

NIEPEWNOŚĆ WYTRZYMAŁOŚCI BETONU NA ŚCISKANIE UZYSKIWANA NA PRÓBKACH SZEŚCIENNYCH

Mariusz Sobolewski

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. Wytrzymałość betonu na ściskanie odgrywa podstawową rolę w projektowaniu, wykonawstwie i użytkowaniu konstrukcji żelbetowych. Artykuł dotyczy szacowania niepewności wyników badań wytrzymałości betonu na próbkach sześciennych. Wysoka jakość uzyskiwanych wyników z badań jest niezmiernie ważna do prawidłowej oceny badanego materiału. O jakości wyniku można mówić, jeśli znana jest niepewność pomiaru. Jej znajomość pozwala dokonywać porównania wyników badań uzyskiwanych dla różnych klas betonu przez różne laboratoria. W pierwszej części pracy uporządkowano i przedstawiono wiadomości w zakresie teorii niepewności wraz z szacowaniem niepewności wyników pomiarów. Na podstawie opisanej teorii opracowano wzór (11) do określania niepewności rozszerzonej wytrzymałości betonu (f_{cm}). Artykuł zawiera wyniki badań wraz z wstępną ich oceną. Celem badań była weryfikacja hipotezy badawczej dotyczącej ulepszenia kryterium oceny parametrów mechanicznych betonu. W następnym artykule zaproponowane kryteria oceny cech mechanicznych betonu, wynikające z teorii niepewności, porównane zostaną z kryterium oceny wyniku, które bazuje na statystycznym rachunku błędu pomiaru.

Słowa kluczowe: wytrzymałość betonu, niepewność wyniku, ocena wytrzymałości, klasa wytrzymałości

WSTĘP

Jakość betonu powszechnie stosowanego w budownictwie ocenia się na podstawie jego wytrzymałości na ściskanie. Jest to podstawowa cecha betonu, która pozwala go jednoznacznie sklasyfikować i ocenić pod względem wytrzymałościowym

Adres do korespondencji – Corresponding author: Mariusz Sobolewski, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Inżynierii Budowlanej, Laboratorium Centrum Wodne, ul. Ciszewskiego 6, 02-776 Warszawa, e-mail: mariusz_sobolewski@sggw.pl

[Ajdukiewicz i in. 1998, Czarnecki i in. 2004, Drobiec i in. 2010]. Estymację wytrzymałości betonu przeprowadza się zasadniczo na podstawie badań niszczących próbki formowane lub próbki *in situ* wycinane z konstrukcji. Podstawą wyjścia do dokonania oceny ilościowej określonej partii wyrobu jest określenie średniej wytrzymałości betonu z badań (f_{cm}). Wytrzymałość betonu bywa znacznie zróżnicowana, co spowodowane jest m.in.: jakością i świeżością cementu, zawilgoceniem kruszywa, stopniem i sposobem zagęszczania lub desegregacją mieszanki betonowej podczas transportu [Nagrodzka-Godycka 1999, Jamroży 2005, Zieliński 2010]. Istotny wpływ na wytrzymałość wywierają także różnego rodzaju domieszki i dodatki do betonu oraz warunki jego pielęgnacji. Z uwagi na ten fakt średnia wytrzymałość betonu nie jest parametrem wystarczającym do określenia bezpieczeństwa konstrukcji. Niezbędne jest podanie tzw. wytrzymałości gwarantowanej ($f_{c,cube}^G$), która określa klasę betonu – obecnie klasę wytrzymałości [Nagrodzka-Godycka 1999]. Wytrzymałość gwarantowana szacowana jest na podstawie wnioskowania statystycznego dotyczącego badanych próbek i wynikającej z tego średniej wytrzymałości betonu wraz z odchyleniem standardowym nieprzekraczającym 20% wytrzymałości średniej, co oznacza, że współczynnik zmienności musi spełniać warunek $v < 0,2$.

Kontrola cech użytkowych betonu ważna jest dla producentów betonu, jak również dla zakładów prefabrykacji oraz wykonawców inwestycji budowlanych. Kontrolne badania wytrzymałości są wykonywane na próbkach pobranych losowo z danej partii betonu. Częstotliwość pobierania próbek nie powinna być mniejsza niż 1 próbka na 100 zarobów, 1 próbka na 50 m³ betonu, 1 próbka na zmianę roboczą i nie mniej niż 3 próbki z danej partii betonu. Przy czym przez partię betonu należy rozumieć wartość mniejszą z dwóch warunków: ilości betonu dostarczonego na każdą kondygnację lub grupę płyt/belek lub słupów/ścian jednej kondygnacji bądź ilości betonu nie większej niż 400 m³ i nie większej niż ilość potrzebna na tygodniowe betonowanie [PN-EN 206-1:2003]. Przez partię betonu rozumie się także jego ilość wyprodukowaną w okresie nie dłuższym niż 1 miesiąc, z takich samych składników, w ten sam sposób i w takich samych warunkach [Ajdukiewicz i in. 1998, Czarnecki i in. 2004]. Pobieranie próbek do kontroli zgodności zależy od rodzaju produkcji i od tego, czy beton objęty jest systemem certyfikacji, czy nie. Sposób zagęszczania próbek w formach i warunki ich przechowywania powinny być takie same jak w wykonywanym elemencie żelbetowym, z uwzględnieniem ewentualnej obróbki cieplnej [Ajdukiewicz i in. 1998, PN-EN 12390-2:2011].

WYZNACZANIE WYTRZYMAŁOŚCI BETONU

Wytrzymałość betonu na ściskanie określają maksymalne naprężenia ściskające w jednoosiowym stanie naprężenia. Dlatego pojedynczy pomiar wytrzymałości oblicza się, dzieląc największe obciążenie w postaci siły przez przekrój poprzeczny próbki [Brunarski 1994, Ajdukiewicz i in. 1998, Drobiec i in. 2010, PN-EN 12390-3:2011]. Wyniki badań wytrzymałości zaokrągla się do 0,1 MPa [Ajdukiewicz i in. 1998, Nagrodzka-Godycka 1999]. Według normy PN-EN 12390-3:2011 oraz Drobiec i innych [2010], wytrzymałość na ściskanie należy wyrazić z zaokrągleniem do 0,5 MPa. Do

prób ściskania stosuje się prasy wytrzymałościowe z ważnym świadectwem wzorcowania. Siła niszcząca powinna być określona z dokładnością do 1% dla celów badawczych i 3% w badaniach technicznych [Abramowicz 1991]. Powierzchnie próbek stykające się z płytami oporowymi pras muszą być gładkie i bez odchylenia od płaszczyzn docisku. W przeciwnym razie stosuje się odpowiednie zabiegi, aby ten warunek spełnić [PN-EN 12390-3:2011].

W celu wyznaczenia powierzchni docisku mierzone są wymiary próbek, z reguły z dokładnością do 0,1 mm. Jeżeli próbki wykonywane są w formach spełniających warunki normowe tolerancji, to można posługiwać się wymiarami nominalnymi próbki [Ajdukiewicz i in. 1998, Nagrodzka-Godycka 1999]. Norma PN-EN 12390-3 dopuszcza stosowanie pomiaru wymiarów próbek z dokładnością do 0,5% wymiaru. Dla próbek sześciennych zaleca się wykonanie trzech pomiarów wymiarów w każdym kierunku prostopadłym celem określenia wartości średnich, z których wyznacza się pole powierzchni docisku. Według PN-EN 12390-1:2011, dla próbek sześciennych tolerancja dla wymiaru deklarowanego między górną zagładzoną powierzchnią a dolną z formy powinna być mniejsza niż 1,0%, a dla pozostałych wymiarów uzyskanych z formy – mniejsza niż 0,5%. W przypadku form precyzyjnych dla próbek sześciennych tolerancja wymiaru deklarowanego zmontowanej formy wynosi 0,25%. Umownie przyjęto, że wytrzymałość betonu na ściskanie powinna być badana na próbkach sześciennych o boku 150 mm, ustawianych prostopadle do kierunku betonowania i centralnie względem płyt pras ściskających.

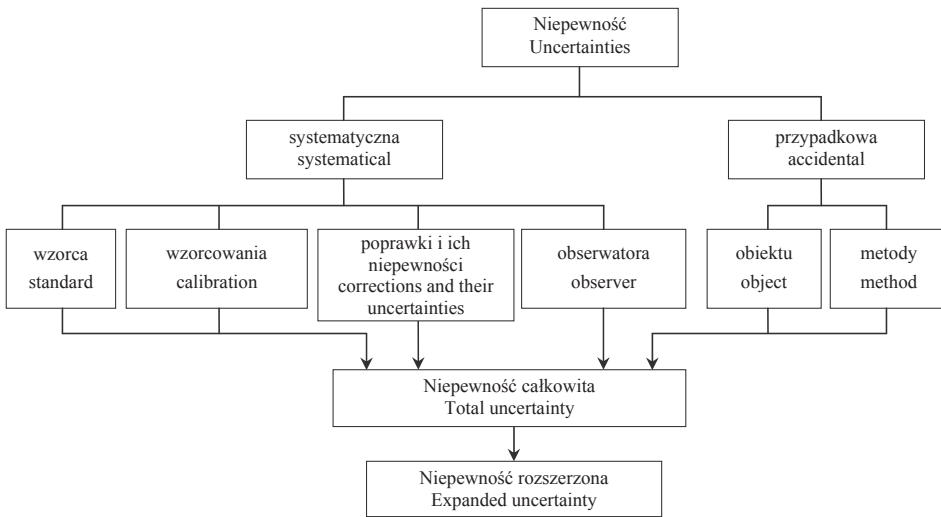
PODSTAWY TEORETYCZNE NIEPEWNOŚCI POMIARÓW

Niepewność pomiaru jest ściśle powiązana z wynikami pomiarów. Jest to liczbowo wyrażona miara jakości wyniku, która charakteryzuje rozrzut wartości wyników wokół wielkości mierzonej. Inaczej mówiąc, niepewność określa przedział wokół wielkości mierzonej, który zawiera z określonym prawdopodobieństwem wartość oczekiwaną.

Można mówić o niepewności pojedynczego pomiaru lub niepewności dla serii pomiarów, dotyczącej zwykle wartości średniej. Obliczanie i wyrażanie niepewności pomiaru jest konieczne w celu porównywalności wyników pomiarów ze sobą oraz z wartościami odniesienia podawanymi w normach. Ponadto ujawnienie informacji ilościowej o dokładności pomiarów pozwala oszacować wiarygodność wyników badań. Niepewność pomiarów jest niezbędna także przy wykorzystywaniu wyników w obliczeniach inżynierskich.

Istnieje kilka rodzajów niepewności pomiarów. Ze względu na pochodzenie parametrów zastosowanych do szacowania niepewności wyróżnia się niepewność typu A, pochodzącą od odchylenia standardowego, oraz niepewność typu B, która opiera się na innym rozkładzie prawdopodobieństwa niż rozkład normalny, zazwyczaj prostokątnym lub trójkątnym [Jaworski i in. 1999, Szydłowski 2001]. Proponowaną klasyfikację niepewności ilustruje rysunek 1.

Niepewność pomiaru obejmuje dwa składniki: niepewność przypadkową oraz niepewność systematyczną (wzorcowania i eksperymentatora). Wszystkie rodzaje niepewności składają się na niepewność całkowitą. Niepewność systematyczna dotyczy poprawki



Rys. 1. Klasyfikacja niepewności pomiarowych wynikająca z literatury
 Fig. 1. Classification of uncertainty in measurements on the basis of literature

i wynika z wzorcowania przyrządu, ewentualnie z udziału obserwatora. Natomiast niepewność przypadkowa wynika ze wskazań przyrządu i objawia się występowaniem statystycznego rozrzutu wyników [Szydłowski 2001].

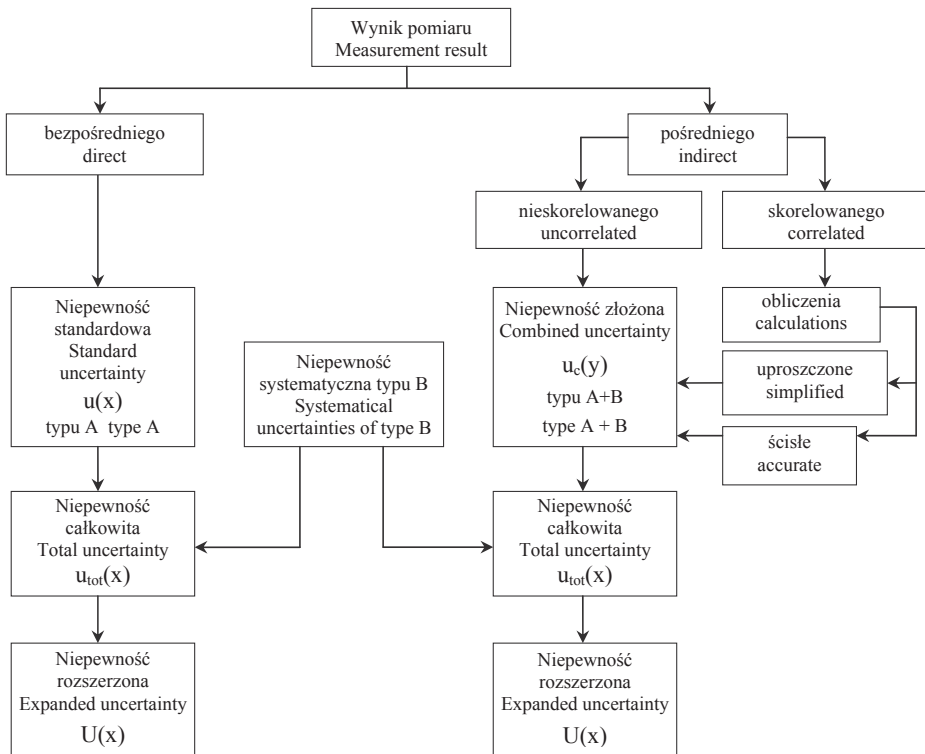
METODYKA SZACOWANIA NIEPEWNOŚCI W POMIARACH

Sposób szacowania niepewności pomiarów jest dość złożony i wymaga dobrego zrozumienia tego zagadnienia. W wielu sytuacjach pomocne może okazać się także doświadczenie osób, które zajmują się tego rodzaju rachunkami. Przykładowy tok postępowania przedstawiono na rysunku 2.

Za wynik końcowy pomiarów w badaniach przyjmuje się zazwyczaj wartość średniej arytmetycznej. W pomiarach bezpośrednich przyjmuje się niepewność standardową (przypadkową) typu A, która jest zgodna z odchyleniem standardowym średniej według wzoru:

$$u(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (1)$$

gdzie: $u(x)$ – niepewność standardowa,
 x_i – wynik i -tego pomiaru,
 \bar{x} – wartość średnia,
 n – liczba pomiarów.



Rys. 2. Schemat blokowy określania niepewności w pomiarach
 Fig. 2. Block diagram of uncertainty calculation in measurements

Pomiar pośredni polega na wyznaczaniu wartości wielkości mierzonej (y) przez obliczenie jej jako wartości funkcji, zwanej funkcją pomiaru zawierającej wielkości wejściowe (zmierzone).

W pomiarach pośrednich wyróżnia się niepewność standardową złożoną $u_c(y)$. Niepewność złożona jest połączeniem niepewności typu A oraz typu B. Istnieją pomiary pośrednie nieskorelowane i skorelowane. Określenie niepewności standardowej złożonej pomiarów nieskorelowanych jest prostsze. Można ją oszacować z zależności:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i u(x_i))^2} \tag{2}$$

gdzie: $u_c(y)$ – niepewność standardowa złożona,
 c_i – współczynnik wrażliwości i -tego pomiaru,
 $u(x_i)$ – niepewność standardowa i -tego składnika

Współczynniki wrażliwości mogą być określane eksperymentalnie: mierzy się wówczas zmianę (Y) wywołaną przez pojedynczą zmianę określonej wielkości wejściowej

(X_i), podczas gdy pozostałe wielkości wejściowe pozostają stałe. Z definicji współczynników c_i są pochodnymi cząstkowymi funkcji względem rozpatrywanych wielkości wejściowych. Parametry te opisuje zależność:

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} = \frac{\partial f}{\partial X_i} \Big|_{X_1 = x_1 \dots X_n = x_n} \quad (3)$$

gdzie: x_i – estymata wielkości wejściowej,
 X_i – wartość wielkości wejściowej.

Bardzo często jednak mamy do czynienia z pomiarami pośrednimi skorelowanymi. Wówczas można wykonać obliczenia niepewności złożonej uproszczone lub ściśle. W obliczeniach uproszczonych niepewność standardowa, dotycząca wartości średniej, odpowiada złożonej niepewności standardowej pomiarów skorelowanych. Wynik jest przybliżony, ale akceptowany w obliczeniach inżynierskich. W obliczeniach ścisłych postać niepewności złożonej jest bardziej rozbudowana i uwzględnia współczynnik korelacji dwu zmiennych $r(x_i, x_j)$, w który uwikłana jest kowariancja $u(x_i, x_j)$:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (c_i u(x_i))^2 + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N c_i c_j u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j)} \quad (4)$$

gdzie:

$$r(x_i, x_j) = \frac{u(x_i, x_j)}{u(x_i) u(x_j)} \quad (5)$$

$$u(x_i, x_j) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^N (x_{i,k} - \bar{x}_i)(x_{j,k} - \bar{x}_j) \quad (6)$$

Niepewność typu B, pochodząca od wzorcowania i obserwatora, opiera się zazwyczaj na rozkładzie równomiernym. Głównym przyczynkiem niepewności pomiarów, w których nie występuje rozrzut, jest niepewność wzorcowania [Szydłowski 2001]. Niepewność tę można określić za pomocą wzoru:

$$u(x) = \frac{\Delta_d x}{\sqrt{3}} = \sqrt{\frac{(\Delta_d x)^2}{3}} \quad (7)$$

gdzie: $\Delta_d x$ – działka elementarna przyrządów pomiarowych.

Natomiast niepewność eksperymentatora jest ilościową oceną niepewności wyniku spowodowaną przyczynami znanymi obserwatorowi, ale od niego niezależnymi.

Eksperymentator sam dokonuje określenia $\Delta_e x$ na podstawie swojego doświadczenia i wiedzy. Niepewność tego rodzaju przedstawia się równaniem:

$$u(x) = \frac{\Delta_e x}{\sqrt{3}} = \sqrt{\frac{(\Delta_e x)^2}{3}} \quad (8)$$

Niepewność całkowita w pomiarach pośrednich określana jest z następującego wzoru:

$$u_{tot}(x) = \sqrt{u_c(y)^2 + \frac{1}{3}(\Delta_d x)^2 + \frac{1}{3}(\Delta_e x)^2} \quad (9)$$

gdzie: $u_{tot}(x)$ – niepewność standardowa całkowita,
 $u_c(y)$ – niepewność standardowa złożona (przypadkowa),
 $\Delta_d x$ – niepewność systematyczna (wzorcowania),
 $\Delta_e x$ – niepewność systematyczna (eksperymentatora).

W pomiarach bezpośrednich niepewność całkowitą oblicza się w analogiczny sposób jak dla pomiarów pośrednich, lecz zamiast członu niepewności złożonej $u_c(y)$ podstawia się niepewność standardową $u(x)$. W praktyce rozkład wielkości mierzonej najczęściej charakteryzuje się rozkładem normalnym przy dużej próbie lub rozkładem t -Studenta w przypadku próby małej. Stąd niepewność rozszerzona oznacza wielkość definiującą przedział ufności obejmujący dużą część rozkładu wartości mierzonej. Niepewność rozszerzoną opisuje zależność:

$$U(x) = k u_{tot}(x) \quad (10)$$

gdzie: k – kwantyl rozkładu normalnego lub t -Studenta, zwany współczynnikiem rozszerzenia; dla poziomu ufności około 95% i dużej próby (np. gdy $n > 20-30$) $k = 2$, przy małej próbie (np. gdy $n = 6$) $k = 2,57$.

OPRACOWANE SPOSOBY SZACOWANIA NIEPEWNOŚCI WYTRZYMAŁOŚCI BETONU NA ŚCISKANIE

Przy określaniu niepewności parametrów wytrzymałościowych betonu należy mieć świadomość, że niepewność w tym przypadku składa się z niepewności pomiaru siły i niepewności pomiaru powierzchni przekroju próbki (docisku). O ile pomiaru siły dokonuje się w sposób bezpośredni, to pomiar powierzchni próbki sześcienną na podstawie jej wymiarów jest pomiarem pośrednim. Niepewność rozszerzoną pomiaru siły można łatwo uzyskać z aktualnego świadectwa wzorcowania maszyny wytrzymałościowej użytej w badaniach. Należy przy tym zwrócić uwagę, aby wybrać niepewność właściwą dla występującego zakresu sił w badaniach. Bardziej problematyczne staje się oszacowanie niepewności złożonej pola powierzchni badanych próbek, gdyż należy wziąć pod uwagę

kilka możliwości i czynników. Skoro niepewność wytrzymałości betonu (f_{cm}) składa się z niepewności pomiaru siły i niepewności pomiaru powierzchni docisku, to proponuje się zastosować zasadę superpozycji. Szczegółowa metodyka obliczeń tym sposobem będzie przedstawiona w kolejnym artykule.

Alternatywnym sposobem do poprzedniego oszacowania niepewności rozszerzonej wytrzymałości betonu na ściskanie próbek sześciennych jest proponowany wzór:

$$U(f_{cm}) = \overline{f_{cm}} \sqrt{\left(\frac{U(\overline{N})}{\overline{N}}\right)^2 + \left(\frac{U(\overline{P})}{\overline{P}}\right)^2 - r_{NP} \frac{U(\overline{N})U(\overline{P})}{\overline{N} \overline{P}}} \quad (11)$$

- gdzie: $U(f_{cm})$ – niepewność rozszerzona wytrzymałości średniej betonu,
 $\overline{f_{cm}}$ – średnia wartość wytrzymałości betonu z próby,
 $U(\overline{N})$ – niepewność rozszerzona wartości średniej siły z próby,
 $U(\overline{P})$ – niepewność rozszerzona wartości średniej pola docisku z próby,
 \overline{N} – wartość średnia siły niszczącej,
 \overline{P} – wartość średnia pola docisku,
 r_{NP} – współczynnik korelacji zmiennych N i P .

WYNIKI BADAŃ I WSTĘPNA ICH OCENA

Badania wytrzymałości betonu na ściskanie wykonano w jednej z wytwórni prefabrykacji przy produkcji ciągłej betonu. Badaniom poddano beton zwykły o projektowanej klasie wytrzymałości C40/50. Badania cech mechanicznych betonu przeprowadzono w 28. dniu od zabetonowania dla 30 próbek. Wymiary powierzchni docisku mierzone były suwmiarką elektroniczną o rozdzielczości 0,1 mm. W badaniach zastosowano prasę hydrauliczną o zakresie siły do 2000 kN i rozdzielczości 0,1 kN. Niepewność rozszerzona siły niszczącej z aktualnego świadectwa wzorcowania prasy przy współczynniku rozszerzenia $k = 2$ wynosiła $U(N) = 0,25\%$. Otrzymano następujące wyniki:

- średnia wytrzymałość $f_{cm} = 59,935$ MPa
- najmniejsza wartość $f_{ci,min} = 53,717$ MPa
- odchylenie standardowe $s_n = 2,969$ MPa

Pośrednie obliczenia do wyznaczenia niepewności wytrzymałości betonu (f_{cm}) ze wzoru (11) przedstawiają się następująco:

- wynik pomiaru siły niszczącej $\overline{N} = 1,3485 \pm 0,0034$ MN
- wynik pomiaru powierzchni docisku $\overline{P} = 0,022509 \pm 0,000256$ m²

Ostateczny wynik wytrzymałości betonu na ściskanie wynosi: $f_{cm} = 59,935 \pm 0,698$ MPa.

Zgodność betonu została potwierdzona według kryterium zawartym w normie PN- 88/B-06250, z którego otrzymujemy:

$$f_{cm} = 59,935 \text{ MPa} > f_{ck} + k_n \cdot s_n = 50,0 + 1,64 \cdot 2,969 = 54,869 \text{ MPa}$$

Uzyskana wytrzymałość charakterystyczna na ściskanie betonu pozwala wstępnie zaklasyfikować badany materiał do założonej klasy wytrzymałości C40/50. Szczegółowa analiza wyników i ich szacowanie niepewności zostaną przedstawione w kolejnym artykule.

PODSUMOWANIE

W praktyce zachodzi konieczność sprawdzania założonych cech użytkowych projektowanego betonu w różnych celach, konieczność kontroli jakości betonu towarowego w węzłach betonowych, konieczność weryfikacji wytrzymałości betonu przy betonowaniu na budowie, a także konieczność sprawdzania wytrzymałości potrzebnej do rozformowania elementów prefabrykowanych po obróbce cieplnej i dalszej ich kontroli jakości.

Problem przeliczania wytrzymałości uzyskiwanych na różnym kształcie i wielkości próbek został już opanowany. Niepewność wytrzymałości betonu (f_{cm}) nie jest zagadnieniem trudnym, lecz złożonym, gdyż na jej wielkość wpływa kilka czynników, zwłaszcza dokładność stosowanych urządzeń pomiarowych, tzn. klasa maszyny wytrzymałościowej i rozdzielczość suwmiarek elektronicznych. Wytrzymałość betonu (f_{cm}) bywa zróżnicowana, stąd istnieje potrzeba szacowania jej niepewności. Teoria niepewności pozwala oszacować wartość średnią wytrzymałości betonu z większą dokładnością, niż jest to zalecane w normach przedmiotowych. Powszechne podawanie wyników wytrzymałości betonu bez ujawniania ich niepewności w literaturze fachowej wskazuje na potrzebę wdrożenia niepewności wyników do praktyki. Postępowanie takie może podwyższyć obecne standardy i pozwoli na porównywalność wyników uzyskiwanych w różnych laboratoriach.

PIŚMIENNICTWO

- Abramowicz M., 1991. Konstrukcje betonowe. Laboratorium. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Ajdukiewicz A., Starosolski W., Sulimowski Z., 1998. Konstrukcje betonowe. Laboratorium. Wydaw. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Brunarski L., 1994. Metody badawcze stosowane przy ocenie konstrukcji budowlanych – oszacowanie wytrzymałości betonu *in situ*. Materiały z sesji ITB „Diagnostyka i wzmacnianie konstrukcji żelbetowych”. ITB, Warszawa.
- Czarnecki L. i in., 2004. Beton według normy PN-EN 206-1 – komentarz. Polski Cement, Kraków.
- Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A., 2010. Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. Metodologia, badania polowe, badania laboratoryjne betonu i stali. Tom 1. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Jamroży Z., 2005. Beton i jego technologie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Jaworski J. i in., 1999. Wyrażanie niepewności w pomiarach. Przewodnik. GUM, Warszawa.
- Nagrodzka-Godycka K., 1999. Badanie właściwości betonu i żelbetu w warunkach laboratoryjnych. Arkady, Warszawa.
- PN-88/B-06250. Beton zwykły.
- PN-EN 206-1: 2003. Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- PN-EN 12390-1:2001. Badania betonu. Część 1: Kształt, wymiary i inne wymagania dotyczące próbek do badania i form.

- PN-EN 12390-2:2011. Badania betonu. Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych.
- PN-EN 12390-3:2011. Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania.
- PN-EN 12390-4:2001. Badania betonu. Część 4: Wytrzymałość na ściskanie. Wymagania dla maszyn wytrzymałościowych.
- Szydłowski H., 2001. Niepewności w pomiarach. Międzynarodowe standardy w praktyce. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- Zieliński K., 2010. Podstawy technologii betonu. Wydaw. Politechniki Poznańskiej, Poznań.

UNCERTAINTY OF STRENGTH FOR CUBICAL SAMPLES CONCRETE

Abstract. Strength of concrete play fundamental role in design engineering, construction, and development of reinforced concrete buildings. High quality of test results in investigations to estimate research material accurate is very important. The paper contains an analysis of calculation procedure for uncertainty of results and medium strength for cubical samples concrete. Expression of uncertainty in measurements gives possibility to compare test results obtained from different laboratory. The paper is addressed to engineers who carry on concrete compression tests and interpreted the results.

Key words: strength of concrete, result of uncertainty, estimation of strength, class of strength

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 17.12.2012