

# Kontrola zgodności betonu z zastosowaniem koncepcji rodzin betonów

## 1. Wprowadzenie

Aby sprostać oczekiwaniom odbiorców, węzły betoniarskie produkują szeroką gamę betonów. Betony te różnią się między sobą wytrzymałością, konsystencją, zastosowanymi kruszywami, domieszkami, cementami itd. Ta różnorodność produkcji skutkująca mnogością receptur, przy jednoczesnej konieczności objęcia kontrolą wszystkich produkowanych betonów, powoduje, że producenci coraz częściej sięgają po narzędzie pozwalające zoptymalizować ilość badań, a jest nim koncepcja rodziny betonu. W normie PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność [1], w rozdziale 8 zawarto informacje o tym, że pobieranie i badanie próbek betonu „*należy przeprowadzać na betonach o indywidualnych składach albo na rodzinach betonów o ustalonej adekwatności*”. W przypadku zastosowania rodziny betonów producent powinien objąć kontrolą wszystkie betony z rodziny, pobierając próbki w całym zakresie składów betonów produkowanych w ramach danej rodziny. Zaletą zastosowania rodziny betonów (poza optymalizacją kosztów kontroli) jest możliwość szybkiego wykrycia ewentualnego rozregulowania procesu produkcji, a to z kolei pozwala na szybszą reakcję w celu poprawy jego działania. W najbliższym czasie ma się ukazać nowa wersja normy EN 206 [2], w której dokonano między innymi drobnych zmian w sposobie prowadzenia kontroli zgodności.

## 2. Tworzenie rodziny betonów

Rodzina betonów to grupa betonów, dla których ustalono i udokumentowano zależność pomiędzy odpowiednimi właściwościami. Zgodnie z wymaganiami załącznika K normy [1, 2] producent, wybierając rodzinę do kontroli produkcji i kontroli zgodności, powinien dokonać kontroli wszystkich betonów w rodzinie. W odniesieniu do rodziny betonów należy stosować:

- jeden rodzaj cementu, klasę wytrzymałości, pochodzenie
- podobne kruszywa (uziarnienie, pochodzenie geologiczne)
- betony z domieszkami lub bez nich
- wszystkie konsystencje
- betony o ograniczonym zakresie wytrzymałości.

Ponadto sformułowano zalecenie, aby betony produkowane z zastosowaniem dodatków typu II, domieszek napowietrzających, opóźniających czy przyspieszających zaliczać do oddzielnych rodzin. Generalną jednak zasadą jest, aby przed zastosowaniem rodziny betonów sprawdzić zależności między poszczególnymi składami betonów w rodzinie na podstawie danych uzyskanych z produkcji dotychczasowej. Celem jest uzyskanie pewności, że kontrola zgodności prowadzona dla rodziny betonów będzie skuteczna.

## 3. Beton referencyjny i metody transformacji

Prowadząc ocenę zgodności rodziny betonów, konieczne jest wybranie betonu referencyjnego – betonu odniesienia. Jest nim albo beton najczęściej produkowany, albo beton ze środka zakresów skła-

dów betonów w rodzinie. Beton referencyjny wybiera się raz i do niego odnosi się wyniki pozostałych betonów w rodzinie w całym okresie oceny. Zmiana betonu referencyjnego jest możliwa tylko przy rozpoczęciu nowego okresu oceny. Po wybraniu betonu referencyjnego dla każdego z betonów w rodzinie określana jest wytrzymałość oczekiwana  $f_{cta}$  oraz wytrzymałość oczekiwana betonu referencyjnego  $f_{cr}$ . Mogą być one określone jako średnia z dotychczasowych wyników dla określonego składu [3] lub jako wytrzymałość projektowana [4]. Następnie ustalić należy zależności między każdym betonem o indywidualnym składzie i betonem referencyjnym, co pozwoli na przeliczanie wyników badań wytrzymałości poszczególnych betonów na beton referencyjny. W raporcie CEN CR 13901:2000 [5] przedstawiono następujące metody:

- metodę wytrzymałościową korzystającą z zasady proporcjonalności
- metodę wytrzymałościową zakładającą liniową zależność pomiędzy wytrzymałością betonu w spólczynniku w/c
- metodę transformacji na podstawie współczynnika w/c.

Przykłady ustaleń takich zależności można znaleźć w [4, 5, 6]. Dr M. Helm w swoim artykule [3] zaproponowała metodę różnic. Polega ona na określeniu różnicy wytrzymałości  $\Delta_i$  między wytrzymałością uzyskaną dla badanego betonu  $f_{ci}$  a wytrzymałością oczekiwaną  $f_{cta}$  (1).

$$\Delta_i = f_{ci} - f_{cta} \quad (1)$$

Wytrzymałość ekwiwalentną uzyskujemy, dodając różnicę  $\Delta_i$  ze wzoru (1) do oczekiwanej wytrzymałości betonu referencyjnego zgodnie z wzorem (2).

$$f_{ceq} = f_{cr} + \Delta_i \quad (2)$$

Stosując tę zależność, bardziej właściwe wydaje się określenie wartości oczekiwanych jako średnich z dotychczasowych wyników.

## 4. Produkcja początkowa i ciągła

Norma PN-EN 206-1 [1, 2] wyróżnia dwa rodzaje produkcji – produkcję początkową i produkcję ciągłą. Różnią się one zarówno kryteriami zgodności jak i częstotliwościami pobierania próbek. Produkcja początkowa obejmuje produkcję do momentu uzyskania co najmniej 35 wyników badań w okresie dłuższym niż trzy miesiące, natomiast produkcję ciągłą osiąga się po uzyskaniu co najmniej 35 wyników badań, pod warunkiem, że okres oceny nie przekroczy 12 miesięcy. W czasie produkcji ciągłej norma umożliwia producentowi przyjmowanie planu pobierania próbek i kryteriów zgodności jak dla produkcji początkowej.

## 5. Kontrola zgodności

Przy kontroli zgodności zarówno plan badań jak i kryteria zgodności mogą dotyczyć indywidualnych składów lub rodzin betonów. Przy ocenie zgodności rodziny betonów kryterium określone wzorem (3) odnosimy do początkowych wyników badań ( $f_{ci}$ ).

$$f_{ci} \geq (f_{ck} - 4) \text{ N/mm}^2 \quad (3)$$

Tabela 1. Kryterium przynależności betonów do rodziny [2]

Liczba „n” wyników badań wytrzymałości na ściskanie dla pojedynczego betonu	Średnia z „n” wyników ( $f_{cm}$ ) dla pojedynczego betonu z rodziny [N/mm <sup>2</sup> ]
2	$\geq f_{ck} - 1,0$
3	$\geq f_{ck} + 1,0$
4	$\geq f_{ck} + 2,0$
5	$\geq f_{ck} + 2,5$
6	$\geq f_{ck} + 3,0$
7 do 9	$\geq f_{ck} + 3,5$
10 do 12	$\geq f_{ck} + 4,0$
13, 14	$\geq f_{ck} + 4,5$
$\geq 15$	$\geq f_{ck} + 1,48 \sigma$

Tabela 2. Wartości do weryfikacji odchylenia standardowego [2]

Liczba wyników badań n	Granice dla $s_n$
15-19	$0,63\sigma \leq s_n \leq 1,37\sigma$
20-24	$0,68\sigma \leq s_n \leq 1,31\sigma$
25-29	$0,72\sigma \leq s_n \leq 1,28\sigma$
30-34	$0,74\sigma \leq s_n \leq 1,26\sigma$
35	$0,76\sigma \leq s_n \leq 1,24\sigma$

Tabela 3. Kontrola zgodności dla rodzin betonów przy produkcji ciągłej

W celu potwierdzenia przynależności każdego pojedynczego betonu do rodziny należy ocenić średnią  $f_{cm}$  z wszystkich początkowych wyników badań  $f_{ci}$  dla pojedynczego betonu z rodziny, odnosząc wynik do wartości podanych w tabeli 1. Beton, który nie spełni tego kryterium powinien być usunięty z rodziny, a jego ocena na zgodności powinna być prowadzona indywidualnie.

Po potwierdzeniu, że wszystkie oceniane betony spełniają kryterium przynależności do rodziny, określamy wytrzymałość ekwiwalentną  $f_{ceq}$  dla każdego badanego betonu. Uzyskane w ten sposób wyniki oceniamy wg kryterium (4) dla produkcji początkowej lub kryterium (5) dla produkcji ciągłej.

$$f_{cm} \geq (f_{ck} + 4) \text{ N/mm}^2 \quad (4)$$

$$f_{cm} \geq (f_{ck} + 1,48\sigma) \text{ N/mm}^2 \quad (5)$$

Odchylenie standardowe  $\sigma$  obliczamy z 35 wyników uzyskanych w trakcie produkcji początkowej. Dokonując oceny weryfikujemy odchylenie standardowe i sprawdzamy, czy mieści się w granicach określonych w tabeli 2.

## 6. Przykład oceny betonu

Zgodnie ze schematem opisanym powyżej dokonano oceny betonu produkowanego przez 6 miesięcy przez niewielki węzeł betoniarski. Z powodu dużej ilości składów betonów produkowanych w tym zakładzie podjęto próbę pogrupowania receptur w rodzinie betonów. Wydzielono między innymi rodzinę betonów przedstawioną w tabeli 3. Jest to rodzina betonów od klasy C8/10 do C30/37, produkowana z tych samych materiałów (identyczne kruszywa, cement, domieszki). Są to betony w różnych klasach konsystencji.

Lp.	Nr recepty	Klasa betonu	Wytrzymałość oczekiwana $f_{cb}$	$f_{ck}$	Wynik badania wytrzymałości na ściskanie $f_{ci}$	Kryterium dla wyników pojedynczych		Kryterium przynależności do rodziny				Kryterium dla wartości średniej					Weryfikacja odchylenia standardowego			
						$f_{ck}$	spełnione	ilość „n” wyników	średnia z „n” wyników	kryterium dla „n” wyników	różnica $\Delta (f_{ci} - f_{cb})$	wytrzymałość ekwiwalentna $f_{ceq}$	wartość średnia z $f_{ceq}$ $f_{cm(L5)}$	odchylenie standardowe $\sigma$ $s_{15}$	$f_{ckR} + 1,48\sigma$	0,63 $\sigma$	1,37 $\sigma$			
35	4	C30/37	43	37	47,9	33	spełnione				4,9	40,9								
36	4	C30/37	43	37	44,2	33	spełnione	1			1,2	37,2								
37	4	C30/37	43	37	43,6	33	spełnione	2	45,2	36,0	spełnione	0,6	36,6							
38	5	C25/30	36	30	48,6	26	spełnione	1				12,6	48,6							
39	5	C25/30	36	30	47,2	26	spełnione	2	47,9	29,0	spełnione	11,2	47,2							
40	3	C20/25	30	25	39,0	21	spełnione	1				9,0	45,0							
41	3	C20/25	30	25	39,5	21	spełnione	2	39,3	24,0	spełnione	9,5	45,5							
42	3	C20/25	30	25	40,4	21	spełnione	3	39,6	26,0	spełnione	10,4	46,4							
43	6	C25/30	36	30	46,6	26	spełnione	1				10,6	46,6							
44	5	C25/30	36	30	44,8	26	spełnione	3	46,9	31,0	spełnione	8,8	44,8							
45	5	C25/30	36	30	44,1	26	spełnione	4	46,2	32,0	spełnione	8,1	44,1							
46	6	C25/30	36	30	37,1	26	spełnione	2	41,9	29,0	spełnione	1,1	37,1							
47	6	C25/30	36	30	43,1	26	spełnione	3	42,3	31,0	spełnione	7,1	43,1							
48	6	C25/30	36	30	40,2	26	spełnione	4	41,8	32,0	spełnione	4,2	40,2							
49	1	C8/10	14	10	12,4	6	spełnione	1				-1,6	34,4							
50	1	C8/10	14	10	13,1	6	spełnione	2	12,8	9,0	spełnione	-0,9	35,1	42,1	4,9	37,3	spełnione	3,1	6,7	zgodne
51	5	C25/30	36	30	40,8	26	spełnione	1				4,8	40,8							
52	5	C25/30	36	30	47,9	26	spełnione	2	44,4	29,0	spełnione	11,9	47,9							
53	3	C20/25	30	25	26,8	21	spełnione	1				-3,2	32,8							
54	3	C20/25	30	25	32,8	21	spełnione	2	29,8	24,0	spełnione	2,8	38,8							
55	6	C25/30	36	30	42,5	26	spełnione	1				6,5	42,5							
56	6	C25/30	36	30	42,9	26	spełnione	2	42,7	29,0	spełnione	6,9	42,9							
57	6	C25/30	36	30	41,4	26	spełnione	3	42,3	31,0	spełnione	5,4	41,4							
58	6	C25/30	36	30	41,1	26	spełnione	4	42,0	32,0	spełnione	5,1	41,1							
59	5	C25/30	36	30	32,1	26	spełnione	3	40,3	31,0	spełnione	-3,9	32,1							
60	5	C25/30	36	30	29,0	26	spełnione	4	37,5	32,0	spełnione	-7,0	29,0							
61	4	C30/37	43	37	39,9	33	spełnione	1				-3,1	32,9							
62	4	C30/37	43	37	47,8	33	spełnione	2	43,9	36,0	spełnione	4,8	40,8							
63	3	C20/25	30	25	33,0	21	spełnione	3	30,9	26,0	spełnione	3,0	39,0							
64	3	C20/25	30	25	35,2	21	spełnione	4	32,0	27,0	spełnione	5,2	41,2							
65	3	C20/25	30	25	34,9	21	spełnione	5	32,5	27,5	spełnione	4,9	40,9	38,9	5,0	37,3	spełnione	3,1	6,7	zgodne

Jako beton referencyjny wybrano receptę nr 6 (klasa betonu C25/30), gdyż jest to najczęściej produkowany beton w tej rodzinie. Przez pierwsze trzy miesiące produkcji beton oceniany był w ramach produkcji początkowej. Po upływie trzech miesięcy i uzyskaniu 35 wyników obliczono odchylenie standardowe  $\sigma$  dla rodziny betonu wynoszące 4,9 MPa i rozpoczęto ocenę betonu jak dla produkcji ciągłej. Dla każdego z betonów przypisanych do niniejszej rodziny z wyników wcześniejszej produkcji obliczono wytrzymałość oczekiwaną i zaokrąglono ją do liczby całkowitej. Każdy z uzyskanych wyników fci sprawdzono pod względem zgodności z kryterium dla wyników pojedynczych (3). Następnie potwierdzono przynależność poszczególnych betonów do rodziny zgodnie z kryteriami zamieszczonymi w tabeli 1. Wyniki wytrzymałości poszczególnych betonów przetransponowano na wytrzymałość ekwiwalentną zgodnie z wzorem (2) i poddano ocenie według kryterium dla wartości średniej przy produkcji ciągłej (5). W niniejszym schemacie oceny przyjęto, że ocenie podlega 15 wyników niepokrywających się. Uzyskane wartości i ocenę zgodności przedstawiono w tabeli 3.

## 7. Podsumowanie

Zastosowanie koncepcji rodzin betonów do oceny zgodności betonu pozwala szerzej spojrzeć na produkcję betonu. Analizie nie podlegają w tym przypadku pojedyncze składki betonu, ale cała rodzina. Daje to lepszy obraz jakości całej produkcji. Każde zachwianie w jakości materiałów wejściowych, czy dokładności dozowania, odnosi się proporcjonalnie do wszystkich betonów należących do rodziny. To pozwala znacząco skrócić czas reakcji na wszelkie zachwiania produkcji. Dodatkową zaletą metody jest obniżenie kosztów kontroli bieżącej, z uwagi na to, że wymagane normą częstotliwości odnosimy w tym przypadku do rodziny, a nie każdego składu z osobna. Często na niewielkich węzłach w ciągu jednego dnia produkuje się niewielkie ilości kilku różnych składów betonu. Badanie takiej

produkcji dla każdego składu z osobna wymusza zwiększenie ilości pobieranych próbek. Dzięki kontroli rodziny betonów możliwe jest ograniczenie ilości badań, a w ślad za tym - kosztów produkcji. W ocenie rodzin betonów zwrócić należy uwagę na jeden zasadniczy fakt – w przypadku połączenia w jedną rodzinę składów o „bardzo dobrej” jakości (o zawyżonej średniej) ze składami o niskich uzyskiwanych wartościach wytrzymałości (albo wręcz o zaniżonych), może dojść do sytuacji, kiedy dobre wyniki jednego betonu będą maskować niewystarczające wyniki innego [7]. Aby wyeliminować taką sytuację, konieczne jest określanie wartości oczekiwanych wytrzymałości na podstawie średnich wyników uzyskiwanych wytrzymałości.

**dr inż. Grzegorz Bajorek**  
**Politechnika Rzeszowska**  
**mgr inż. Marta Kiernia-Hnat**  
**Centrum Technologiczne Budownictwa**  
**przy Politechnice Rzeszowskiej**

## Literatura

- 1 PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- 2 PrEN 206:2011 Concrete – Specifications, performance, production and conformity
- 3 Helm M., Zeh D., *Konformitätskontrolle unter Nutzung des Betonfamilienkonzepts – ein Beispiel für die praktische Umsetzung*. Beton, 5/2007
- 4 Badziąg B., Kurzydym P., *Zastosowanie koncepcji rodzin betonów w kontroli zgodności betonu projektowanego*. BTA 2/2009, s. 50-55
- 5 Raport CEN CR 13901:2000 Zastosowanie koncepcji rodziny betonów w kontroli produkcji i kontroli zgodności
- 6 Kohutek Z., *Rodzina betonów – geneza pojęcia, terminologia, kryteria, ogólne zasady kreacji*, „Przegląd Budowlany”, 10/2010
- 7 Caspeelee R., Taerwe L., *Conformity control of concrete based on the concrete family concept*. 5th International Probabilistic Workshop – Taerwe & Proske (eds), Ghent, 2007, s. 241-252



foto: Michał Braszczyński