

dr inż. Grzegorz Bajorek*
mgr inż. Marta Kiernia-Hnat*
dr inż. Izabela Skrzypczak***

Jakość wyników badań wytrzymałości na ściskanie i jej wpływ na kwalifikację betonu

The influence of test results quality on the concrete qualifications according to conformity criteria

Proces produkcji betonu powinien podlegać kontroli, za którą odpowiedzialny jest producent [1]. Kontrola powinna obejmować czynności i pomiary niezbędne do stwierdzenia zgodności (lub jej braku) właściwości betonu z określonymi wymaganiami, a więc dobór materiałów, projektowanie betonu, jego produkcję, badania oraz wykorzystanie wyników badań w procesie doskonalenia produkcji i kontrolę zgodności.

Norma PN-EN 206-1 wyróżnia kontrolę zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie, kontrolę zgodności wytrzymałości betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu, kontrolę zgodności właściwości innych niż wytrzymałość oraz określa kryteria zgodności dla tych właściwości. W artykule dokonano analizy wytrzymałości betonu na ściskanie w odniesieniu do normowych kryteriów zgodności.

Kontrola zgodności wytrzymałości na ściskanie

Kontrolę zgodności wytrzymałości na ściskanie przeprowadza się na betonach o określonych składach (receptach) lub na rodzajach betonów. Norma PN-EN 206-1 rozróżnia produkcję początkową oraz produkcję ciągłą, dla których plan pobierania próbek oraz kryteria zgodności są różne. Produkcja początkowa obejmuje produkcję do momentu uzyskania co najmniej 35 wyników badań w okresie nieprzekraczającym 12 miesięcy [1, 2].

Dużą część producentów betonu dokonuje oceny zgodności produkowanego betonu zgodnie z kryteriami produk-

cji początkowej (tabela 1), gdyż kryteria są łatwiejsze w stosowaniu, bowiem nie wymagają uwzględnienia wpływu odchylenia standardowego badanej cechy. W przypadku dużej niejednorodności produkowanego betonu, kryteria zgodności produkcji ciągłej są bardziej rygorystyczne niż produkcji początkowej.

Tabela 1. Kryteria zgodności dotyczące wytrzymałości na ściskanie [1]

Produkcja	Liczba „n” wyników badań wytrzymałości na ściskanie w zbiorze	Kryterium 1	Kryterium 2
		średnia z „n” wyników (f_{cm}) [N/mm ²]	dowolny pojedynczy wynik badania (f_{ci}) [N/mm ²]
Początkowa	3	$\geq f_{ck} + 4$	$\geq f_{ck} - 4$
Ciągła	≥ 15	$\geq f_{ck} + 1,48\sigma$	$\geq f_{ck} - 4$

Kryterium zgodności dla wartości średniej zaproponowane w normie PN-EN-206-1 [1] przyjęte zostało zgodnie z algorytmem:

$$f_{cm} \geq f_{ck} + k_1$$

$$f_{cm} \geq f_{ck} + \left(\frac{k_1}{\sigma}\right) \cdot \sigma$$

$$f_{cm} \geq f_{ck} + \lambda' \cdot \sigma$$

gdzie:

k_1 – wartość współczynnika testowego zalecanego przez normę [1];
 σ – odchylenie standardowe dla populacji.

$$\frac{k_1}{\sigma} = \lambda'$$

Zaproponowane przez Taerwe [5] i zalecane w normie PN-EN 206-1 [1] wartości λ' dla skorelowanych wyników podano w tabeli 2.

W przypadku produkcji początkowej norma narzuca stałą wartość odchylenia standardowego na poziomie $4/2,67 = 1,5$ MPa bez względu na wartość średniej wytrzymałości betonu. Para-

Tabela 2. Wartości λ' dla wyników skorelowanych prób o różnej liczebności [5, 6]

Liczba „n” wyników	Wartość λ'
3	2,67
15	1,48

metr λ' został przyjęty dla założonego odchylenia standardowego w taki sposób, aby skonstruowana krzywa OC dla proponowanych w normie [1] kryteriów zgodności mieściła się w obszarze kontrolowanym zalecanych krzywych granicznych przez CEB/CIB/FIB/RILEM [7] oraz Taerwe [6].

Kryteria zgodności podane w normie PN-EN 206-1 oraz kryteria zgodności podawane w specyfikacjach technicznych wyrobów zakładają, że uzyskane wyniki badań są wartością pewną nieobciążoną niepewnościami pomiaru, co nie jest prawdą. Każdy wynik badania jest obciążony „błędami” pierwszego i drugiego rodzaju. Jest pewną aproksymacją wartości mierzonej i powinien być podawany wraz z niepewnością uzyskania tego wyniku.

Konieczność określania niepewności pomiaru narzucona jest wszystkim laboratoriom akredytowanym, które muszą działać zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO/IEC 17025 [3]. Biorąc to pod uwagę, wynik badania z uwzględnieniem niepewności jest przedziałem, a nie jedną wartością [4]. Odnosząc wynik badania do kryteriów zgodności podanych w normie [1], analizuje się przedziały, a nie pojedyncze wyniki.

Kontrola zgodności z uwzględnieniem niepewności pomiaru

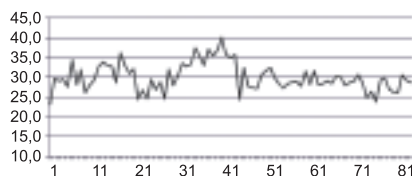
Analizowano populację wyników badań betonu o takim samym składzie pochodzącego z jednej receptury beto-

* Politechnika Rzeszowska, Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej

** Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej

*** Politechnika Rzeszowska

nu produkowanego przez jeden węzeł betoniarski. Analizowany beton miał założoną klasę wytrzymałości C20/25 i charakteryzował się dużą wadliwością produkcji. W analizie przyjęto kryteria jak dla produkcji początkowej i pokrywających się wyników badań. Populację analizowanych wyników przedstawiono na rysunku. Uzyskane wyniki pochodzą z okresu od kwietnia 2010 r. do grudnia 2011 r.



Wyniki badań poddanych analizie

W analizowanym przypadku normowe kryterium 2 nie stanowiło zagrożenia dla kwalifikacji betonu pod względem jego zgodności. Wszystkie uzyskiwane wyniki były większe od wymaganych kryterium 2 (tabela 3). W ocenie zgodności decydującym kryterium akceptacji weryfikowanej partii betonu jest kryterium odnoszące się do wartości średniej (kryterium 1).

Wadliwość analizowanej populacji wyników wynosiła 8%, a 42% wyników badań nie spełniało normowych kryteriów zgodności dla produkcji początkowej. W związku z tym, że badania wytrzymałości oraz pobieranie próbek wykonywane było przez akredytowane laboratorium, możliwe było uzyskanie wartości niepewności pomiaru w celu określenia wytrzymałości na ściskanie. Niepewność pomiaru oszacowano na poziomie 1,1 N/mm². Przy takim założeniu obliczono granice przedziałów uzyskanych wyników badań i porównano je z normowym kryterium zgodności odnoszącym się do wartości średniej. Po uwzględnieniu niepewności pomiarów, liczba wyników badań niespełniających normowych kryteriów zgodności spadła do 19%. W przedstawionym przykładzie niepewność pomiaru uzyskanych wyników jest mała w stosunku do uzyskiwanych wyników i stanowi mniej niż 3,5% wyniku. Mimo tak niewielkiej wartości uwzględnienie jej w analizie pozwala zmniejszyć o ponad 50% liczbę wyników badań niespełniających kryteriów zgodności.

Analizując te same wyniki badań wg kryteriów produkcji ciągłej, ok. 52%

wyników nie spełnia wymagań normowych [1]. Uwzględniając niepewność pomiaru, liczba wyników badań niespełniających kryteriów obniża się do ok. 38%. Przykład ten potwierdza, że w przypadku dużej zmienności jakości betonu (odchylenie standardowe populacji wyników na poziomie 3,5 N/mm²) nieopłacalne jest prowadzenie kontroli jakości wg kryteriów produkcji ciągłej.

Podsumowanie

Uwzględnienie niepewności pomiaru wytrzymałości na ściskanie rozszerza przedział akceptowalności uzyska-

Tabela 3. Ocena zgodności części analizowanej populacji wyników

Wytrzymałość [MPa]	Kryterium 1 f_{cm}	Kryterium 2 $f_{ci min}$	Ocena
23,1	—	—	
29,7	—	—	
29,1	27,3	23,1	niespełnione
29,5	29,4	29,1	spełnione
27,5	28,7	27,5	niespełnione
34,3	30,4	27,5	spełnione
28,1	30	27,5	spełnione
31,9	31,4	28,1	spełnione
26,1	28,7	26,1	niespełnione
28	28,7	26,1	niespełnione
29,4	27,8	26,1	niespełnione
32,6	30	28	spełnione
33,8	31,9	29,4	spełnione
33	33,1	32,6	spełnione
32,8	33,2	32,8	spełnione

Wytrzymałość + niepewność	Kryterium 1 f_{cm}	Kryterium 2 $f_{ci min}$	Ocena
24,2	—	—	
30,8	—	—	
30,2	28,4	24,2	niespełnione
30,6	30,5	30,2	spełnione
28,6	29,8	28,6	spełnione
35,4	31,5	28,6	spełnione
29,2	31,1	28,6	spełnione
33,0	32,5	29,2	spełnione
27,2	29,8	27,2	spełnione
29,1	29,8	27,2	spełnione
30,5	28,9	27,2	niespełnione
33,7	31,1	29,1	spełnione
34,9	33	30,5	spełnione
34,1	34,2	33,7	spełnione
33,9	34,3	33,9	spełnione

wanych wyników badań. Każda ze stron procesu budowlanego jest zainteresowana dokonaniem rzetelnej oceny zgodności betonu.

W analizie prowadzonej przy ocenie zgodności ważne jest uwzględnienie faktu, że każdy wynik badania uzyskiwany jest z określoną jego niepewnością. Całkowite pomijanie niepewności nie jest podejściem właściwym. Pominięcie niepewności pomiaru w ocenie jest możliwe, gdy wszystkie uzyskane wyniki spełniają kryteria zgodności. W pozostałych przypadkach, tj. gdy następuje dyskwalifikacja wyrobu na podstawie uzyskanych wyników bez uwzględnienia w analizie niepewności pomiarów uzyskanych wyników, działanie takie jest niewłaściwe i może skutkować fałszywie negatywną oceną wyrobu, który w rzeczywistości spełnia kryteria normowe.

Abstract

Conformity criteria of compressive strength of concrete specified in standard PN-EN 206-1 relate to middle and minimum values without measurement uncertainty. The article presents the analysis population of the test results of compressive strength of concrete whose were produced by one mixingplan and tested by one accredited laboratory. The analysis take the consideration of measurement uncertainty and its influence on the assessment of concrete.

Literatura

- [1] PN-EN 206-1 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [2] Czarnecki L., Praca zbiorowa, Beton według normy PN-EN 206-1 – komentarz, Polski Cement, Kraków 2004.
- [3] PN-EN ISO/IEC 17025 Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcowych.
- [4] Arendarski J., Niepewność pomiarów. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
- [5] Taerwe L. Evaluation of compound compliance criteria of concrete strength. Materials and Structures, Vol. 21, 1988, s. 13 – 20.
- [6] Brunarski L., Podstawy matematyczne kształtowania kryteriów zgodności wytrzymałości materiałów, Wydawnictwo ITB, Warszawa, 2009.
- [7] CEB/CIB/FIB/RILEM: Recommended principles for the control of quality and judgment of acceptability of concrete. Material and structures, Vol. 8, 47, 1975, s. 387 – 403.