

Zdzisław B. Kohutek\*

## TESTOWANIE ZGODNOŚCI PARAMETRÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH BETONU\*\*

---

### 1. Wprowadzenie

„Zgodność” w języku obiegowym kojarzy się z jednomyślnością, harmonią, brakiem rozbieżności czy sprzeczności. Dla potrzeb inżynierii betonu, polskie wydanie normy europejskiej PN-EN 206-1 [10] sprowadza to pojęcie do obszaru „badanie zgodności” i „ocena zgodności”. W pierwszym chodzi o „... badanie wykonywane przez producenta, w celu oceny zgodności betonu ...”, w drugim zaś o „... systematyczne badania stopnia, w jakim wyrób spełnia wyspecyfikowane wymagania ...”.

Wymienione wyżej definicje są lakoniczne, zbyt ogólne, i trudno na ich podstawie zorientować się w istocie zagadnienia. Pomocą może być niniejsza publikacja, w której krótko przedstawiono założenia i ograniczenia, dalej — procedury i kryteria, a w końcu — przykładowe rozwiązanie.

W myśl cytowanej regulacji [10] — ocenie zgodności podlegają wszystkie, normowe parametry betonu, których wartość oznacza się wcześniej za pomocą aparatury lub sprzętu laboratoryjnego. Dotyczy to zarówno stadium mieszanki betonowej, jak i stadium stwardniałego betonu.

Dla różnych parametrów stosuje się na ogół inne procedury testowania zgodności, czasami analogiczne, pokrewne, czasami — odrębne, oparte na innych zasadach czy kryteriach.

Na rysunku 1 pokazano schemat blokowy systemu kontroli zgodności, do której zobowiązany jest producent betonu — o ile tylko respektuje wymagania normy PN-EN 206-1. Decyduje zapis kontraktu (specyfikacja). Schemat uwzględnia kategorię właściwości oraz różnorodność procedur i kryteriów. Biorąc pod uwagę formalny status betonu z nawiązaniem do porządku normalizacji [10] — wyodrębniono tutaj dwa człony, mianowicie — człon „betonu projektowanego” i człon „betonu recepturowego”.

---

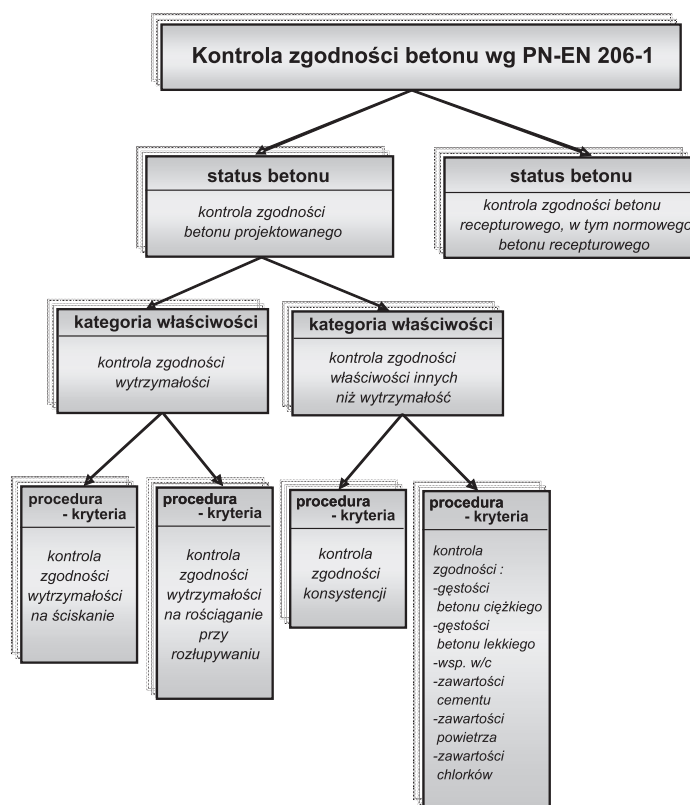
\* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

\*\* Artykuł opracowano w ramach pracy statutowej nr 11.11.100.197

W niniejszym artykule nie kontynuowano tematyki kontroli zgodności w obrębie czło-  
nu betonu recepturowego, gdyż:

- jego udział w rynku betonu towarowego to zaledwie drobny ułamek w porównaniu do udziału betonu projektowanego,
- kryteria i tok testowania zgodności wytrzymałości są akurat identyczne jak w przypad-  
ku betonu projektowanego.

Problematyce kontroli zgodności właściwości innych niż wytrzymałość, charaktery-  
stycznych dla fazy mieszanki betonowej — poświęcono opracowanie [6], prezentowane  
w ramach poprzedniej, IX edycji Konferencji „Budownictwo Podziemne”. Omówiono tam  
osobno procedurę kontroli zgodności konsystencji, osobno — wspólną procedurę dla kontroli  
zgodności: gęstości betonu ciężkiego i lekkiego, wsp.  $w/c$ , zawartości cementu, zawartości  
powietrza w mieszance napowietrzanej oraz zawartości chlorków. Tak więc, aby zamknąć  
temat, w niniejszej publikacji skoncentrowano się na monitoringu zgodności wytrzymałoś-  
ci, parametru charakterystycznego dla betonu stwardniałego.



Rys. 1. System kontroli zgodności właściwości betonu

## 2. Przegląd literatury krajowej

Krajowa literatura przedmiotu jest skromna. Nieliczne pozycje traktują temat wycinkowo, fragmentarycznie, bez objaśnienia aspektów merytorycznych.

Europejskie wymagania normowe oraz kryteria oceny zgodności właściwości betonu według wzorca EN 206-1 [3] opisane zostały po raz pierwszy w Polsce w publikacji [5], z ponad rocznym wyprzedzeniem w stosunku do daty krajowego wydania normy PN-EN 206-1:2003. Później cytowano je przy okazji różnych konferencji, seminariów, szkoleń, warsztatów, także w publikacjach — m.in. [1, 2, 4].

W opracowaniu [7] J. Piątkowski prześledził tok weryfikowania zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie w ramach produkcji certyfikowanych prefabrykatów betonowych, bazując na przykładzie zamkniętego zbioru wyników. Serię wyników ocenianych wg PN-EN 206-1 poprzedził ciągiem wyników wcześniejszych, który wykorzystał do oszacowania wstępnego odchylenia standardowego  $\delta$ . Zaproponował wzór arkusza oceny dla konkretnego sortymentu betonu.

Podobnym przykładem, lecz w ujęciu tabelarycznym, ułatwiającym przegląd — posłużył się G. Bajorek [1].

Nikt, jak dotąd — nie porównywał oceny zgodności, prowadzonej w oparciu o ciąg pokrywających i niepokrywających się wyników badania wytrzymałości.

## 3. Ocena zgodności wytrzymałości na ściskanie

### 3.1. Zasady pobierania próbek i realizacji badań

Norma [10] mówi, że pobór porcji mieszanki betonowej, z której później formowane są próbki sześcienne lub walcowe dla potrzeb badania wytrzymałości — winien być reprezentatywny dla całej produkowanej partii. Najlepiej, gdy porcję mieszanki pobiera się losowo.

Procedury i kryteria dotyczące opróbowania opisane są w normach narzędziowych, a mianowicie:

- odnośnie sposobu pobierania porcji — PN-EN 12350-1 [11];
- odnośnie kształtu, wymiarów i innych wymagań geometrycznych próbek — PN-EN 12390-1 [12];
- odnośnie wykonania próbek i ich pielęgnacji — PN-EN 12390-2 [13].

Znając wymagania normowe co do częstotliwości pobierania próbek (tab. 1), można założyć harmonogram wykonania badań wytrzymałościowych.

Pobór próbek musi być rozłożony w czasie, równomiernie na całość partii. Nie zaleca się pobierania więcej niż jednej próbki z każdych 25 m<sup>3</sup> wyprodukowanej mieszanki.

TABELA 1

**Minimalna częstotliwość pobierania próbek do oceny zgodności [10]**

Faza produkcji	Minimalna częstotliwość pobierania próbek		
	pierwsze 50 m <sup>3</sup> produkcji	po pierwszych 50 m <sup>3</sup> produkcji	
		beton z certyfikatem kontroli produkcji	beton bez certyfikatu kontroli produkcji
produkcja początkowa (do zgromadzenia minimum 35 wyników badań)	3 próbki	1 pobór z 200 m <sup>3</sup> produkcji lub 2 pobory z produkcji tygodniowej	1 pobór ze 150 m <sup>3</sup> produkcji lub 1 pobór z produkcji dziennej
produkcja ciągła (po uzyskaniu co najmniej 35 wyników badań)		1 pobór z 400 m <sup>3</sup> produkcji lub 1 pobór z produkcji tygodniowej	

### 3.2. Metodyka oceny i jej kryteria

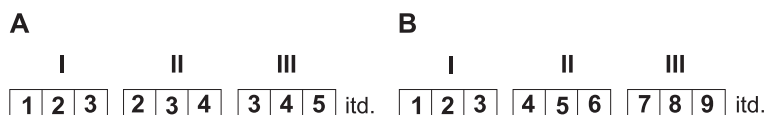
Zgniatanie próbek przeprowadza się osiowo — zgodnie z zaleceniami normy narzędziowej PN-EN 12390-1 [14]. Ocenie zgodności podlegają wyniki badania wytrzymałości po 28 dniach dojrzewania próbek, o ile tylko kontrahenci nie postanowili inaczej.

Oceny zgodności dokonuje się biorąc pod uwagę wyniki badań wytrzymałości, gromadzone w okresie oceny, nie dłuższym niż 12 miesięcy.

Oceniający zgodność ma do dyspozycji dwie alternatywy preparowania bazy wyników. Może korzystać z:

- sekwencji „n” pokrywających się wyników badań, lub
- sekwencji „n” nie pokrywających się wyników badań,

i po akceptacji jednej z nich — przyporządkować odpowiedni sposób grupowania rezultatów oznaczeń.



**Rys. 2.** Schemat grupowania w sekwencję pokrywających się (A) i nie pokrywających się (B) wyników oznaczeń wytrzymałości: 1, 2, 3 — numer kolejny wyniku; I, II, III — kolejny krok analizy

Analizę zgodności danego sortymentu betonu realizuje się posługując normowym „Kryterium 1” i „Kryterium 2”.

TABELA 2

**Kryteria zgodności dla wytrzymałości na ściskanie [10]**

Faza produkcji	Liczba „n” wyników badań w zbiorze	Kryterium 1	Kryterium 2
Produkcja początkowa	3	$f_{cm} \geq f_{ck} + 4$	$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$
Produkcja ciągła	15	$f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \delta$	$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$

W tabeli 2 użyto następujących oznaczeń:

- $f_{cm}$  — wartość średnia z „n” wyników badania wytrzymałości na ściskanie, N/mm<sup>2</sup>,
- $f_{ci}$  — pojedynczy wynik badania wytrzymałości na ściskanie, N/mm<sup>2</sup>,
- $f_{ck}$  — charakterystyczna wytrzymałość betonu na ściskanie, N/mm<sup>2</sup>,
- $\delta$  — oszacowanie odchylenia standardowego populacji.

Norma [10] przytacza również dodatkowe „Kryterium 3”, rozstrzygające o przynależności danego sortymentu do tzw. „rodziny betonów”. Ponieważ jednak formuła rodziny betonów wiąże się z osobną procedurą i nie jest przez normę PN-EN 206-1 narzucona jako test obligatoryjny, nie rozwijano dalej tego wątku w ramach niniejszej publikacji.

Natomiast wymaga się bezwzględnie, aby w ramach dowodu zgodności obydwie warunki cytowane wcześniej jako „Kryterium 1” i „Kryterium 2” były spełnione równolegle.

Przed rozpoczęciem właściwego postępowania dowodowego zgodności, trzeba oszacować wstępnie wartość odchylenia standardowego  $\delta$ , biorąc pod uwagę co najmniej 35 kolejnych wyników badań, wykonanych w okresie dłuższym niż 3 miesiące, poprzedzającym bezpośrednio uruchomienie produkcji. Gdy jest to nowo opracowana receptura betonu (nowy sortyment betonu), to chodzi o zestaw wyników z badań wstępnych.

Norma [10] proponuje dwie, równorzędne metody przyjmowania wartości odchylenia standardowego  $\delta$ , różniące się sposobem szacowania — tj.:

- Metoda 1, która dopuszcza wykorzystanie wstępnie oszacowanej wartości odchylenia  $\delta$  do oceny zgodności wyników próbek pobranych z produkcji — z zastrzeżeniem wszak, że odchylenie standardowe ostatnich piętnastu wyników  $s_{15}$  nie odbiega znacząco od przyjętego odchylenia standardowego. Zatem musi być spełniony warunek:

$$0,63 \delta \leq s_{15} \leq 1,37 \delta \quad (1)$$

- Metoda 2, która przewiduje kreację nowej wartości  $\delta$  w oparciu o ciąg wyników z produkcji ciągłej, przy czym zastrzega, że czułość tej metody nie może być mniejsza od czułości Metody 1.

### 3.3. Przykład testowania zgodności wytrzymałości na ściskanie — w oparciu o sekwencję niepokrywających się wyników

**Zadanie 1:** Korzystając z sekwencji niepokrywających się rezultatów badań — skontrolować zgodność wytrzymałości na ściskanie, oznaczanej na próbkach  $15 \times 15 \times 15$  cm betonu C25/30 produkowanego sukcesywnie, stosując 3-wynikowy krok uśredniania dla produkcji początkowej i 15-wynikowy krok uśredniania dla produkcji ciągłej.

W tabeli 3 zestawiono przykładowe wyniki oznaczeń wytrzymałości w porządku chronologicznym (kol. 4), a także — monitoring ich zgodności (kol. 7–15).

TABELA 3

Testowanie zgodności w oparciu o sekwencję niepokrywających się wyników

Lp.	Data (dzień, miesiąc)	Faza produkcji	Wytrzymałość próbki, $f_{ci}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Średnia z ostatnich 3 lub 15 wyników niepokrywających się	Wstępnie oszacowana wartość odchylenia standardowego $\delta$	Test zgodności								
						Kryterium 2		Kryterium 1		$0,63 \delta \leq s_{15} \leq 1,37 \delta$				
						$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$	spełnione ?	$f_{cm} \geq f_{ck} + 4$ lub $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \delta$	spełnione ?	wartość 0,63 $\delta$	znak	$s_{15}$	znak	wartość 1,37 $\delta$
7	8	9	10	11	12	13	14	15						
1	28.06	początkowa	41,0			26,0	tak							
2	28.06		28,5			26,0	tak							
3	3.07		39,0	36,2		26,0	tak	34,0	tak					
4	4.07		35,5			26,0	tak							
5	7.07		38,0			26,0	tak							
6	8.07		37,5	37,0		26,0	tak	34,0	tak					
7	9.07		41,5			26,0	tak							
8	10.07		34,0			26,0	tak							
9	11.07		30,0	35,2		26,0	tak	34,0	tak					
10	14.07		39,0			26,0	tak							
11	15.07		35,0			26,0	tak							
12	16.07		38,5	37,5		26,0	tak	34,0	tak					
13	17.07		38,0			26,0	tak							
14	18.07		39,0			26,0	tak							
15	21.07		30,0	35,7	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak			4,0616		
16	22.07		35,5			26,0	tak							
17	23.07		35,0			26,0	tak							
18	24.07		29,0	33,2	3,0415405	26,0	tak	34,0	nie			3,6927		
19	25.07		38,5			26,0	tak							
20	28.07		38,0			26,0	tak							

TABELA 3 cd.

Lp.	Data (dzień, miesiąc)	Faza produkcji	Wytrzymałość próbki $f_{ci}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Średnia z ostatnich 3 lub 15 wyników niepokrywających się	Wstępnie oszacowana wartość odchylenia standardowego $\delta$	Test zgodności								
						Kryterium 2		Kryterium 1		0,63 $\delta \leq s_{15} \leq 1,37 \delta$				
						$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$	spełnione ?	$f_{cm} \geq f_{ck} + 4$ $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \delta$	spełnione ?	wartość 0,63 $\delta$	znak	$s_{15}$	znak	wartość 1,37 $\delta$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
21	29.07	początkowa	42,0	39,5	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak			4,0655		
22	30.07		30,5			26,0	tak							
23	31.07		39,0			26,0	tak							
24	1.08		38,0	35,8	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak			3,8110		
25	4.08		31,0			26,0	tak							
26	5.08		38,0			26,0	tak							
27	6.08		30,0	33,0	3,0415405	26,0	tak	34,0	nie			4,2167		
28	7.08		37,5			26,0	tak							
29	8.08		36,0			26,0	tak							
30	11.08		36,5	36,7	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak			3,8288		
31	12.08		37,0			26,0	tak							
32	13.08		35,5			26,0	tak							
33	14.08		33,0	35,2	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak			3,4562		
34	18.08		29,0			26,0	tak		tak					
35	19.08		36,5	35,3	3,0415405	26,0	tak	34,5	tak	1,9162	<	3,7692	<	4,1669
36	20.08	37,0			26,0	tak		tak						
37	21.08	37,5			26,0	tak		tak						
38	22.08	31,5			26,0	tak		tak						
39	25.08	30,0			26,0	tak		tak						
40	26.08	39,5			26,0	tak		tak						
41	27.08	36,0			26,0	tak		tak						
42	28.08	37,0			26,0	tak		tak						
43	29.08	38,0			26,0	tak		tak						
44	1.09	37,5			26,0	tak		tak						
45	2.09	34,5			26,0	tak		tak						
46	4.09	36,0			26,0	tak		tak						
47	6.09	35,5			26,0	tak		tak						
48	7.09	35,0			26,0	tak		tak						
49	10.09	34,0			26,0	tak		tak						
50	11.09	32,0	35,4	3,0415405	26,0	tak	34,5	tak	1,9162	<	2,6336	<	4,1669	

### 3.4. Przykład testowania zgodności wytrzymałości na ściskanie — w oparciu o sekwencję pokrywających się wyników

**Zadanie 2:** Korzystając z sekwencji powtarzających się rezultatów badań — skontrolować zgodność wytrzymałości na ściskanie, oznaczanej na próbkach  $15 \times 15 \times 15$  cm betonu C25/30 produkowanego sukcesywnie, stosując 3-wynikowy krok uśredniania dla produkcji początkowej i 15-wynikowy krok uśredniania dla produkcji ciągłej. W tabeli 4 (kol. 4) zestawiono wyniki oznaczeń wytrzymałości w porządku chronologicznym, identyczne jak dla „Zadania 1”, natomiast w dalszych kolumnach — rezultaty monitoringu ich zgodności (kol. 7–15).

TABELA 4  
Testowanie zgodności w oparciu o sekwencję pokrywających się wyników

Lp.	Data (dzień, miesiąc)	Faza produkcji	Wytrzymałość próbki, $f_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Średnia z ostatnich 3 lub 15 wyników pokrywających się	Wstępnie oszacowana wartość odchylenia standardowego $\delta$	Test zgodności									
						Kryterium 2		Kryterium 1		0,63 $\delta \leq s_{15} \leq 1,37 \delta$					
						$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$	spełnione ?	$f_{cm} \geq f_{ck} + 4$ lub $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \delta$	spełnione ?	wartość 0,63 $\delta$	znak	$s_{15}$	znak	wartość 1,37 $\delta$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	28.06	początkowa	41,0			26,0	tak								
2	28.06		28,5			26,0	tak								
3	3.07		39,0	36,2		26,0	tak	34,0	tak						
4	4.07		35,5	34,3		26,0	tak	34,0	tak						
5	7.07		38,0	37,5		26,0	tak	34,0	tak						
6	8.07		37,5	37,0		26,0	tak	34,0	tak						
7	9.07		41,5	39,0		26,0	tak	34,0	tak						
8	10.07		34,0	37,6		26,0	tak	34,0	tak						
9	11.07		30,0	35,1		26,0	tak	34,0	tak						
10	14.07		39,0	34,3		26,0	tak	34,0	tak						
11	15.07		35,0	34,6		26,0	tak	34,0	tak						
12	16.07		38,5	37,5		26,0	tak	34,0	tak						
13	17.07		38,0	37,1		26,0	tak	34,0	tak						
14	18.07		39,0	38,0		26,0	tak	34,0	tak						
15	21.07		30,0	35,6	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak				4,0616		
16	22.07		35,5	34,8	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak				3,8492		
17	23.07		35,0	<b>33,5</b>	3,0415405	26,0	tak	<b>34,0</b>	<b>nie</b>				3,2758		
18	24.07		29,0	<b>33,1</b>	3,0415405	26,0	tak	<b>34,0</b>	<b>nie</b>				3,6927		
19	25.07		38,5	34,1	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak				3,7616		



TABELA 4 cd.

Lp.	Data (dzień, miesiąc)	Faza produkcji	Wytrzymałość próbki $f_{ci}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Średnia z ostatnich 3 lub 15 wyników pokrywających się	Wstępnie oszacowana wartość odchylenia standardowego $\delta$	Test zgodności								
						Kryterium 2		Kryterium 1		0,63 $\delta \leq s_{15} \leq 1,37 \delta$				
						$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$	spełnione ?	$f_{cm} \geq f_{ck} + 4$ lub $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \delta$	spełnione ?	wartość 0,63 $\delta$	znak	$s_{15}$	znak	wartość 1,37 $\delta$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
20	28.07	początkowa	38,0	35,1	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak			3,7616		
21	29.07		42,0	39,5	3,0414405	26,0	tak	34,0	tak			4,0655		
22	30.07		30,5	36,8	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak			4,0332		
23	31.07		39,0	37,1	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak			4,1092		
24	1.08		38,0	35,8	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak			3,8110		
25	4.08		31,0	36,0	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak			3,9677		
26	5.08		38,0	35,6	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak			3,9999		
27	6.08		30,0	<b>33,0</b>	3,0415405	26,0	tak	<b>34,0</b>	<b>nie</b>			4,2167		
28	7.08		37,5	35,1	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak			4,1969		
29	8.08		36,0	35,4	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak			4,0831		
30	11.8		36,5	36,6	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak			3,8288		
31	12.08		37,0	36,5	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak			3,8446		
32	13.08		35,5	36,3	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak			3,8399		
33	14.08		33,0	35,1	3,0415405	26,0	tak	34,0	tak			3,4562		
34	18.08		29,0	<b>32,5</b>	3,0415405	26,0	tak	<b>34,0</b>	<b>nie</b>			3,8229		
35	19.08	36,5	35,3	3,0415405	26,0	tak	34,5	tak	1,9162	<	3,7692	<	4,1669	
36	20.08	37,0	34,9	3,0415405	26,0	tak	34,5	tak	1,9162	<	3,3299	<	4,1669	
37	21.08	37,5	35,4	3,0415405	26,0	tak	34,5	tak	1,9162	<	3,1445	<	4,1669	
38	22.08	31,5	34,9	3,0415405	26,0	tak	34,5	tak	1,9162	<	3,1332	<	4,1669	
39	25.08	30,0	34,5	3,0415405	26,0	tak	34,5	tak	1,9162	<	3,2525	<	4,1669	
40	26.08	39,5	34,9	3,0415405	26,0	tak	34,5	tak	1,9162	<	3,3566	<	4,1669	
41	27.08	36,0	34,8	3,0415405	26,0	tak	34,5	tak	1,9162	<	3,2660	<	4,1669	
42	28.08	37,0	35,3	3,0415405	26,0	tak	34,5	tak	1,9162	<	3,0166	<	4,1669	
43	29.08	38,0	35,3	3,0415405	26,0	tak	34,5	tak	1,9162	<	3,0453	<	4,1669	
44	1.09	37,5	35,4	3,0415405	26,0	tak	34,5	tak	1,9162	<	3,0930	<	4,1669	
45	2.09	34,5	35,3	3,0415405	26,0	tak	34,5	tak	1,9162	<	3,0868	<	4,1669	
46	4.09	36,0	35,2	3,0415405	26,0	tak	34,5	tak	1,9162	<	3,0582	<	4,1669	
47	6.09	35,5	35,2	3,0415405	26,0	tak	34,5	tak	1,9162	<	3,0582	<	4,1669	
48	7.09	35,0	35,3	3,0415405	26,0	tak	34,5	tak	1,9162	<	2,9968	<	4,1669	
49	10.09	34,0	35,7	3,0415405	26,0	tak	34,5	tak	1,9162	<	2,4698	<	4,1669	
50	11.09	32,0	35,4	3,0415405	26,0	tak	34,6	tak	1,9162	<	2,6336	<	4,1669	

#### 4. Ocena zgodności wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu

Oceny zgodności wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu dokonuje się tylko wtedy, gdy badanie tej właściwości wg wytycznych normy [10] wpisane zostanie do specyfikacji betonu.

Do oznaczania wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu wykorzystuje się maszynę wytrzymałościową. Próbki walcowe zgniata się wzdłuż pobocznic, a próbki sześciennie — wzdłuż jednej z płaszczyzn symetrii, z uzbrojeniem suportów w nasadki tnące. Szczegóły przytacza norma narzędziowa [15].

Obowiązują tu analogiczne założenia i reguły postępowania jak w przypadku oceny zgodności wytrzymałości na ściskanie (patrz: podrozdz. 3.1 i 3.2) z wyjątkiem kryteriów, które podano w tabeli 5.

TABELA 5

Kryteria zgodności dla wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu [10]

Faza produkcji	Liczba „n” wyników badań w zbiorze	Kryterium 1	Kryterium 2
Produkcja początkowa	3	$f_{tm} \geq f_{tk} + 0,5$	$f_{ti} \geq f_{tk} - 0,5$
Produkcja ciągła	15	$f_{tm} \geq f_{tk} + 1,48 \delta$	$f_{ti} \geq f_{tk} - 0,5$

W tabeli 5 użyto następujących oznaczeń:

$f_{tm}$  — wartość średnia z „n” wyników badania wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu, N/mm<sup>2</sup>,

$f_{ti}$  — pojedynczy wynik badania wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu, N/mm<sup>2</sup>,

$f_{tk}$  — charakterystyczna wytrzymałość betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu, N/mm<sup>2</sup>,

$\delta$  — oszacowanie odchylenia standardowego populacji.

#### 5. Nowy rozkład ryzyka wadliwości

W krajowej normie [8] z 1988 r., poprzedzającej regulację europejską [10], daną partię betonu kwalifikowano do odpowiedniej klasy, uwzględniając wielkość populacji próbek i założony poziom ufności. Gdy liczba wyników wynosiła więcej niż 15, to związek między wytrzymałością średnią  $R_{sr}$  i wytrzymałością gwarantowaną  $R_b^G$  miał postać:

$$R_{sr} - 1,64 s \geq R_b^G, \text{ stąd: } R_{sr} \geq R_b^G + 1,64 s \quad (2)$$

Podobną zależność podaje norma europejska PN EN 206-1 dla zbioru 15 kolejnych wyników w ramach produkcji ciągłej (tab. 2, „Kryterium 1”):

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \delta \quad (3)$$

Ponieważ wytrzymałość gwarantowana  $R_b^G$  w przedziale od 15 N/mm<sup>2</sup> do 60 N/mm<sup>2</sup> co do wartości jest równa wytrzymałości charakterystycznej  $f_{ck}$  [9],  $f_{cm}$  i  $R_{sr}$  to wartość średnia wytrzymałości, a symbole  $s$  i  $\delta$  zdefiniowane są identycznie jako odchylenie standardowe wytrzymałości — różnica występuje jedynie we współczynniku liczbowym. Jak widać, w pierwszym z wymienionych wyżej wzorów wynosi on 1,64, w drugim zaś — 1,48.

Oznacza to, że norma PN-EN 206-1 podnosi nieco próg gwarancji, zwiększając prawdopodobieństwo incydentu zanizenia wytrzymałości w stosunku do wymagań klasy. Zatem ryzyko wadliwości, które do tej pory przeważało wyraźnie na stronę producenta mieszanki betonowej, obecnie — w części przesunięte zostało w kierunku odbiorcy betonu.

## 6. Uwagi końcowe

- Norma PN-EN 206-1 dopuszcza ocenę zgodności wytrzymałości — zarówno w oparciu o zbiór pokrywających się, jak i niepokrywających się wyników oznaczeń. Wybór alternatywy należy do producenta betonu, który przed przystąpieniem do testowania musi sam zdecydować, czy skorzysta z pierwszej czy z drugiej opcji. Niedopuszczalna jest zmiana procedury w trakcie trwania testu.
- Weryfikacja zgodności ciągu zadanych wyników badań wytrzymałości (rozdz. 3.3 i 3.4), poza kilkoma wyjątkami — udowodniła, że zarówno „Kryterium 1” jak i „Kryterium 2” zostały spełnione. W obrębie produkcji ciągłej utrzymano zasadę  $0,63 \delta \leq s_{15} \leq 1,37 \delta$ , gdyż znak nierówności wskazywał zawsze przewagę liczbową w kol. 11 i 13. Ten pozytywny efekt zawdzięczać można 72-procentowemu udziałowi wyników z wartością powyżej 34 N/mm<sup>2</sup> i 28-procentowemu udziałowi wyników równych lub mniejszych od 34 N/mm<sup>2</sup>, w tym — tylko 3 poniżej 30 N/mm<sup>2</sup>. Znaczenie ma również rozproszenie wyników o niższej wartości liczbowej — w zbiorze.
- Bardziej czułą okazała się sekwencja pokrywających się wyników, bowiem jej analiza ujawniła 4 przypadki niezgodności uśrednienia z „Kryterium 1” (tab. 4, wiersz — lp. 17, 18, 27 i 34), podczas gdy analiza sekwencji niepokrywających się wyników — tylko 2 (tab. 3, wiersz — lp. 18 i 27).
- Powodem wystąpienia ww. przypadków niedotrzymania „Kryterium 1” jest obecność wyniku „słabego” w kroku XVII, XVIII, XXVII, XXXIV analizy, bez dostatecznego zrównoważenia go pozostałymi rezultatami. Ponieważ niedobór jest mały, wynosi 0,5÷1,5 N/mm<sup>2</sup>, w praktyce — po zgłoszeniu niezgodności odbiorcy mieszanki betonowej — doszłoby do poszukiwań rozwiązania w ramach częściowego współczynnika bezpieczeństwa dla betonu, wynikającego z relacji: „wytrzymałość betonu określona

- na próbkach formowanych podczas jego produkcji (ewentualnie — podczas zabudowy) ↔ wytrzymałość betonu określona na próbkach wyciętych z konstrukcji”.
- Z chwilą przejścia produkcji początkowej w fazę produkcji ciągłej — norma [10] zmienia poziom „Kryterium 1” z  $(f_{ck} + 4)$  na  $(f_{ck} + 1,48 \delta)$ . Konsekwencją tej regulacji w odniesieniu do rozpatrywanego zadania (podrozdz. 3.3 i 3.4) jest niewielka zwyżka dopuszczalnego minimum wartości średniej  $f_{cm}$  z  $34,0 \text{ N/mm}^2$  (tab. 3 i 4, wiersz — lp. 3÷34) do  $34,5 \text{ N/mm}^2$  (tab. 3 i 4, wiersz — lp. 35÷50). Ale kiedy indziej zmiana ta może sięgać nawet kilku  $\text{N/mm}^2$  [1].
  - Jak widać, zadana seria oznaczeń wytrzymałości nawiązuje do realiów praktyki, kiedy to rozruchowi produkcji zazwyczaj towarzyszy większy rozrzut wyników, które w miarę kontynuowania produkcji ciągłej stabilizują się w pobliżu wartości średniej. Wraz z rozrostem populacji, umacnia się tendencja obniżania wartości  $s_{15}$ .
  - Rozwiązanie z wykorzystaniem sekwencji niepokrywających się wyników niesie dodatkową korzyść, gdyż ewentualny, pojedynczy rezultat nadmiernie odchylający się — „psuje” uśrednienie tylko jednokrotnie, a nie wielokrotnie, jak ma to miejsce w przypadku rozwiązania bazującego na serii wyników pokrywających się.
  - Dla przypadku, gdy odchylenie standardowe ostatnich 15 wyników badań w okresie produkcji ciągłej przekroczy wartość iloczynu  $(1,37 \cdot \delta)$  — norma [10] zaleca, by zwiększyć częstotliwość pobierania próbek do poziomu wymaganego dla produkcji początkowej (tzn. 3 próbki z każdych  $50 \text{ m}^3$  wyprodukowanego betonu), i trzymać się tego zalecenia aż do chwili zgromadzenia następnych 35 wyników.

#### LITERATURA

- [1] Bajorek G.: Normowa kontrola zgodności w ramach kontroli produkcji. [w:] Materiały szkoleniowe Stowarzyszenia Producentów Betonu Towarowego w Polsce „Norma PN-EN 206-1: Beton ... — bez tajemnic”, Kraków, 2006, s. 93–108
- [2] Czarniecki L. i in.: Beton według normy PN-EN 206-1 — komentarz. Wyd.: Polski Cement Sp. z o.o., Kraków, 2004, s. 298
- [3] EN 206-1:2000 „Beton — Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
- [4] Kohutek Z.: Kryteria dla betonu według normy europejskiej EN 206-1. [w:] Sympozjum Naukowo-Techniczne „Beton i jego składniki — normalizacja, właściwości i zastosowanie”, (Poznań, 27.02.2003.). Wyd.: Górażdże Cement S.A. + Sika Poland Sp. z o.o. + Instytut Konstrukcji Budowlanych Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2003, s. 23–40
- [5] Kohutek Z.: Ocena zgodności właściwości betonu oraz kontrola jego wytwarzania w świetle normy EN 206-1 — cz. I: kontrola zgodności. [w:] Cement — Wapno — Beton, nr 1/2002, s. 28–32
- [6] Kohutek Z.: Testowanie zgodności parametrów betonu innych niż wytrzymałość — teoria i praktyka. Kwartalnik AGH Górnictwo i Geoinżynieria, r. 31, z. 3, Kraków, 2007, s. 259–272
- [7] Piątkowski J.: PN-EN 206-1:2003 w produkcji certyfikowanych prefabrykatów betonowych — ocena wytrzymałości betonu na ściskanie. [w:] Informacja bieżąca CEBET, nr 6/2003, s. 16–27
- [8] PN-88/B-06250: Beton zwykły
- [9] PN-B-03264:2002/Apl:2004: Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowe
- [10] PN-EN 206-1:2003: Beton — cz. 1: Wymagania, właściwości produkcyjna i zgodność
- [11] PN-EN 12350-1:2001: Badania mieszanki betonowej — cz.1: Pobieranie próbek

- [12] PN-EN 12390-1:2001: Badania betonu — cz. 1: Kształt, wymiary i inne wymagania dotyczące próbek do badania i form
- [13] PN-EN 12390-2:2001: Badania betonu — cz. 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych
- [14] PN-EN 12390-3:2002: Badania betonu — cz. 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania
- [15] PN-EN 12390-6:2001: Badania betonu — cz. 6: Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu próbek do badania