $n=3 \rightarrow k_n=3,37$ oraz dla $n=15 \rightarrow k_n=1,82$).

Porównano wartość wytrzymałości charakterystycznej uzyskanej dla metody niszczącej (MS) według zaleceń PN-EN 1990 (Załącznik D, dane z tab. 2) z wartością otrzymaną według procedury badawczej zgodnej z [16]. Otrzymana wartość charakterystyczna wytrzymałości na ściskanie wg PN-EN 1990 (po uwzględnieniu współczynnika konwersji 0,85) to 44,8 MPa. Błąd względny z porównania oznaczenia wytrzymałości na ściskanie wg PN-EN 13791 [12] oraz zaleceń PN-EN 1990 [16] wynosi 6% (rys. 4).



Rys.4. Wytrzymałość charakterystyczna na ściskanie oszacowana z badań [1] i metody statystycznej (MP) [16] oraz wymagania klasyfikacji betonu wg [9] i [12]

Fig.4. Characteristic in-situ compressive strength estimated on test results [1] and statistical method (MP) [16], and required for classification according to [9] and [12]

Wartość charakterystyczną wytrzymałości betonu na ściskanie określono również na podstawie wzoru (18), generując 15 wyników badań zgodnych z rozkładem normalnym o odchyleniu standardowym 4,86 MPa i średniej 45 MPa. Wartość odchylenia standardowego $\sigma = 4,86$ MPa oraz średnią $f_{cm} = 45$ MPa, przyjęto na podstawie zależności $f_{cm} = f_{ck} + 8$ według PN-EN 1992 [17].

Przy założonym a priori odchyleniu standardowym, estymator odchylenia standardowego S można otrzymać, korzystając z funkcji Melina [3]:

$$S = \sigma \cdot \left(\frac{\sqrt{\frac{2}{n}} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \right) \quad (17)$$

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

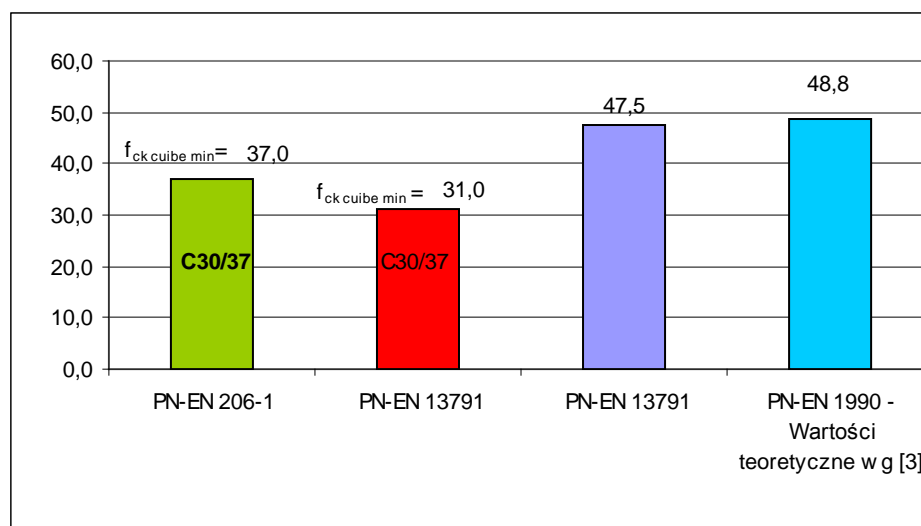
n – liczebność próby,

σ – odchylenie standardowe populacji.

W celu oszacowania wartości charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie zgodnie z normą EN 1990 [16] należy skorzystać z poniższej formuły, otrzymanej na podstawie wzorów (16) i (17):

$$f_{ck} = f_{cm} - k_n \cdot \sigma \cdot \left(\frac{\sqrt{\frac{2}{n}} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \right) \quad (18)$$

Otrzymana wartość charakterystyczna wytrzymałości na ściskanie wg PN-EN 1990 (po uwzględnieniu współczynnika konwersji 0,85) to 48,8 MPa.



Rys. 5. Wytrzymałość charakterystyczna na ściskanie oszacowana z badań [12] i metody statystycznej dla wartości teoretycznych zalecanych w [17] oraz wymagania klasyfikacji betonu wg [9] i [12]

Fig. 5. Characteristic in-situ compressive strength estimated on test results [12] and statistical method for theoretical values in [17] and required for classification according to [9] and [12]

Błąd względny z porównania oznaczenia wytrzymałości na ściskanie wg PN-EN 13791 [12] oraz zaleceń PN-EN 1990 [16] i PN-EN 1992 [17] wynosi 3% (rys.5). Zaproponowane w normie do projektowania [2] procedury dotyczące wyznaczania wartości charakterystycznej, w tym przypadku wartości wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie, prowadzą do uzyskiwania porównywalnych wartości z wartościami uzyskiwanymi z badań in situ.

9. PODSUMOWANIE

Procedury i metody badań zalecane w normach europejskich i wdrożone do polskiego systemu normalizacyjnego przeznaczone do sprawdzenia rzeczywistych parametrów wytrzymałościowych betonu wbudowanego w konstrukcję uwzględniają zasadę, że beton rozważany jest jako materiał o losowej zmienności swoich cech. Zalecane w normie PN-EN 13791 [12] procedury oceny betonu w konstrukcji wykluczają ocenę wytrzymałości betonu in situ tylko na podstawie badań nieniszczących. Dopuszcza się te badania jako towarzyszące badaniom próbek wyciętych z konstrukcji. Proponowane w normach do projektowania wytyczne dotyczące szacowania wartości charakterystycznych, w analizowanym przypadku wartości wytrzymałości charakterystycznej na ściskanie, są zbieżne z wartościami uzyskiwanymi z badań in situ. Świadczy o spójności zaproponowanych zaleceń oraz procedur obliczeniowych w odniesieniu do projektowania, wykonawstwa oraz kontroli i oceny betonu.

LITERATURA

- [1] Brunarski L. 1994. Metody badawcze stosowane przy ocenie konstrukcji budowlanych - oszacowanie wytrzymałości betonu in situ. Sesja Naukowo-Techniczna Instytutu Techniki Budowlanej: Diagnostyka i Wzmacnianie Konstrukcji Żelbetowych, Warszawa.
- [2] Czarnecki L. 2007. Beton wg Normy PN-EN 206-1 Komentarz. Polski Cement.
- [3] Firkowicz S. 1970. Statystyczne badanie wyrobów. WNT Warszawa.
- [4] Instrukcja ITB nr 210. 1997. Instrukcja stosowania młotków Schmidta do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji, Warszawa.
- [5] PN-B-06262:1974 Nieniszczące badania konstrukcji z betonu. Metoda sklerometryczna badania wytrzymałości betonu na ściskanie za pomocą młotek Schmidta typu N
- [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] PN-EN 12504-2:2002 Badania betonu w konstrukcjach. Część 2: Badania nieniszczące. Oznaczanie liczby odbicia
- [9] PN-EN 206-1:2003. Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [10] PN-EN 12504-4:2005. Badania betonu w konstrukcjach. Część 4: Oznaczanie prędkości fali ultradźwiękowej.
- [11] PN-EN 12504-3:2006. Badania betonu w konstrukcjach. Część 3: Oznaczanie siły wyrywającej.
- [12] PN-EN 13791:2008. Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych.
- [13] ISO 13822:2010. Bases for design of structures - Assessment of existing structures.
- [14] PN-EN 12504-1:2011. Badania betonu w konstrukcjach. Część 1: Próbkowanie. Pobieranie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie.
- [15] PN-EN 13670:2011. Wykonywanie konstrukcji z betonu.
- [16] PN-EN 1990 Eurokod: Projektowanie konstrukcji.
- [17] PN-EN 1992 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu.

THE RULES OF THE ASSESSMENT OF IN-SITU COMPRESSIVE STRENGTH IN STRUCTURES ACCORDING TO ACTUAL STANDARDS

Summary

This paper presents the rules of the assessment of in-situ compressive strength in structures using regulation of actual EN standards. The most helpful is EN 13791 which is related to EN 206-1, standard for assessment of conformity during concrete production. Both these standards are related to EN 1992 (design of concrete structures) and EN 1990 (basis of structural design). The paper includes example of estimation of characteristic strength using the relationships in mentioned above standards. It has shown the compatibility of computational methods proposed by standard rules.