

Rys. 1 Widok grupy odwiertów rdzeniowych, pobranych z konstrukcji mostu przez zalew rzeki Bug w miejscowości Terespol



01. Andrzej Moczko

Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach na podstawie badania odwiertów rdzeniowych w świetle nowej normy europejskiej EN-13791:2007

1. Wprowadzenie

W ostatnim okresie nastąpiła ważna zmiana w istniejącym w Polsce stanie prawnym odnośnie oceny jakości betonu. Starą normę „Beton zwykły” [1] zastąpiła nowa norma betonowa EN 206-1 [2], która istotnie zmieniła zasady kwalifikacji betonów. Zmiany te polegają między innymi na przyjęciu nowych oznaczeń klas wytrzymałościowych oraz wprowadzeniu pojęcia wytrzymałości charakterystycznej jako parametru oceny jakości betonu w miejsce wykorzystywanego poprzednio pojęcia wytrzymałości gwarantowanej. Ponadto z treści normy usunięto szczegółowe opisy metod badawczych, przenosząc je do grupy norm metodycznych, omawiających poszczególne badania. Uwaga ta dotyczy zarówno badania samego betonu (pakiet norm towarzyszących, oznaczony jako PN-EN 12390), jak i betonu w konstrukcjach (grupa norm, oznaczona jako PN-EN 12504).

Należy w tym miejscu zaznaczyć, że nowe uregulowania prawne, zawarte w normie betonowej [2] i stowarzyszonej z nią normie PN-EN 12390-3 [3], określają jedynie zasady oznaczania wytrzymałości betonu na ściskanie na podstawie badania próbek normowych i dokonywania na tej podstawie oceny jakości tego tworzywa. Natomiast kwestia oceny wytrzymałości betonu w istniejących konstrukcjach budowlanych, z formalnego punktu widzenia, od wielu lat pozostaje nierozstrzygnięta. Co prawda w 2001 roku wprowadzona została w naszym kraju norma PN-EN 12504-1 [4], która uporządkowała procedury związane z po-

bieraniem i przygotowaniem do badań próbek wyciętych z odwiertów rdzeniowych, to jednak zasady interpretacji tak uzyskiwanych wyników badań obarczone były nadal grzechem „uznaniowości”, co wielokrotnie powodowało powstawanie licznych konfliktów pomiędzy uczestnikami procesu inwestycyjnego.

Badania wytrzymałościowe betonowych odwiertów rdzeniowych, wycinanych bezpośrednio z istniejących konstrukcji budowlanych (rys. 1), uważane są powszechnie za najbardziej wiarygodne źródło informacji o rzeczywistej jakości wbudowanego betonu, pomimo że niejednokrotnie wiarygodność tego rodzaju badań budzi uzasadnione wątpliwości, ze względu na brak precyzyjnych zasad interpretacji uzyskiwanych wyników. Swego rodzaju paradoksem jest fakt, iż badania odwiertów rdzeniowych są często realizowane niejako „na wyczucie”.

Ten stan rzeczy uległ na początku 2007 roku istotnej zmianie. W styczniu tego roku ukazała się bowiem, od dawna oczekiwana, europejska norma EN-13791 [5], która porządkuje zasady oceny wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych. Polska wersja językowa tego dokumentu jest aktualnie na końcowym etapie opracowania przez Komitet Techniczny nr 214 ds. Betonu Polskiego Komitetu Normalizacyjnego, i należy się spodziewać, że w połowie roku 2008 będzie powszechnie dostępna.

Niniejszy artykuł jest próbą usystematyzowania, w świetle powyższej normy, zagadnień związanych z oceną wytrzymałości

betonu na ściskanie w istniejących konstrukcjach. Problematyka ta była przedmiotem wcześniejszych publikacji [6, 7, 8]. Niemniej jednak, ze względu na fakt, iż w ostatecznie przyjętym tekście normy EN-13791 dokonano szeregu istotnych zmian w stosunku do rozwiązań zawartych w projekcie tej normy [9], uzasadnione wydaje się być przedstawienie tych niezwykle ważnych dla praktyki inżynierskiej zagadnień w kontekście aktualnych uregulowań normowych.

2. Uwarunkowania normowe badania odwiertów rdzeniowych

W środowisku budowlanym panuje powszechne przekonanie, że badania wytrzymałościowe próbek wycinanych z odwiertów rdzeniowych są badaniami, które w każdej sytuacji są rozstrzygające dla oceny jakości betonu. Uważa się je za najbardziej wiarygodne źródło informacji o rzeczywistych parametrach wytrzymałościowych betonu, z którego wykonany został dany obiekt budowlany. Pogląd powyższy jest tylko częściowo prawdziwy. Otóż o ile aktualne przepisy normowe zezwalają bez ograniczeń na wykorzystanie badania odwiertów rdzeniowych do rozpoznania aktualnego stanu technicznego obiektów budowlanych, to równocześnie wyraźnie zastrzegają, iż badania „in-situ” nie mogą zastępować kontroli jakości betonu, przeprowadzanej na próbkach normowych, zgodnie z [2]. Norma EN-13791 [5] za szczególnie uzasadnione przypadki, w których oszacowanie wytrzymałości betonu na ściskanie może być dokonywane na podstawie wyników badania odwiertów rdzeniowych, 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
- ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji w czasie procesu jej wznoszenia, o ile jest ona wymagana
- ocena zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji, jeśli wymóg ten został sformułowany w specyfikacji technicznej lub normie danego produktu
- ocena bezpieczeństwa konstrukcji w sytuacji niespełnienia kryteriów zgodności odnośnie wytrzymałości betonu na ściskanie, oznaczanej na próbkach normowych.

Należy w tym miejscu wyraźnie zaznaczyć, że nowa norma betonowa [2] przewiduje możliwość wykorzystania wyników badania próbek wyciętych z konstrukcji do kontroli zgodności betonu ze specyfikacją jedynie w dwóch następujących przypadkach.

- Pierwszy z nich dotyczy sytuacji, gdy zachodzi uzasadnione przypuszczenie, iż wyniki badania wytrzymałości betonu na ściskanie prowadzone na próbkach normowych nie będą reprezentatywne, np. w przypadku mieszank betonowych o konsystencji CO lub o konsystencji niższej niż S1, lub w przypadku betonu różniwanego.
- Drugą możliwością jest sytuacja, w której badanie zgodności przeprowadzone na próbkach normowych nie spełnia wymagań określonych w specyfikacji badanego betonu.

Z powyższego wynika, że wykorzystanie odwiertów rdzeniowych do oceny jakości betonu w budowanym w realizowaną konstrukcję, oprócz oczywistego przypadku uwarunkowań technologicznych, jest jedynie możliwe po uprzednim przeprowadzeniu badań na próbkach normowych i stwierdzeniu braku zgodności uzyskanych wyników z założonymi wymaganiami. Jest to bardzo ważna uwaga, ponieważ w praktyce inży-

nierskiej mamy bardzo często do czynienia z badaniami wyciętych z konstrukcji próbek betonowych, które zostały zarządzane przez nadzór budowlany, z pominięciem procedur normowej oceny jakości dostarczanego na budowę betonu towarowego.

Istotnym uwarunkowaniem badania wytrzymałości betonu w konstrukcji jest także i to, że w odróżnieniu od badań normowych, realizowanych zwykle po 28 dniach dojrzewania, badania „in-situ” mają na celu określenie faktycznej wartości wytrzymałości betonu na ściskanie, czyli wytrzymałości betonu w chwili badania. W związku z powyższym, uzyskiwane wyniki nie wymagają, poza wyjątkowymi przypadkami, przeliczenia na równoważną wytrzymałość 28-dniową. Niezbędne jest natomiast udokumentowanie wieku betonu w chwili badania.

3. Zasady pobierania odwiertów rdzeniowych

Wiarygodność oceny parametrów mechanicznych betonu w konstrukcjach jest w znacznym stopniu uzależniona od spełnienia szeregu warunków, związanych z prawidłowym wyborem miejsc pobrania odwiertów, ich wielkością oraz sposobem wycięcia. 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 zarówno wiercenia, jak i późniejszej naprawy powstałych uszkodzeń. Podstawową zasadą warunkującą uzyskanie reprezentatywnych danych jest zapewnienie losowości wyboru poszczególnych punktów pomiarowych, przy czym wybór miejsc do badań powinien być planowany w taki sposób, aby mieć pewność, iż próbki pobrane losowo z badanej konstrukcji, bądź prefabrykowanych wyrobów betonowych, reprezentują rozkład właściwości betonu w całej konstrukcji bądź jej wybranym fragmencie.

Odwierty rdzeniowe powinny być wycinane z konstrukcji zgodnie z normą [4]. W celu zapewnienia maksymalnie zbliżonych warunków badań wytrzymałościowych odwiertów rdzeniowych do warunków określonych dla próbek normowych [2] 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 sytuacji mamy do czynienia np. w czasie badania mostowych płyt pomostowych, betonowych nawierzchni drogowych czy też różnego rodzaju fundamentów (rys. 2). W takim przypadku, przy ocenie wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji należy zwrócić uwagę na fakt, iż zwykle wytrzymałość betonu jest naj-

Rys. 2. Widok sposobu wycinania odwiertu z płyty fundamentowej wrocławskiej Iglicy



font. Andrzej Moczko



Rys. 3. Widok odwiertu rdzeniowego, na powierzchni którego przeprowadzono pomiar zasięgu karbonatyzacji za pomocą „Rainbow-Testu” ($pH \approx 13$)

Źródło: Andrzej Maczek

niższa w pobliżu górnej powierzchni badanego fragmentu konstrukcji lub elementu konstrukcyjnego oraz że rośnie ona, osiągając na spodzie przekroju najwyższą wartość. Wartość ta może być wyższa od wartości na górze przekroju betonowego o około 25%. Przyjmuje się, że beton o niższej wytrzymałości występuje zwykle na odcinku górnych 300 mm lub 20% grubości przekroju, w zależności od tego, która z tych wartości jest mniejsza.

W europejskiej normie EN-13791 zaleca się badanie odwiertów rdzeniowych o nominalnej średnicy równej 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 preferowana jest średnica równa około 100 mm. W praktyce spotyka się bardzo zróżnicowane średnice próbek wycinanych z konstrukcji, co wynika głównie z braku znormalizowania dostępnych na rynku wiertel koronowych. Ich wymiary oscylują najczęściej pomiędzy 95 a 105 mm. Co prawda tego typu niewielkie różnice nie mają istotnego wpływu na miarodajność uzyskiwanych wartości wytrzymałości betonu na ściskanie, to jednak z formalnego punktu widzenia stanowią istotną niedogodność, a w przypadkach skrajnych mogą być podstawą do zakwestionowania wiarygodności przeprowadzonej oceny jakości betonu.

Zdarza się niekiedy, że w praktyce nie ma możliwości wycięcia odwiertów o tak dużej średnicy. W takiej sytuacji zaleca się odpowiednie uwzględnienie wpływu wielkości uziarnienia kruszywa oraz średnicy wykorzystanych odwiertów na ich wytrzymałość. Sugestie w tym względzie zostały zawarte w załączniku in-

Rys. 4. Widok próbek przygotowanych do badań o długości równej średnicy ($h = \phi = 100$ mm)



Źródło: Andrzej Maczek

formacyjnym (Załącznik A) do normy [4], z którego wynika między innymi, że:

- dla kruszywa o wymiarach ziarn do 20 mm wytrzymałość odwiertów o średnicy 100 mm jest o około 7 % wyższa niż dla odwiertów o średnicy 50 mm
- a dla kruszywa o wymiarach ziarn do 40 mm wytrzymałość odwiertów o średnicy 100 mm jest o około 17 % wyższa niż dla odwiertów o średnicy 50 mm.

Należy równocześnie nadmienić, że w praktyce inżynierskiej bardzo rzadko występuje potrzeba korzystania z odwiertów o średnicach wyraźnie mniejszych od 80 mm, a ponadto, europejskie przepisy normowe nie przewidują badania odwiertów o średnicach mniejszych niż 50 mm, pomimo że znane są doniesienia literaturowe postulujące stosowanie tzw. mikroodwiertów o średnicach rzędu 25-50 mm [10, 11].

Ze statystycznego punktu widzenia oraz wymagań bezpieczeństwa, do oceny wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji zaleca się wykorzystanie jak największej praktycznie możliwej liczby odwiertów. W przypadku próbek o nominalnej średnicy nie mniejszej niż 100 mm minimalna ich liczba wynosi 3. W przypadku badania odwiertów o średnicach mniejszych niż 100 mm, liczbę próbek należy proporcjonalnie zwiększyć, przyjmując, iż dla odwiertów o średnicy 50 mm niezbędne jest trzykrotne zwiększenie ich liczby.

Niezależnie od wymienionych powyżej uwarunkowań każdorazowo przed podjęciem decyzji o wierceniu należy rozważyć wszelkie konsekwencje, wynikające z przewidywanej lokalizacji odwiertów. W szczególności należy unikać miejsc położonych w bezpośrednim sąsiedztwie wszelkiego rodzaju krawędzi i połączeń oraz obszarów, w których występują znaczne gradienty naprężeń. Należy, oczywiście w miarę możliwości, unikać także wiercenia poprzez zbrojenie, przy czym wypada zaznaczyć, iż przedmiotowe normy [4, 5] nie wypowiadają się o wpływie na wytrzymałość betonu wyciętych przypadkowo kawałków prętów zbrojeniowych, a wieloletnie doświadczenia potwierdzają opinię, iż w większości przypadków wpływ zbrojenia jest mało istotny i może być pominięty. Wyjątkiem są tu pręty zbrojeniowe położone w osi podłużnej odwiertu lub w bezpośrednim sąsiedztwie jej przebiegu. W takim przypadku stosowne przepisy normowe [4, 5] jednoznacznie zabraniają wykorzystywania tego rodzaju odwiertów do badań wytrzymałościowych.

4. Przygotowanie próbek do badań

Wycięte z istniejącej konstrukcji odwierty rdzeniowe winny być poddane szczegółowym oględzinom. Oględziny te mają na celu uzyskanie szeregu ważnych informacji odnośnie jakości betonu, rodzaju zastosowanego kruszywa, jego uziarnienia, a także charakterystyki samej struktury betonu, a w tym od-

powiedzi na takie pytania jak np.:

- czy badany beton jest porowaty
- na ile jest zaawansowany proces karbonatyzacji jego warstwy przypowierzchniowej (rys. 3)
- czy występują w strukturze wady wewnętrzne.

Tego rodzaju badania makroskopowe mają także na celu dokonanie oceny jakościowej pozyskanych odwiertów w kontekście możliwości ich dalszego wykorzystania w badaniach wytrzymałościowych. Procedury postępowania zawarte w normach [4, 5] wymagają odpowiedniego przygotowania próbek do badań wytrzymałościowych. Pierwszą czynnością z tego zakresu jest prawidłowe pocięcie przeznaczonych do badań odwiertów rdzeniowych. Należy przy tym pamiętać, że próbki przeznaczone do badań wytrzymałościowych mogą być wycinane jedynie z nieuszkodzonych i niespękanych fragmentów odwiertów. Zastrzeżenie to często dotyczy tak-

że cienkiej przypowierzchniowej warstwy betonu, która jest odcinana ze względu na występujące uszkodzenia powierzchni oraz ślady korozji.

Zgodnie z normą [5] przyjmuje się zasadę, że badanie odwiertu o długości równej nominalnej średnicy, wynoszącej 100 mm, daje wartość wytrzymałości, która odpowiada wytrzymałości próbki sześcienniej o boku równym 150 mm (rys. 4), wykonanej i dojrzewającej w tych samych warunkach. Jednocześnie badanie odwiertu o nominalnej średnicy nie mniejszej niż 100 mm i nie większej niż 150 mm oraz długości równej dwukrotnej średnicy, daje wartość wytrzymałości, która odpowiada wytrzymałości próbki walcowej o wymiarach 150 na 300 mm, wykonanej i dojrzewającej w tych samych warunkach.

W przypadku badania odwiertów rdzeniowych o średnicy od 50 do 150 mm i innych stosunkach długości do średnicy należy dokonać przeliczenia uzyskanych wyników przy wykorzystaniu wiarygodnych współczynników przeliczeniowych, których szczegółowe wartości pozostawione zostały do uznania komitetów normalizacyjnych poszczególnych krajów członkowskich Unii Europejskiej. Jak dotąd w naszym kraju brak szczegółowych propozycji w tym względzie.

W praktyce inżynierskiej, ze względu na zagęszczenie zbrojenia bądź zbyt małą grubość badanego elementu, mamy często do czynienia z przypadkiem braku możliwości wycięcia odwiertów o zalecanej średnicy, równej 100 mm. Najczęściej stosowanym w takiej sytuacji rozwiązaniem jest pobranie odwiertów o średnicy około 80 mm, co przy maksymalnym wymiarze ziarna kruszywa równym np. 20 mm w pełni spełnia omówione wcześniej wymagania, związane z proporcją wielkości kruszywa do średnicy badanej próbki.

W takim przypadku, przy opracowaniu wyników badań zniszczeniowej wytrzymałości betonu na ściskanie można przyjąć następujące rozumowanie:

– zgodnie z „Budownictwem betonowym” [12], można przyjąć, że:

$$f_{walcowa}(h=\phi=160\text{ mm}) \approx 0,85 f_{walcowa}(h=\phi=80\text{ mm})$$

– ponadto, zgodnie z PN-88/B-06250 [1]:

$$f_{kostkowa}(a=150\text{ mm}) = 1,15 f_{walcowa}(h=\phi=160\text{ mm})$$

czyli

$$f_{kostkowa}(a=150\text{ mm}) \approx 1,15 \times 0,85 f_{walcowa}(h=\phi=80\text{ mm})$$

– co w konsekwencji prowadzi do zależności:

$$f_{kostkowa}(a=150\text{ mm}) \approx 0,98 f_{walcowa}(h=\phi=80\text{ mm})$$

Dla prawidłowego przeprowadzenia badania wytrzymałości betonu na próbkach wyciętych z odwiertów rdzeniowych kluczowe znaczenie ma właściwe przygotowanie końców tych próbek, tak aby zapewnić równoległość powierzchni, do których będzie później przyłożone obciążenie. W tym celu, po pocięciu odwiertów rdzeniowych na poszczególne próbki zaleca się przeszlifowanie ich powierzchni zewnętrznych. 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 (rys. 5) bądź też wyrównaniu powierzchni wyprawą z cementów wysoko glinowych lub mieszanek siarkowych, przy czym o ile szlifowanie i nakładki piaskowe można praktycznie stosować bez ograniczeń, to stosowanie wymienionych powyżej wypraw jest ograniczone do betonów o przewidywanej wytrzymałości nie większej od 50 MPa. Szczegółowe zasady wykonania poszczególnych rodzajów „kapslowania” omówione zostały w normatywnym załączniku do normy PN-EN 12390-3 (Załącznik A) [3].

Dla miarodajnej oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji istotną jest także kwestia zapewnienia właściwego stanu wilgotnościowego próbek w chwili badania. Szacuje się, że wartość wytrzymałości na ściskanie, określana na próbkach nasyconych wodą, jest o około 10-15% niższa od wartości uzyskiwanych na analogicznych próbkach, badanych w stanie powietrzno-suchym [5]. Z tego też względu przepisy normowe wymagają, aby odwierty rdzeniowe przechowywać w warunkach laboratoryjnych przez okres co najmniej 3 dni przed badaniem.

Natomiast w przypadku, gdy konstrukcja lub wyrób betonowy jest zawilgocony, odwierty należy badać w warunkach nasycenia. Dla spełnienia tego warunku, zgodnie z normą [4], wymaga się, aby próbki były nawilżane wodą w temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ co najmniej przez 40 godzin przed badaniem.

5. Przebieg badania oraz zasady interpretacji uzyskiwanych wyników

Wartość wytrzymałości betonu na ściskanie, określana w wyniku badania odwiertów rdzeniowych, uwarunkowana jest nie tylko właściwościami betonu, ale także sposobem jego układania, zagęszczania, a także historią dojrzewania. Sama procedura przeprowadzenia tego rodzaju pomiaru wytrzymałości betonu na ściskanie jest analogiczna do badania próbek normowych i winna spełniać wymagania określone w [3]. Norma ta, ściśle powiązana z nową normą betonową [2], zaleca między innymi, aby w czasie badania wytrzymałości betonu na ściskanie obciążenie narastało ze stałą prędkością, mieszczącą się w przedziale od 0,2 MPa/s do 1,0 MPa/s.

Ważnym novum, w stosunku do dotychczasowej praktyki badawczej, jest zdefiniowanie pojęcia prawidłowego i nieprawidłowego charakteru zniszczenia badanych próbek. W normie [3] zamieszczone zostały poglądowe rysunki, obrazujące oba te przypadki. Dla ilustracji, na rys. 6 przedstawiono wybrany przykład charakteru zniszczenia, świadczącego o prawidłowym przebiegu badania. Istotną zmianą jest także zalecenie zaokrąglenia wartości wytrzymałości betonu do 0,5 MPa, wobec dotychczas obowiązującego zaokrąglenia z dokładnością do 0,1 MPa.

Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie badanej na odwiertach rdzeniowych winna, zdaniem wielu autorów [13, 14, 15], uwzględniać fakt, iż wytrzymałość betonu w konstrukcji jest generalnie niższa od wytrzymałości określonej na próbkach normowych, pobieranych z tego samego zarobu betonu. Fakt ten jest częściowo przypisywany samemu procesowi wiercenia, który niewątpliwie niesie w sobie ryzyko niewielkiego uszkodzenia materiału rdzenia, a częściowo temu, że warunki pielęgnacji betonu na budowie są prawie zawsze gorsze od warunków, z jakimi mamy do czynienia w laboratorium.

Rys. 5. Widok próbek z założonymi kapsłami piaskowymi



foto: Andrzej Morczko



Ń. Andrzej Koczko

Rys. 6. Widok „prawidlowego” charakteru zniszczenia próbki walcowej

W większości publikacji, w tym w amerykańskich przepisach normowych [16], przyjmuje się, iż wytrzymałość betonu na ściskanie w konstrukcji, badana na odwiertach rdzeniowych (wytrzymałość „in-situ”), osiąga wartości rzędu 75-85% wytrzymałości próbek normowych, przy czym obserwowany spadek wytrzymałości jest większy dla betonów charakteryzujących się wyższymi parametrami wytrzymałościowymi. Omawiana norma europejska [5] wprowadza stosowny współczynnik korekcyjny o wartości równej 0.85. Konsekwencją tego przyjęcia jest, w przypadku badania odwiertów rdzeniowych, znaczące obniżenie minimalnych wartości charakterystycznej wytrzymałości

Tablica 1. Minimalne wartości charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji, odpowiadające klasom wytrzymałości betonu zgodnym z normą EN 206-1

Klasa wytrzymałości betonu na ściskanie, zgodna z EN 206-1	Stosunek charakterystycznej wytrzymałości betonu w konstrukcji do charakterystycznej wytrzymałości próbek normowych	Minimalna charakterystyczna wytrzymałość betonu na ściskanie w konstrukcji N/mm ²	
		$f_{ck, is, cyl}$	$f_{ck, is, cube}$
C8/10	0,85	7	9
C12/15	0,85	10	13
C16/20	0,85	14	17
C20/25	0,85	17	21
C25/30	0,85	21	26
C30/37	0,85	26	31
C35/45	0,85	30	38
C40/50	0,85	34	43
C45/55	0,85	38	47
C50/60	0,85	43	51
C55/67	0,85	47	57
C60/75	0,85	51	64
C70/85	0,85	60	72
C80/95	0,85	68	81
C90/105	0,85	77	89
C100/115	0,85	85	98

betonu na ściskanie, wymaganych dla poszczególnych klas wytrzymałości betonu, zgodnych z normą PN-EN 206-1 [2]. Istotę tej zmiany ilustruje tablica 1.

Norma [5] określa także, odmienne w porównaniu do normy betonowej [2], kryteria zgodności dla wytrzymałości betonu ocenianej na podstawie wyników badania odwiertów rdzeniowych. Zasady określenia wartości wytrzymałości charakterystycznej betonu na ściskanie w konstrukcji sprowadzają się do dwóch przypadków. Przypadek „A” ma zastosowanie w sytuacji, gdy dysponujemy nie mniej niż 15 odwiertami rdzeniowymi. Przypadek „B” dotyczy natomiast sytuacji, kiedy mamy do dyspozycji od 3 do 14 odwiertów.

Przypadek „A”

Wartość charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji, określona dla danego miejsca pomiarowego, jest mniejszą z dwóch poniższych wartości:

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

lub

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

gdzie:

$f_{ck, is}$ – charakterystyczna wytrzymałość betonu na ściskanie w konstrukcji

$f_{m(n), is}$ – średnia wartość wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji uzyskana z „n” wyników jej pomiaru

$f_{is, lowest}$ – najmniejsza z oznaczonych wartości wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji

s – odchylenie standardowe wyników pomiaru, lecz nie mniej niż 2,0 N/mm²

k_2 – wartość określona w uzupełnieniach krajowych lub, jeśli ich brak, przyjmowana jako równa 1,48.

Klasę wytrzymałości betonu na ściskanie określa się na podstawie tablicy 1, w oparciu o wyznaczoną wartość charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji.

Przypadek „B”

Wartość charakterystycznej wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji, określona dla danego miejsca pomiarowego, jest mniejszą z dwóch poniższych wartości:

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

lub

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

Zmienna „k” zależy od liczby wyników badań. Właściwą wartość przyjmuje się zgodnie z tablicą 2.

Przedstawione powyżej kryteria oceny dotyczą w zasadzie wszystkich rodzajów konstrukcji betonowych, z tym że w przypadku konstrukcji mostowych mamy do czynienia ze swego rodzaju dowolnością, wynikającą z faktu, iż obok nowej normy betonowej [1] nadal aktualną jest norma mostowa [17], która zawiera w sobie procedury określenia klas wytrzymałościowych betonu zgodne z wycofaną normą „Beton zwykły” [1]. Tak więc z formalnego punktu widzenia w przypadku obiektów mostowych stan prawny nie uległ zmianie i nadal możliwe jest stosowanie dotychczasowych zasad oceny jakości betonu, bazujących na pojęciu wytrzymałości gwarantowanej.

6. Przykłady

Poniżej przedstawiono dwa przykłady liczbowe, ilustrujące zasady oceny klasy wytrzymałościowej betonu, wynikające ze zmian wprowadzonych przez normę EN 13791: 2007.

Przykład nr 1

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

– wartości poszczególnych wyników pomiarów (f_{is}):

42 MPa, 45 MPa, 47 MPa, 40 MPa, 46 MPa, 37 MPa, 43

MPa, 45 MPa, 43,0 MPa, 44,0 MPa, 42,0 MPa, 43,0 MPa, 41,0 MPa, 44,0 MPa i 43,0 MPa

– średnia wytrzymałość badanej serii próbek $f_{cm(15),is} = 43,0$ MPa

– odchylenie standardowe uzyskanych wyników $s = 2,48$ MPa

– najmniejsza uzyskana wartość wytrzymałości $f_{is,lowest} = 37,0$ MPa

Określając wartość wytrzymałości charakterystycznej badanego betonu, odpowiadającą wytrzymałości oznaczonej na próbkach sześciennych, zgodnie z normą EN 13791: 2007, uzyskujemy następujące wartości:

$$f_{ck,is,cube} = f_{cm(n),is} \cdot 1,48 \cdot s = 43,0 - 1,48 \cdot 2,48 = 39,3 \text{ MPa}$$

oraz

$$f_{ck,is,cube} = f_{is,lowest} + 4 = 37 + 4 = 41,0 \text{ MPa}$$

co pozwala ostatecznie przyjąć wartość wytrzymałości charakterystycznej badanego betonu na poziomie około **39,3 MPa** i zgodnie z tabelicą 1 oszacować klasę wytrzymałościową badanego betonu jako **C35/45**.

Przykład nr 2

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

– wartości poszczególnych wyników pomiarów (f_{is}):

41 MPa, 45 MPa, 47 MPa, 40 MPa, 46 MPa, 37 MPa, 43 MPa i 45 MPa

– najmniejsza uzyskana wartość wytrzymałości

$$f_{is,lowest} = 37,0 \text{ MPa}$$

– średnia wytrzymałość uzyskana dla badanej serii próbek

$$f_{cm(8),is} = 43,0 \text{ MPa}$$

Określając wartość wytrzymałości charakterystycznej badanego betonu, odpowiadającą wytrzymałości oznaczonej na próbkach sześciennych, zgodnie z normą EN 13791: 2007, uzyskujemy następujące wartości:

$$f_{ck,is,cube} = f_{cm(n),is} - 5 = 43,0 - 6 = 37,0 \text{ MPa}$$

oraz

$$f_{ck,is,cube} = f_{is,lowest} + 4 = 37 + 4 = 41,0 \text{ MPa}$$

co pozwala ostatecznie przyjąć wartość wytrzymałości charakterystycznej badanego betonu na poziomie około **37,0 MPa** i zgodnie z tabelicą 1 oszacować klasę wytrzymałościową badanego betonu jako **C30/37**.

7. Zasady postępowania, w przypadku nie spełnienia kryteriów zgodności,

bazujących na badaniach próbek normowych

Niezależnie od powyższych zasad oceny jakości betonu w konstrukcji, norma EN 13791:2007 przewiduje specjalną procedurę postępowania w sytuacji, gdy badanie zgodności, przeprowadzone na próbkach normowych, nie spełnia wymagań określonych w specyfikacji badanego betonu. W przypadku, gdy w danym miejscu pomiarowym, obejmującym wiele zarobów betonu, dysponujemy 15 lub więcej wynikami badania odwiertów rdzeniowych i są spełnione poniższe wzory

$$f_{m(n),is} \geq 0,85 (f_{ck,is} + 1,48 \cdot s) \quad (5)$$

oraz

$$f_{is,lowest} \geq 0,85 (f_{ck,is} - 4) \quad (6)$$

można uznać, że wytrzymałość betonu w tym miejscu jest właściwa i spełnia warunki zgodności wynikające z normy EN 206-1.

Jednocześnie, w przypadku gdy dane miejsce pomiarowe ma niewielkie rozmiary, obejmujące jeden lub kilka zarobów betonu, osoba specyfikująca beton może wybrać na podstawie doświadczenia dwa miejsca pobrania odwiertów rdzeniowych i jeśli spełniony jest poniższy wzór

$$f_{is,lowest} \geq 0,85 (f_{ck,is,cub} - 4) \quad (7)$$

można uznać, że wytrzymałość betonu w tym miejscu odpowiada wymaganiom. W takim przypadku należy przyjąć, że po-

Tabela 2. Zmienna „k” przy małej liczbie wyników badań

liczba wyników	wartość zmiennej „k”
od 10 do 14	5
od 7 do 9	6
od 3 do 6	7

putacja, z której pochodzi badany beton, spełnia warunki zgodności. W przypadku gdy wytrzymałość betonu jest niższa od $0,85 (f_{ck,is,cub} - 4)$, założenia projektowe nie są spełnione i zaleca się dokonanie oceny bezpieczeństwa konstrukcji. Niska wytrzymałość betonu w konstrukcji może być spowodowana przez szereg czynników, w tym niespełnieniem wymagań zawartych w specyfikacji, złym zagęszczeniem lub niekontrolowanym dodatkiem wody na miejscu budowy.

dr inż. Andrzej Moczko
Instytut Budownictwa
Politechniki Wrocławskiej

Literatura

- PN-88/B-06250 Beton zwykły
- PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- PN-EN 12390 – Część 3:2001 Badania betonu – Wytrzymałość na ściskanie
- PN-EN 12504 – Część 1:2001 Badania betonu w konstrukcjach – Odwierty rdzeniowe. Wycinanie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie
- EN 13791:2007 Assessment of concrete compressive strength in structures or in structural elements
- A. Moczko, Badania odwiertów rdzeniowych w świetle aktualnych unormowań prawnych. Część 1 – pobieranie odwiertów z konstrukcji oraz badania makroskopowe, „Budownictwo, Technologie, Architektura”, vol. 25, nr 1 (styczeń-marzec)/2004, str. 24-27
- A. Moczko, Badania odwiertów rdzeniowych w świetle aktualnych unormowań prawnych. Część 2 – badania wytrzymałościowe i interpretacja uzyskiwanych wyników, „Budownictwo, Technologie, Architektura”, vol. 26, nr 2 (kwiecień-czerwiec)/2004, str.32-35
- Beton według normy PN-EN 206-1 – komentarz, praca zbiorowa pod redakcją profesora Lecha Czarnieckiego, wydawnictwo wspólne: Polski Cement i Polski Komitet Normalizacyjny, Kraków 2004, stron 297
- prEN 13791:2003 Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components.
- F. Indelicato, Estimate of concrete cube strength by means of different diameter cores: A statistical approach, Materials and Structures, vol. 30, nr 4/1997, str. 131-138
- L. Brunarski, Ocena wytrzymałości betonu w konstrukcji, IV Konferencja Naukowo-Techniczna – „Warsztaty Pracy Rzeczoznawcy Budowlanego”, Kielce 27-29.04.1998, str. 39-54
- Budownictwo betonowe, tom I, część 1 – Technologia Betonu, Arkady, 1972
- V. M. Malhorta, Concrete strength requirements – cores versus in-situ evaluation, Journal of American Concrete Institute, vol. 74, nr 4, 1977, str. 163-172
- R.L.Yuan, Evaluation of core strength in high-strength concrete. Concrete International, vol. 13, nr 5, 1991, str. 30-34
- A. M. Neville, Właściwości betonu, wyd. 4, Polski Cement Sp. z o. o., Kraków 2000
- ACI 318-95, Building code requirements for structural concrete, ACI Manual of Concrete Practice, Part 3: Use of Concrete in Buildings – Design, Specifications and Related Topics, Detroit, Michigan 1994
- PN-S-10040:1999 Obiekty mostowe – Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone – Wymagania i badania