

*Zdzisław B. Kohutek\**

## TESTOWANIE ZGODNOŚCI PARAMETRÓW BETONU INNYCH NIŻ WYTRZYMAŁOŚĆ — TEORIA I PRAKTYKA\*\*

---

### 1. Wprowadzenie

Wymóg sprawdzania zgodności właściwości to nowość w polskiej inżynierii betonu [1, 3, 5, 6], wprowadzona przez normę europejską PN-EN 206-1 [7]. Służy systematycznej ocenie poprawności serii wyników pomiarowych, z wykorzystaniem aparatu statystycznego. Testowanie zgodności trzeba traktować jako integralny składnik szerszego systemu kontroli produkcji w nowoczesnej wytwórni, pozwalającego szybko ujawniać wszelkie ewentualne nieprawidłowości czy zaniedbania podczas fabrykacji i aplikacji betonu, sygnalizując konieczność uruchomienia działań naprawczych, z umożliwieniem eliminacji błędów w przyszłości. Jest obecnie bezcennym narzędziem nadzoru i zarządzania jakością.

Według normy europejskiej [7] procedurze weryfikowania zgodności podlegają wszystkie wyniki normowych badań betonu, przeprowadzonych czy to w wytwórni, czy w specjalistycznym laboratorium zewnętrznym na próbkach pochodzących od niej, czy wreszcie na placu budowy przed betonowaniem. Chodzi zarówno o rezultaty oznaczeń właściwości mieszanki betonowej, jak i właściwości stwardniałego betonu.

Norma PN-EN 206-1 proponuje odrębną procedurę oceny zgodności parametrów wytrzymałościowych, odrębną zaś — dla badania zgodności parametrów opisujących cechy betonu różne od wytrzymałości.

Należy zauważyć, iż mimo analogii postępowania, w przypadku oceny zgodności cech poza wytrzymałościowych inny poziom odniesienia przypisuje się monitoringowi zgodności konsystencji, inny zaś — monitoringowi zgodności gęstości betonu ciężkiego lub lekkiego, współczynnika  $w/c$ , zawartości cementu, zawartości powietrza oraz zawartości chlorków.

---

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

\*\* Artykuł powstał w ramach pracy statutowej nr 11.11.100.588

W dalszej części opracowania przedstawiono problem oceny zgodności parametrów betonu innych niż wytrzymałość, rozpatrując teoretyczny i praktyczny aspekt zagadnienia.

## 2. Rozważania teoretyczne

Norma PN-EN 206-1 nie wyjaśnia bezpośrednio zasad statystyki, na których opiera się przedmiotowa kontrola zgodności. Pewnych sugestii dostarczają dwa zestawienia (tabela 1), wiążące zliczanie wyników zrealizowanych badań z tzw. liczbą kwalifikującą, która wskazuje maksymalną liczbę dopuszczalnych odchyleń poza przedział klasy (lecz nie dalej niż dozwolony rozrzut) lub tolerancję wartości założonej. Relacje podane w tabeli 1 odnoszą się do oceny zgodności takich właściwości jak: gęstość betonu lekkiego czy ciężkiego, współczynnik  $w/c$ , zawartość cementu, napowietrzenia i chlorków, natomiast w tabeli 1 — do oceny zgodności konsystencji.

TABELA 1

Liczby kwalifikujące dotyczące właściwości innych niż wytrzymałość [4, 7]

AQL = 4%		AQL = 15%	
Liczba wyników badań	Liczba kwalifikująca	Liczba wyników badań	Liczba kwalifikująca
1÷12	0	1÷2	0
13÷19	1	3÷4	1
20÷31	2	5÷7	2
32÷39	3	8÷12	3
40÷49	4	13÷19	5
50÷64	5	20÷31	7
65÷79	6	32÷49	10
80÷94	7	50÷79	14
95÷100	8	80÷100	21

Skrót AQL pochodzi od angielskiego *Acceptance Quality Level*, który zinterpretować można jako granicę akceptacji wadliwości (wyrażoną w procentach), a która odpowiada poziomowi istotności testu.

Generalnie rozważa się, czy wyniki badań danej właściwości betonu potwierdzają oczekiwania sprecyzowane w specyfikacji lub też zbieżność z normowymi kryteriami odniesie-

nia — wówczas bowiem kwalifikowany będzie jako „beton dobry”, czy też zaświadczać o odstępstwie od wymagań — wówczas kwalifikowany będzie jako „beton wadliwy”. Po-  
przez wadliwość rozumie się prawdopodobieństwo wystąpienia próbki z wadą.

Jeżeli przez  $X$  oznaczy się dychotomiczną zmienną losową przybierającą wartość 1 z prawdopodobieństwem  $w$  oraz wartość 0 z prawdopodobieństwem  $(1 - w)$ , to rozkład tej zmiennej miałby postać:

$$P(X = x) = w^x (1 - w)^{1-x}, x = 0, 1.$$

Pojawia się pytanie, jak testować hipotezę

$$H_0: w \leq w_0$$

przyjmującą, że wadliwość nie przekracza dopuszczalnej wartości  $w_0$  — przeciwko alternatywie:

$$H_1: w > w_0$$

głoszącej, że wadliwość przekracza próg  $w_0$ .

Zasadniczo bierze się pod uwagę dwa podejścia:

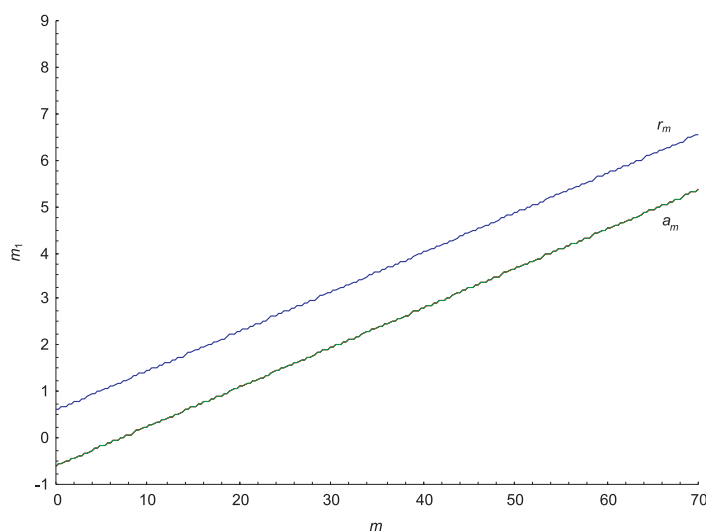
- 1) klasyczne, czyli analizę zamkniętego zbioru wyników — po zakończeniu produkcji, ewentualnie po zakończeniu jej charakterystycznego etapu, cyklu itp.;
- 2) sekwencyjne, rozpatrujące ciąg wyników, wydłużający się w miarę trwania produkcji betonu, z ewentualną redukcją wyników początkujących.

Współczesne systemy kontroli i zarządzania jakością opierają się na ogół na rozwiązaniu z punktu 2. Wówczas specyfikuje się:

- $\alpha$  — prawdopodobieństwo błędu pierwszego rodzaju (odrzućenie  $H_0$  gdy faktycznie jest ona prawdziwa);
- $\beta$  — prawdopodobieństwo błędu drugiego rodzaju (akceptacja  $H_0$  gdy faktycznie jest ona fałszywa);
- $w_g$  — górna granica wadliwości — np.  $w_g = w_0 (1 + p)$  i  $p \in (0, 1)$ ;
- $w_d$  — dolna granica wadliwości — np.  $w_d = w_0 (1 - p)$ .

Między granicą dolną  $w_d$  i granicą górną  $w_g$  zawarty jest obszar wadliwości nominalnej, charakterystycznej dla produktu jakościowo nominalnego. Na wadliwość nominalną zgadza się zarówno odbiorca, jak i producent, gdyż w tym przypadku oboje nie pono-

szą istotniejszych strat. Jeżeli tylko wadliwość przekroczy górną granicę  $w_g$ , odbiorca powinien odrzucić oceniany wyrób jako wyraźnie gorszy od standardu nominalnego. Natomiast gdy wadliwość nie przekracza dolnej granicy  $w_d$ , odbiorca najprawdopodobniej zaakceptuje beton jako lepszy od nominalnego. Wtedy traci jednak producent, bo zapewne w cenie uzgodnionej kontraktem dostarcza wyrób o zawyżonym standardzie odbioru.



**Rys. 1.** Wykres linii  $a_m$  i  $r_m$  dla próbki  $m$ -elementowej, zawierającej  $m_1$  elementów wadliwych

Sekwencyjny test ilorazowy Walda [15] wyznacza dwie linie, zależne tylko od  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $w_g$  oraz  $w_d$ , i które można wykreślić jeszcze przed pobraniem próby (rys. 1):

$$a_m = \frac{\log \frac{\beta}{1-\alpha}}{\log \frac{w_g}{w_d} - \log \frac{1-w_g}{1-w_d}} + m \frac{\log \frac{1-w_g}{1-w_d}}{\log \frac{w_g}{w_d} - \log \frac{1-w_g}{1-w_d}} \quad \text{linia akceptacji } H_0$$

$$r_m = \frac{\log \frac{1-\beta}{\alpha}}{\log \frac{w_g}{w_d} - \log \frac{1-w_g}{1-w_d}} + m \frac{\log \frac{1-w_g}{1-w_d}}{\log \frac{w_g}{w_d} - \log \frac{1-w_g}{1-w_d}} \quad \text{linia odrzucenia } H_0$$

W rzeczywistości linie  $a_m$  i  $r_m$  to linie zdyskretyzowane, ponieważ liczby wyrażające ilość wyników są liczbami naturalnymi (całkowitymi).

Zakładając, że zbiór zawiera  $m$  elementów, spośród których  $m_1$  elementów jest wadliwych, to:

- jeśli punkt  $(m, m_1)$  leży poniżej linii  $a_m$  — akceptuje się hipotezę  $H_0$ ;
- jeśli punkt  $(m, m_1)$  leży na linii  $a_m$  lub powyżej niej — akceptuje się hipotezę  $H_1$ ,

- jeśli punkt  $(m, m_1)$  leży pomiędzy wyżej wymienionymi liniami — dobiera się dodatkowy element  $(m + 1)$ -szy i powtarza rozumowanie.

AQL( $m$ ) wyznacza się jako  $\max\{0, [a_m]\}$ , gdzie  $[a]$  oznacza cechę liczby  $a$ .

### 3. Założenia wstępne oraz częstotliwość pobierania próbek

W myśl przywoływanej normy europejskiej [7] weryfikację zgodności dla właściwości innych niż wytrzymałość prowadzi się podczas produkcji betonu w okresie oceny nie przekraczającym ostatnich 12 miesięcy.

Próbki do badań pobiera się losowo, zgodnie z zaleceniami normy powiązanej PN-EN 12350-1 [9], tak aby były reprezentatywne w stosunku do całej produkowanej populacji.

Za wyniki badania uznaje się zarówno rezultat pojedynczego oznaczenia, jak i uśrednienie wyników co najmniej dwóch próbek tego samego materiału, pobranych w tym samym czasie i zbadanych w tym samym czasie.

Dla potrzeb oceny zgodności norma [7] dzieli tok produkcji danego sortymentu na fazę:

- początkową, tj. okres trwający od momentu uruchomienia produkcji do momentu uzyskania 35 wyniku badania;
- ciągłą, która następuje po fazie początkowej i obejmuje okres po uzyskaniu 35 wyniku badania.

Konsekwencją bardziej zaawansowanej fazy produkcji może być zmniejszenie opróbowania, co zresztą wynika z treści tabeli 2.

TABELA 2

**Minimalna częstotliwość pobierania próbek dla oceny zgodności [4, 7]**

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	3 próbki	1 próbka z 200 m <sup>3</sup> produkcji lub 2 próbki z produkcji tygodniowej	1 próbka ze 150 m <sup>3</sup> produkcji lub
produkcja ciągła	–	1 próbka z 400 m <sup>3</sup> produkcji lub 1 próbka z produkcji tygodniowej	1 próbka z produkcji dziennej

\* Pobieranie próbek powinno być rozłożone w czasie na całość produkcji, z zaleceniem poboru nie więcej niż jednej próbki z każdych 25 m<sup>3</sup> mieszanki

## 4. Ocena zgodności parametrów betonu innych niż wytrzymałość

### 4.1. Analiza zgodności w odniesieniu do konsystencji

#### 4.1.1. Wymagania i kryteria

Aby zaprzeczyć lub potwierdzić zgodność konsystencji danej mieszanki betonowej z normowymi kryteriami odniesienia, trzeba dysponować wynikami pomiaru dokonanego jedną z czterech metod oznaczeń, tj.:

- 1) metodą opadu stożka (klasa konsystencji: S1, S2, S3, S4 i S5) [10],
- 2) metodą Vebe (klasa konsystencji: V0, V1, V2, V3 i V4) [11],
- 3) metodą stopnia zagęszczalności (klasa konsystencji: C0, C1, C2, C3 i C4) [12],
- 4) metodą stolika rozplywowego (klasa konsystencji: F1, F2, F3, F4, F5 i F6) [13].

W tabeli 3, każdej z tych metod oznaczania przyporządkowano skalę klasy. Ponieważ poza opisem konsystencji za pomocą klas norma [7] dopuszcza także szczególny przypadek jej określania, to jest poprzez wskazanie konkretnej wartości, tabelę 3 uzupełniono więc kolumną czwartą „tolerancja przyjmowanych wartości”.

W tabeli 4 przytoczono kryteria zgodności w ujęciu normy PN-EN 206-1.

Badanie zgodności konsystencji polega na sprawdzeniu, czy każdy kolejny wynik:

- mieści się w przedziale danej klasy, a jeżeli nie — to czy
- mieści się w przedziale danej klasy powiększonym o maksymalne dopuszczalne odchylenie od górnej lub dolnej granicy tego przedziału przy czym ilość tak rozrzuconych wyników nie może przekroczyć liczby kwalifikującej podanej w tabeli 1b (AQL = 15%) — z nawiązaniem do miejsca w serii, z której wynik ten pochodzi.

Wyżej cytowana reguła ( $a + b$ ) obowiązuje również przy szacowaniu zgodności konsystencji, określanej poprzez założenie wartości.

Każdy wynik pomiaru konsystencji spoza przedziału klasy powiększonego o dopuszczalne odchylenie, a także każde przekroczenie liczby kwalifikującej dyskwalifikuje o ile nie całą dostawę, to co najmniej dany ładunek mieszanki betonowej.

#### 4.1.2. Przykłady testowania zgodności w odniesieniu do konsystencji

##### Założenia do przykładu — wersja I [2]

Układa się w sposób ciągły 198 m<sup>3</sup> posadzki przemysłowej. Mieszanka betonowa dowożona jest betonowozami o pojemności 9 m<sup>3</sup>, co oznacza, że cała dostawa objęmie 22 ładunki. W myśl specyfikacji świeży beton ma mieć konsystencję półciekłą – ciekłą w klasie S3 wg metody opadu stożka. Inwestor (odbiorca) uzgodnił z dostawcą, że badanie konsystencji odbywać się będzie z początkiem rozładunku każdego betonowozu. Ładunki ponumerowano liczbami porządkowymi w pierwszej kolumnie tabeli 5.

TABELA 3

Zestawienie zbiorcze klas konsystencji wg metody oznaczania, ich przedziałów liczbowych oraz tolerancji wartości przyjmowanych [2, 7]

Sposób oznaczania	Określanie konsystencji za pomocą klas		Określanie konsystencji poprzez przyjęcie wartości
	symbol klasy	skala klasy (przedział)	tolerancja przyjmowanych wartości
metoda opadu stożka	S1	10÷40 mm	± 10 mm
	S2	50÷90 mm	± 20 mm
	S3	100÷150 mm	± 30 mm
	S4	160÷210 mm	
	S5*	220 mm	
metoda Vebe	V0*	31 sek.	± 3 sek.
	V1	30÷21 sek.	
	V2	20÷11 sek.	
	V3	10÷6 sek.	± 2 sek.
	V4*	5÷3 sek.	± 1 sek.
metoda stopnia zagęszczalności	C0*	1,46	± 0,10
	C1	1,45÷1,26	
	C2	1,25÷1,11	± 0,08
	C3	1,10÷1,04	± 0,05
	C4**	1,04**	
metoda stolika rozplywowego	F1*	340 mm	± 30 mm
	F2	350÷410 mm	
	F3	420÷480 mm	
	F4	490÷550 mm	
	F5	560÷620 mm	
	F6*	630 mm	

\* UWAGA: sygnalizowany normą brak potwierdzenia czułości metody pomiarowej,

\*\* wprowadzone do normy poprawką [8] i dotyczy tylko betonów lekkich

TABELA 4  
Kryteria zgodności dotyczące konsystencji [4, 7]

Metoda badania	Minimalna liczba próbek lub oznaczeń	Liczba kwalifikująca	Maksymalne, dopuszczalne odchylenie* pojedynczych wyników badania od granic określonej klasy lub tolerancji dla wymaganej wartości założonej**	
			wartość dolna	wartość górna
ocena wizualna	porównanie wyglądu z normalnym wyglądem mieszanki betonowej o określonej konsystencji	–	–	–
opad stożka	według normy [10]	jak w tab. 1b	–10 mm –20 mm***	+20 mm +30 mm***
czas Vebe	według normy [11]	jak w tab. 1b	–2 sek. –4 sek.***	+4 sek. +6 sek.***
stopień zagęszczalności	według normy [12]	jak w tab. 1b	–0,03 –0,05***	+0,05 +0,07***
rozplyw	według normy [13]	jak w tab. 1b	–20 mm –30 mm	+30 mm +40 mm

\* przy braku górnej lub dolnej granicy w odpowiednich klasach konsystencji, nie stosuje się tych odchyleń;

\*\* opis kolumn 5, 6 i zawarte w nich wartości liczbowe — skorygowano zgodnie z poprawką [8];

\*\*\* stosuje się wyłącznie dla konsystencji badanej na początku rozładunku mieszanki samochodowej



TABELA 5

## Przykład testowania zgodności konsystencji (wersja I)

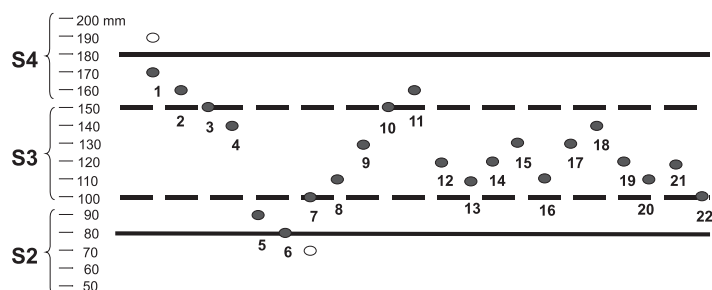
Numer	Opad stożka, mm	Test zgodności					interwencja
		czy wynik mieści się w obrębie klasy*	zliczanie wyników spoza klasy	znak	(limit) liczba kwalifikująca	czy wynik mieści się w obrębie dopuszczalnego odchylenia**	
1	190/170	nie/nie	1	>	0	nie/tak	ładunek wymieniono na inny
2	160	nie	2	>	0	tak	
3	150	tak	2	>	1	tak	
4	140	tak	2	>	1	tak	
5	90	nie	3	>	2	tak	
6	80	nie	4	>	2	tak	
7	70/100	nie/tak	4	>	2	nie/tak	
8	110	tak	4	>	3	tak	
9	130	tak	4	>	3	tak	
10	150	tak	4	>	3	tak	
11	160	nie	5	>	3	tak	
12	120	tak	5	>	3	tak	
13	110	tak	5	=	5	tak	
14	120	tak	5	=	5	tak	
15	130	tak	5	=	5	tak	
16	110	tak	5	=	5	tak	
17	130	tak	5	=	5	tak	
18	140	tak	5	=	5	tak	
19	120	tak	5	=	5	tak	
20	110	tak	5	<	7	tak	
21	120	tak	5	<	7	tak	
22	100	tak	5	<	7	tak	

UWAGA: rezultat za ukośnikiem dotyczy stanu po interwencji;

\* granice klasy dla S3 – dolna: 100 mm, górna: 150 mm;

\*\* dopuszczalne odchylenie dla wyniku badania konsystencji podczas rozładunku betonowozu: dla dolnej granicy klasy: -20 mm, dla górnej granicy klasy: +30 mm

Konkluzja: mimo iż po interwencji wszystkie pojedyncze wyniki pomiaru znalazły się w obrębie klasy z uwzględnieniem dopuszczalnego odchylenia (kol. 7), to biorąc pod uwagę znaki w kolumnie 5 zgodność jawi się dopiero wraz z wynikiem 13. i trwa do końca serii.



Rys. 2. Ilustracja do przykładu (wersja I) testowania zgodności konsystencji

Na rysunku 2 i w tabeli 5 widać nadmierne rozchwanie ciągu wyników badania konsystencji podczas pierwszej fazy dostawy, przesądzające o braku ich zgodności z jednym z normowych kryteriów odniesienia (rozdz. 4.1.1, pkt. b). Później wartości stabilizują się w granicach klasy.

#### Założenia do przykładu — wersja II

Betonowany jest ten sam obiekt, wg opisu w przykładzie — wersja I (powyżej), przy zastosowaniu tej samej mieszanki betonowej i tej samej metody oznaczania konsystencji, towarzyszącego rozładunkowi betonowozu. Wyobrazić sobie można odwróconą kolejność występowania wyników, tzn. wynik 22. z przykładu — wersja I — jest teraz wynikiem pierwszym, wynik 21. — wynikiem drugim, wynik 20. — wynikiem trzecim, itd.

Konkluzja: ponieważ wszystkie pojedyncze wyniki pomiaru według wersji II znajdują się w obrębie klasy z uwzględnieniem dopuszczalnego odchylenia, a jednocześnie ilość wyników spoza klasy jest albo równa liczbie kwalifikującej, albo też przewaga jest po jej stronie — rezultat testu zgodności dla całej serii jest pozytywny.

Analiza obydwu wyżej wymienionych przykładów dowodzi niezbicie, że o zgodności decyduje nie tylko wartość liczbowa każdego wyniku z osobna, ale także kolejność, w jakiej wyniki te występują w serii.

## 4.2. Analiza zgodności w odniesieniu do gęstości betonu ciężkiego lub lekkiego, współczynnika $w/c$ , zawartości cementu, zawartości powietrza oraz chlorków

### 4.2.1. Wymagania i kryteria

Analogicznie jak w przypadku konsystencji, aby zaprzeczyć lub potwierdzić zgodność parametrów pozostałych właściwości betonu innych niż wytrzymałość, należy dysponować wynikami ich pomiaru, ułożonymi wg rzeczywistej kolejności badań.

W tabeli 6 zestawiono wszystkie normowe właściwości betonu, z wyjątkiem wytrzymałości i konsystencji, wskazując: źródło opisu metodyki badania, informację o wymaganej minimalnej liczbie próbek lub oznaczeń, powołanie na źródło danych o liczbie kwalifikującej oraz wielkość maksymalnego dopuszczalnego odchylenia pojedynczych wyników pomiaru od granic określonej klasy lub tolerancji dla wartości założonej (w układzie granicy dolnej i granicy górnej).

TABELA 6

## Kryteria zgodności dotyczące właściwości innych niż wytrzymałość, z wyjątkiem konsystencji [4, 7]

Właściwość	Metoda badania lub metoda oznaczania	Minimalna liczba próbek lub oznaczeń	Liczba kwalifikująca	Maksymalne, dopuszczalne odchylenie pojedynczych wyników badania od granic określonej klasy lub tolerancji dla wartości założonej*	
				wartość dolna	wartość górna
gęstość betonu ciężkiego	według normy [14]	jak w tab. 2	jak w tab. 1a	-30 kg/m <sup>3</sup>	brak granicy <sup>***</sup>
gęstość betonu lekkiego	według normy [14]	jak w tab. 2	jak w tab. 1a	-30 kg/m <sup>3</sup>	+30 kg/m <sup>3</sup>
współczynnik w/c	według instrukcji w rozdz. 5.4.2 normy [7]	jedno badanie dziennie	jak w tab. 1a	brak granicy <sup>**</sup>	+0,02
zawartość cementu	według instrukcji w rozdz. 5.4.2 normy [7]	jedno badanie dziennie	jak w tab. 1a	-10 kg/m <sup>3</sup>	brak granicy <sup>***</sup>
zawartość powietrza w mieszance napowietrzonej	według normy [14] dla betonu zwykłego i ciężkiego oraz według normy ASTM C 173 dla betonu lekkiego	jedna próbka dziennie, gdy produkcja jest ustabilizowana	jak w tab. 1a	-0,5% wartości bezwzględnej	+1,0% wartości bezwzględnej
zawartość chlorków w betonie	według instrukcji w rozdz. 5.2.7 normy [7]	dla każdego składu betonu <sup>****</sup>	0	brak granicy	nie dopuszcza się innych wartości

\* opis kolumn 5 i 6 oraz zawarte w nich wartości liczbowe – skorygowano zgodnie z poprawką [8];

\*\* chyba, że granicę określono w specyfikacji;

\*\*\* z powtórzeniem badania w przypadku wzrostu zawartości chlorków w którymkolwiek ze składników

Identycznie jak w przypadku konsystencji, zgodność parametru opisującego daną właściwość uznaje się za potwierdzoną, gdy jednocześnie [7]:

- liczba wyników badań spoza określonych wartości granicznych, granic klas lub tolerancji założonej wartości (tabela jw.) nie jest większa od liczby kwalifikującej, cytowanej w tabeli 1a (AQL = 4%);
- wszystkie pojedyncze wyniki badania zawierają się w granicach maksymalnych dopuszczalnych odchyłeń, podanych w tabeli 7.

#### **4.2.2. Przykład testowania zgodności właściwości innych niż wytrzymałość, z wyjątkiem konsystencji**

Biorąc pod uwagę tą grupę właściwości, norma [7] przewiduje identyczny tok postępowania w ramach kontroli zgodności, jednak na innym poziomie AQL. Dla zobrazowania procedury wybrano przykład testowania zgodności wyników oznaczania gęstości betonu.

##### **Założenia do przykładu**

Betonuje się ściany oraz poziomy pomieszczeń, które mają osłaniać pozostałą część obiektu przed promieniowaniem. Specyfikacja narzuca gęstość betonu w stanie suchym powyżej  $2600 \text{ kg/m}^3$ , bez precyzowania granicy górnej. Podana wartość kwalifikuje tworzywo do kategorii betonu ciężkiego. Uzgodniono, że parametry gęstości oznaczane będą na próbkach nominalnych  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$  — wg normy PN-EN 12390-7 [14].

Otrzymane wyniki oznaczeń oraz wyniki testu zgodności przedstawiono w tabeli 7.

Konkluzja: zgodność jest potwierdzona, ponieważ wszystkie wyniki mieszczą się w obrębie kategorii betonu ciężkiego, poszerzonej w dół o dopuszczalne odchylenie  $30 \text{ kg/m}^3$ , a limit dozwolonego rozrzutu nie został przekroczony na żadnym etapie betonowania.

## **5. Uwagi i stwierdzenia końcowe**

Norma [7] akceptuje rozrzut parametru innego niż wytrzymałość poza obręb klasy lub w strefę tolerancji dla wartości założonych pod warunkiem, że odchyły te nie zdarzają się nagminnie, tzn. nie częściej niż wskazanie limitu (czyli liczby kwalifikującej, przyporządkowanej danej ilości wyników). Jeżeli chodzi o konsystencję, to pod tym względem norma europejska [7] jest bardziej liberalna od wycofanej normy krajowej PN-88/B-06250 „Beton zwykły”, która nie zezwalała na żadne odchylenie wyniku poza zakres normowy K-1, K-2, K-3, K-4 czy K-5.

Ustanawiając strefę dopuszczalnego rozrzutu oznaczeń konsystencji norma PN-EN 206-1 przewiduje większe przesunięcie granicy klasy w górę i mniejsze przesunięcie granicy klasy w dół. Podobnie — bardziej rozbudowuje obszar zbioru wyników dla sytuacji, gdy badanie konsystencji ma miejsce na początku rozładunku betonomieszarki samochodowej, a wyraźnie zawęży go, gdy chodzi np. o badanie konsystencji bezpośrednio po wyprodukowaniu mieszanki betonowej (tab. 4).

TABELA 7

## Przykład testowania zgodności gęstości betonu ciężkiego

Numer	Objętość, m <sup>3</sup>	Masa, kg	Gęstość, kg/m <sup>3</sup>	Test zgodności		
				zliczanie wyników spoza granicy	znak	(limit) liczba kwalifikująca
1	0,003375	9,000	2667	0	=	0
2		9,300	2756	0	=	0
3		9,400	2785	0	=	0
4		9,900	2933	0	=	0
5		9,780	2898	0	=	0
6		9,990	2960	0	=	0
7		9,970	2954	0	=	0
8		9,890	2930	0	=	0
9		10,000	2963	0	=	0
10		9,900	2933	0	=	0
11		9,770	2895	0	=	0
12		9,760	2892	0	=	0
13		9,900	2933	0	<	1
14		8,720	2584	1	=	1
15		9,770	2895	1	=	1
16		9,760	2892	1	=	1
17		9,650	2859	1	=	1
18		8,810	2610	1	=	1
19		9,250	2741	1	=	1
20		9,150	2711	1	<	2
21		9,050	2681	1	<	2
22		8,680	2572	2	=	2

Jednym z warunków pozytywnej oceny zgodności jest, aby:

- w przypadku konsystencji — pierwsze 2 wyniki mieściły się ściśle w granicach klasy, natomiast później, począwszy od 3–4 wyniku w serii — przyzwala się nawet na 20÷33% dopuszczalnych odchyleń w stosunku do całej populacji wyników;

- w przypadku innych właściwości poza-wytrzymałościowych — 12 pierwszych wyników nie odchyliło się wcale poza granice klasy, natomiast później, począwszy od 13. wyniku w serii, ilość dopuszczalnych odchyień może obejmować tylko 5,2÷8,4% ogółu wyników.

Wynika stąd, że reżim rozrzutu jest łagodniejszy dla konsystencji, a bardziej surowy dla gęstości betonu lekkiego lub ciężkiego, współczynnika  $w/c$ , zawartości cementu, zawartości powietrza w mieszance betonowej oraz zawartości chlorków w betonie.

Testowanie zgodności parametrów betonu innych niż wytrzymałość nie jest skomplikowane rachunkowo. Wymaga założenia systemu kontrolnego dla każdej receptury betonu, a następnie kontynuowania zapisów. Ułatwieniem może być sprawne oprogramowanie komputerowe, opracowane np. na bazie arkusza kalkulacyjnego.

#### LITERATURA

- [1] *Czarnecki L. i in.*: Beton według normy PN-EN 206-1 — komentarz. Kraków, Wyd. Polski Cement Sp. z o.o. 2004, 298
- [2] *Kohutek Z.*: Konsystencja mieszanki betonowej — w kontekście normy PN-EN 206-1 oraz PN-88/B-06250. [w:] Norma PN-EN 206-1— bez tajemnic (materiały szkoleniowe). Kraków, Stowarzyszenie Producentów Betonu Towarowego w Polsce 2006, 79–91
- [3] *Kohutek Z.*: Kryteria dla betonu według normy europejskiej EN 206-1. [w:] Symposium Naukowo-Techniczne „Beton i jego składniki — normalizacja, właściwości i zastosowanie”, Poznań, 27.02.2003, Górażdże Cement SA — Sika Poland Sp. z o.o. — Instytut Konstrukcji Budowlanych Politechniki Poznańskiej 2003, 23–40
- [4] *Kohutek Z.*: Ocena zgodności właściwości betonu oraz kontrola jego wytwarzania w świetle normy EN 206-1 — cz. I: Kontrola zgodności. Cement — Wapno — Beton, 1, 2002, 28–32
- [5] *Kon E.*: Charakterystyka normy PN-EN 206-1:2003. [w:] Beton w praktyce, Wyd. Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 2003, 1–15
- [6] *Mierzwa J.*: Norma PN-EN 206-1 jako nowa norma krajowa dla betonu. [w:] Konferencja „Dni Betonu”, Szczyrk, 8–11.10.2002, Kraków, Wyd. Polski Cement Sp. z o.o. 2002, 141–155
- [7] PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [8] PN-EN 206-1:2003/A1 Zmiana do normy europejskiej EN 206-1:2000
- [9] PN-EN 12350-1:2001 Badania mieszanki betonowej. Część 1: Pobieranie próbek
- [10] PN-EN 12350-2:2001 Badania mieszanki betonowej. Część 2: Badania konsystencji metodą opadu stożka
- [11] PN-EN 12350-3:2001 Badania mieszanki betonowej. Część 3: Badanie konsystencji metodą Vebe
- [12] PN-EN 12350-4:2001 Badania mieszanki betonowej. Część 4: Badanie konsystencji metodą oznaczania stopnia zagęszczenia
- [13] PN-EN 12350-5:2001 Badania mieszanki betonowej. Część 5: Badanie konsystencji metodą stolika rozplywowego
- [14] PN-EN 12390-7:2001 Badania betonu. Część 7: Gęstość betonu
- [15] *Wald A.*: Sequential Analysis. New York, J. Wiley & Sons, Inc. and Chapman & Hall, Ltd. 1947, 207