

Zastosowanie koncepcji rodzin betonów w kontroli zgodności betonu projektowanego

Wprowadzenie

W ciągu ostatnich kilku dekad technologia produkcji betonu uległa znaczącym pozytywnym przemianom. Zakłady produkujące beton, w których na proces produkcji składały się kiedyś operacje jednostkowe wykonywane i nadzorowane przez pracowników, zostały w większości przypadków zastąpione zautomatyzowanymi węzłami produkcyjnymi. Produkcja w nowoczesnych wytwórniach betonu prowadzona jest obecnie za pośrednictwem komputerów, zaś profesjonalne systemy informatyczne, opracowane specjalnie na potrzeby wytwarzania betonu, umożliwiają sprawne sterowanie procesem oraz dostosowanie procesu do zachodzących zmian. Systemy produkcyjne wyposażone są w urządzenia pozwalające na produkcję mieszanki betonowej na wysokim poziomie dokładności i powtarzalności. Są to między innymi: systemy ważące i wagi o wysokiej dokładności dozowania składników betonu, sondy do pomiaru wilgotności kruszyw z automatyczną korektą dozowanej do produkcji wody, coraz bardziej wyrafinowane systemy do kontroli konsystencji i reologii mieszanki betonowej jeszcze w mieszalniku produkcyjnym. Naważenia poszczególnych komponentów mieszanki betonowej są rejestrowane i archiwizowane w systemie.

Wprowadzona w Europie nowa norma betonowa (w Polsce w 2004 roku – *PN-EN 206-1 Beton. Część 1. Wymagania, właściwości produkcji i zgodność*) nakłada na producentów betonu wiele dodatkowych restrykcji i obostrzeń w stosunku do samej produkcji betonu, które powinny być opisane w dokumencie Zakładowej Kontroli Produkcji oraz w stosunku do składników i składu betonu. Omawiana norma mówi, że obowiązkiem każdego producenta betonu jest kontrola zgodności z wymaganiami normy każdego produkowanego betonu.

Udoskonalenie procesu wytwarzania betonu oraz wprowadzenie nowych uregulowań normalizacyjnych przełożyło się na osiągnięcie lepszej jednorodności produkcji betonu oraz mniejszej zmienności wyników badań uzyskiwanych w ramach procesu kontroli produkcji. Stabilność procesu produkcyjnego umożliwia zastosowanie odmiennych, od używanych dotychczas, metod kontroli jakości produkowanego betonu. W niniejszym artykule omówiona została metoda oceny zgodności wytrzymałości na ściskanie betonu projektowanego z zastosowaniem koncepcji rodzin betonów. Prowadzenie kontroli zgodności betonu z zastosowaniem zaproponowanej koncepcji jest od wielu lat stosowane w krajach Europy Zachodniej, takich jak Niemcy, Francja czy Anglia,

i staje się coraz bardziej popularne w Polsce wśród zaawansowanych technologicznie producentów betonu.

Koncepcja rodzin betonów zakłada tworzenie określonych „zbiorów receptur” – tzw. rodzin, a następnie analizowanie uzyskanych wyników wytrzymałości na ściskanie dla wszystkich receptur ze zbioru jak dla pojedynczego składu (receptury). Stosowanie ustalonej metody projektowania składów mieszanek betonowych pozwala na wykreślenie zależności pomiędzy składem betonu a jego właściwościami (w tym przypadku wytrzymałością na ściskanie), umożliwiając proste i zrozumiałe łączenie receptur w rodziny. Prowadzenie kontroli jakości z zastosowaniem koncepcji rodzin betonu opiera się na ocenie jakości wszystkich betonów w rodzinie, których wyniki wytrzymałości na ściskanie zostały przeliczone na beton charakterystyczny dla danej rodziny, tzw. beton odniesienia.

Pojęcie rodziny betonów w świetle normy PN-EN 206-1 i raportu CEN 13901

Norma PN-EN 206-1:2003 „Beton. Część 1. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.” definiuje rodzinę betonów jako grupę betonów, dla których została ustalona i udokumentowana zależność pomiędzy odpowiednimi właściwościami [1]. Ponieważ podana definicja wraz z innymi zapisami normy może być niewystarczająca dla zrozumienia idei stosowania rodzin betonów, w treści normy zamieszczono odwołanie do raportu Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego – CEN 13901:2000 [2], jako źródła szczegółowych informacji dotyczących stosowania pojęcia rodziny betonów. Przywołany raport opisuje sposób prowadzenia kontroli produkcji i zgodności wytrzymałości na ściskanie z zastosowaniem koncepcji rodziny betonów, podając m.in. zasady wyboru betonów do rodziny, sposoby ustalenia zależności pomiędzy odpowiednimi właściwościami betonów w rodzinie; zastosowanie kryteriów normowych oceny zgodności rodziny betonów na przykładowych wynikach z produkcji. Zależności zachodzące pomiędzy betonami (członkami rodziny) można ustalić, [2] na podstawie badań wstępnych, danych z produkcji i/lub teorii. Zależności te powinny być sprawdzone we wszystkich okresach oceny zgodności oraz gdy mają miejsce znaczne zmiany warunków produkcji. Ustalenie relacji ma na celu umożliwienie przeliczenia wyników uzyskiwanych dla poszczególnych receptur należących do rodziny na beton odniesienia. Przeliczenie takie nie jest konieczne tylko w przypadku, gdy betony należące do rodziny należą do tej samej klasy wytrzymałości i spełniają te same klasy ekspozycji.

Tworzenie rodziny betonów

Zarówno norma PN-EN 206-1 jak i raport CEN 13901 podają pewne zalecenia dotyczące grupowania składów betonu w rodziny. W myśl tych zapisów zaleca się, aby betony w jednej rodzinie posiadały [1; 2]:

- cement tego samego rodzaju, klasy wytrzymałości i pochodzenia
- bardzo podobne kruszywa i dodatki typu I
- dodatki typu II lub brak tych dodatków
- domieszki redukujące ilość wody lub brak tych domieszek
- ograniczony zakres klas wytrzymałości
- pełen zakres klas konsystencji.

Według normy PN-EN 206-1 zaleca się, aby tzw. kruszywa podobne miały to samo pochodzenie geologiczne, były tego samego rodzaju, np. łamane, oraz zachowywały się podobnie w betonie. Raport CEN 13901 dodaje, że podobieństwa te mogą być scharakteryzowane za pomocą takich cech, jak gęstość nasypowa czy wytrzymałość.

Ograniczenie zakresu klas wytrzymałości przy doborze betonów do rodziny wynika z faktu zmienności zależności wytrzymałości na ściskanie od W/C w niskich zakresach W/C (<0,38) oraz w wysokich zakresach W/C (>1,25) [3]. Informacje dotyczące ograniczenia zakresu klas wytrzymałości opisane zostały również w PN-EN 206-1. Pojęcia rodziny nie należy stosować do betonów o klasach wyższych niż C55/67 lub LC 55/60. Betonów lekkich nie należy łączyć z rodziną zawierającą betony zwykłe.

Doświadczony producent może dokonywać grupowania betonów w rodzinę w mniej restrykcyjny sposób. Raport CEN [2] podaje przykład stosowania rodziny, w której znajdują się betony z cementami różnych rodzajów (np. CEM II - CEM V; klasy 32,5), z domieszkami redukującymi ilość wody i bez tych domieszek. Najważniejsze jest w tym przypadku udokumentowanie zależności zachodzących pomiędzy betonami zakwalifikowanymi do tej samej rodziny.

Przykładem, którym posłużono się w dalszej części artykułu, jest rodzina betonów towarowych [T1], zaprojektowanych na cemencie tego samego rodzaju (CEM II/B-S 32,5R), pochodzącym z jednego źródła. Recepty nie zawierają dodatków typu I ani typu II i wykonane są na tym samym typie kruszywa (żwir 2/16 mm i piasek 0/2 mm). Wszystkie zawierają domieszkę redukującą ilość wody – plastifikator. Betony należące do omawianej rodziny mieszczą się w zakresie klas wytrzymałości na ściskanie: od C8/10 do C35/45.

Zależności pomiędzy betonami stanowiącymi rodzinę

Koncepcja rodzin betonów wywodzi się ze statystycznego podejścia do kontroli produkcji i jakości betonu. Wyniki uzyskiwane dla pojedynczej receptury przy produkcji betonu zależne są od wielu czynników związanych m.in. z:

- jakością materiałów
- funkcjonowaniem wytwórni
- warunkami środowiskowymi
- dokładnością pomiarów.

Istotna zmiana w jakości dowolnego z materiałów, stanowiącego składnik receptury betonu, wpły-

wa na uzyskiwane dla tego betonu rezultaty. Jeśli składnik ten używany jest w całym zbiorze receptur – np. rodzinie betonów, to zmian jakości należy się spodziewać dla wszystkich receptur ze zbioru. Zastosowanie pojęcia rodziny betonów pozwala wykryć znaczące zmiany w jakości (wytrzymałości na ściskanie) szybciej aniżeli przy analizie wyników indywidualnie dla każdej receptury. Zmiany w jakości widoczne są w rodzinie na tzw. betonie odniesienia.

Beton odniesienia to receptura, która jest najczęściej produkowana z całej rodziny betonów lub receptura ze środkowego zakresu składów, w jakim mieszczą się receptury betonów należących do rodziny. W przypadku gdy rodzina zawiera betony zaprojektowane na różnych cementach i kruszywach, betonem odniesienia będzie receptura zawierająca najczęściej używany cement i kruszywo. Wszystkie uzyskane wyniki wytrzymałości na ściskanie dla indywidualnych składów betonów w rodzinie przeliczane są na beton odniesienia. Wyniki wytrzymałości na ściskanie przeliczone na wytrzymałość betonu odniesienia stają się wyznacznikiem jakości dla całej rodziny (wszystkich betonów należących do rodziny). Częstotliwość pobierania próbek kontrolnych dla rodziny betonów jak i dla indywidualnego betonu powinna być zgodna z wymaganiami normy PN-EN 206-1, przy czym pobieranie próbek powinno być przeprowadzone w całym zakresie składów betonów produkowanych w ramach rodziny.

Jedną z najczęściej rozpatrywanych zależności, w przykładach raportu CEN 13901, jest relacja wytrzymałości na ściskanie f_c od wskaźnika wodno-cementowego W/C. Relacja ta może posłużyć do przeliczenia wyników wytrzymałości poszczególnych betonów należących do rodziny na jej beton odniesienia. Wybór metody przeliczania wyników zależy od charakteru uzyskanej relacji. Dla pewnego zakresu składów można przyjąć liniową zależność f_c od W/C.

Metody przeliczania wyników

Dwie spośród trzech zaprezentowanych poniżej metod przeliczania wyników uzyskanych dla indywidualnych receptur na beton odniesienia opierają się na zależności wytrzymałości na ściskanie f_c od wskaźnika wodno-cementowego W/C. Raport CEN 13901 opisuje także metody przeliczania wyników opierające się na innych zależnościach, takich jak relacja wytrzymałości na ściskanie f_c od zawartości cementu C. Metody te nie zostały poruszone w niniejszym artykule.

Metoda trzecia zakłada proporcjonalność zachodzącą pomiędzy uzyskiwanymi wytrzymałościami na ściskanie. Metoda ta nie znajduje zastosowania, gdy przy projektowaniu betonu uwzględniono dodatkowe czynniki, np. wyspecyfikowane maksymalne W/C.

W większości przykładów obliczeniowych zaprezentowanych w Raporcie CEN 13901 posługiwano się wartością wytrzymałości charakterystycznej poszczególnych betonów należących do rodziny oraz wytrzymałością charakterystyczną betonu odniesienia. Doświadczenia autorów wskazują, że stosowanie wytrzymałości projektowej w miejsce wytrzymałości charakterystycznej daje lepsze re-

Tabela 1. Wyniki wytrzymałości na ściskanie betonów należących do rodziny „T1”

Rodzina „T1”	W/C:	f_{cm} [MPa]
C8/10	1,12	16,4
C12/15	0,98	21,4
C16/20	0,85	25,8
C20/25¹⁾	0,71	32,3
C25/30	0,62	37,9
C30/37	0,53	45,3
C35/45	0,44	46,8

1) Beton odniesienia dla rodziny T1

zultaty, stąd w niniejszym artykule przy prezentacji metod przeliczeniowych posłużono się wytrzymałością projektową betonów. Wytrzymałość projektowa jest to obliczona wartość wytrzymałości na ściskanie betonu, uwzględniająca wymagany normą [1] zapas wytrzymałości w stosunku do wytrzymałości charakterystycznej.

Metoda 1 – opierająca się na zależności wytrzymałości od wskaźnika W/C

W rodzinie betonów T1 (tabela 1) beton C20/25 jest betonem odniesienia. Ustaloną zależność wytrzymałości na ściskanie f_c od wskaźnika wodno-cementowego W/C betonów należących do rodziny T1 przedstawiono w tabeli 1 i na rysunku 1. Relacja funkcyjna: $f_c = 100,015 e^{-1,593 \cdot W/C}$ została dopasowana do wyników z bardzo dobrą korelacją. Kolejne kroki wykonywane przy przeliczaniu wytrzymałości na ściskanie pojedynczych wyników na beton odniesienia pokazano na przykładzie rezultatu uzyskanego dla betonu klasy C25/30 należącego do rodziny T1. Pojedynczy wynik wytrzymałości na ściskanie na próbkach kostkowych dla tego betonu wyniósł $f_{ci} = 35,0$ [MPa] (C25/30).

Wykorzystując ustaloną zależność funkcyjną, pokazaną na rysunku 1 ($f_c = 100,015 e^{-1,593 \cdot W/C}$) obliczono wartości wskaźnika W/C dla wytrzymałości projektowej betonu C 25/30 [f_c], która wynosi 34,0 [MPa] oraz W/C dla rzeczywistej wytrzymałości na ściskanie uzyskanej na kostkach sześciennych: 35,0 [MPa], otrzymując:

W/C 34,0 [MPa] = 0,677 – W/C dla wytrzymałości projektowej 34 [MPa] (C25/30)

W/C 35,0 [MPa] = 0,659 – W/C dla wytrzymałości uzyskanej 35 [MPa]

Następnie obliczono różnicę wyznaczonych z zależności wskaźników: $\Delta W/C$:

$\Delta W/C = W/C 34,0$ [MPa] – $W/C 35,0$ [MPa] = 0,677 – 0,659 = 0,018

Betonem odniesienia dla rodziny T1 jest beton

C20/25, dla którego na podstawie tej samej zależności obliczono W/C potrzebne do uzyskania przez ten beton wytrzymałości projektowej równej 29,0 [MPa]:

W/C 29,0 [MPa] = 0,777 – W/C dla wytrzymałości projektowej 29 [MPa] (C20/25)

Obliczoną wartość $\Delta W/C = 0,018$, wynikającą z różnicy pomiędzy wytrzymałością projektową a wytrzymałością rzeczywistą uzyskaną dla betonu klasy C25/30, odjęto od wartości wskaźnika W/C betonu odniesienia (C20/25) i otrzymano tym samym wartość:

W/C 29,0 [MPa] – $\Delta W/C = 0,777 - 0,018 = 0,759$

Na podstawie równania krzywej $f_c = 100,015 e^{-1,593 \cdot W/C}$ obliczono nową wartość wytrzymałości na ściskanie:

$f_{c \text{ przeliczone}} = 100,015 e^{-10593 \cdot 0,759} = 29,9$ [MPa]

Wynik 35,0 [MPa] osiągnięty dla betonu C25/30 odpowiada wynikowi 29,9 [MPa], po przeliczeniu na beton odniesienia C20/25.

Metoda 2 – opierająca się na prostoliniowej zależności wytrzymałości od wskaźnika W/C

Aby opisać zależność wytrzymałości na ściskanie f_c od wskaźnika wodno-cementowego W/C za pomocą prostej, konieczne może być ograniczenie zakresu klas wytrzymałości na ściskanie betonów należących do rodziny. Zależność z poprzedniego przykładu, w zakresie klas C8/10 do C35/45, opisana równaniem prostoliniowym cechuje się bardzo dobrą korelacją (rysunek 1), w związku z czym nie ograniczono zakresu wytrzymałości.

Identycznie jak w poprzednim przykładzie, dla receptury C25/30 otrzymano przy badaniu wytrzymałości na ściskanie, przeprowadzonym na próbkach sześciennych, wynik $f_{ci} = 35,0$ [MPa]. Cały proces przeliczania uzyskanych wyników wytrzymałości na ściskanie na wytrzymałość betonu odniesienia jest analogiczny jak dla wcześniej omawianej zależności krzywoliniowej, z tym że w tym wypadku do przeliczeń stosujemy wyznaczoną zależność liniową pokazaną na rysunku 1: $f_c = -47,151 \cdot W/C + 67,608$.

Dla tej zależności obliczono odpowiednio:

W/C 34,0 [MPa] = 0,713 – W/C dla wytrzymałości projektowej 34 [MPa] (C25/30)

W/C 35,0 [MPa] = 0,692 – W/C dla wytrzymałości uzyskanej 35 [MPa]

Różnica wskaźników $\Delta W/C$ wynosi:

$\Delta W/C = W/C 34,0$ [MPa] – $W/C 35,0$ [MPa] = 0,713 – 0,692 = 0,021

W/C betonu odniesienia (C20/25):

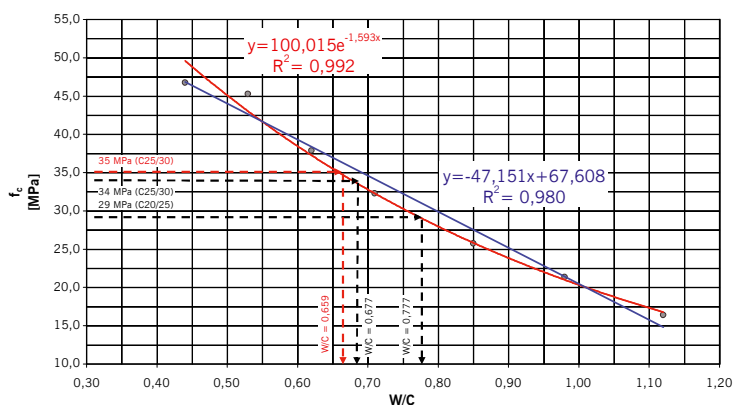
W/C 29,0 [MPa] = 0,819 – W/C dla wytrzymałości projektowej 29 [MPa] (C20/25)

Podobnie jak wcześniej obliczoną wartość $\Delta W/C = 0,021$, wynikającą z różnicy pomiędzy wytrzymałością projektową a wytrzymałością rzeczywistą uzyskaną dla betonu klasy C25/30, odjęto od wartości wskaźnika W/C betonu odniesienia (C20/25) i otrzymano tym samym wartość:

W/C 29,0 [MPa] – $\Delta W/C = 0,819 - 0,021 = 0,798$

Na podstawie liniowej zależności obliczono nową wartość wytrzymałości na ściskanie betonu klasy C25/30 przeliczoną na wytrzymałość betonu odniesienia C20/25:

Rysunek 1. Zależność wytrzymałości na ściskanie f_c od wskaźnika wodno-cementowego W/C dla przykładowej rodziny „T1”



$$f_{c \text{ przeliczone}} = -47,151 \cdot 0,798 + 67,608 = 30,0 \text{ [MPa]}$$

Należy zauważyć, że różnica wytrzymałości pomiędzy uzyskanym wynikiem (35 [MPa]) a wytrzymałością projektową tego betonu (34 [MPa]) jest identyczna, jak pomiędzy wynikiem przeliczonym (30 [MPa]) a wytrzymałością projektową betonu odniesienia (29 [MPa]), i wynosi 1 MPa. Wynika to z założonego prostoliniowego charakteru zależności f_c od W/C. Tym samym w metodzie przeliczania wyników, zakładającej prostoliniową zależność pomiędzy wytrzymałością na ściskanie f_c a wskaźnikiem wodno-cementowym W/C, przeliczenie wytrzymałości można realizować na podstawie wzoru:

$$f_{c \text{ przeliczone}} = f_{c \text{ proj ref}} + (f_{ci} - f_{c \text{ proj}})$$

gdzie:

$f_{c \text{ proj ref}}$ – wytrzymałość projektowa betonu odniesienia

f_{ci} – pojedynczy wynik badania wytrzymałości na ściskanie betonu X

$f_{c \text{ proj}}$ – wytrzymałość projektowa betonu X

Metoda 3 – opierająca się na proporcjonalnej zależności pomiędzy wytrzymałościami

W metodzie tej zakłada się występowanie zasady proporcjonalności pomiędzy wytrzymałościami betonów. Wynik badania wytrzymałości betonu na ściskanie odnoszony jest do wytrzymałości projektowej tego betonu w celu obliczenia współczynnika proporcjonalności r . Przeliczenia wytrzymałości na ściskanie pojedynczych wyników na wytrzymałość betonu odniesienia dokonuje się poprzez pomnożenie wytrzymałości projektowej betonu odniesienia przez współczynnik r .

$$f_{c \text{ przeliczone}} = \frac{f_{ci} - f_{c \text{ proj}}}{f_{c \text{ proj ref}} - f_{c \text{ proj}}} \cdot f_{c \text{ proj ref}} = \frac{f_{c \text{ proj ref}} \cdot f_{ci}}{f_{c \text{ proj}}} \cdot \frac{f_{ci}}{f_{c \text{ proj}}} \cdot f_{c \text{ proj ref}}$$

↓
 r

gdzie:

$f_{c \text{ proj ref}}$ – wytrzymałość projektowa betonu odniesienia

f_{ci} – pojedynczy wynik badania wytrzymałości na ściskanie betonu X

$f_{c \text{ proj}}$ – wytrzymałość projektowa betonu X

r – współczynnik proporcjonalności

Po podstawieniu danych z przykładów wcześniejszych otrzymano:

$$f_{c \text{ przeliczone}} = \frac{29 \cdot 35}{34} = 29,9 \text{ [MPa]}$$

W raporcie CEN 13901 zaakceptowano użycie wszystkich trzech z zaprezentowanych powyżej metod, gdyż dają one podobne rezultaty w pewnym zakresie składów.

W tabeli 2 zestawiono wyniki przeliczenia uzyskanej wytrzymałości na ściskanie (35 [MPa]) na wytrzymałość betonu odniesienia trzema opisanymi wyżej metodami. Dodatkowo zestawiono wyniki tych samych obliczeń w przypadku stosowania, zamiast wytrzymałości projektowej, wartości wytrzymałości charakterystycznej.

Z tabeli 2 wynika, że stosowanie do przeliczeń

Tabela 2. Porównanie wyników przeliczenia wytrzymałości na ściskanie na wytrzymałość betonu odniesienia

Obliczenia:	Metoda 1	Metoda 2	Metoda 3
wg wytr. projektowej	29,9	30,0	29,9
wg wytr. charakterystycznej	29,2	30,0	29,2

Tabela 3. Ocena zgodności wytrzymałości na ściskanie dla pojedynczych betonów

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	$\geq f_{ck} + 1,48 \cdot \sigma$	$\geq f_{ck} - 4$

wytrzymałości projektowej betonu daje mniejsze rozbieżności wyników.

Kontrola zgodności według PN-EN 206-1:2003

Przeprowadzenie kontroli zgodności, stanowiącej integralną część kontroli produkcji, stanowi obowiązek producenta betonu. Norma PN-EN 206-1 zawiera informacje odnoszące się zarówno do kontroli zgodności wytrzymałości na ściskanie indywidualnych betonów, jak i do kontroli zgodności wytrzymałości na ściskanie receptur zestawionych w rodziny. Niezależnie od wybranego sposobu kontroli oceny zgodności należy dokonać na zbiorze wyników uzyskanych w okresie, który nie powinien przekroczyć ostatnich dwunastu miesięcy produkcji.

Kryteria zgodności dla indywidualnych receptur betonów

Kontrola zgodności wytrzymałości na ściskanie receptur indywidualnych obejmuje sprawdzenie dwóch warunków podanych w tabelicy 14 normy PN-EN 206-1 (patrz tabela 3).

Odchylenie standardowe populacji σ podane dla kryterium 1 przy produkcji ciągłej należy obliczyć z co najmniej 35 wyników badań wykonywanych w okresie dłuższym niż 3 miesiące, bezpośrednio poprzedzającym okres oceny zgodności. Wartość obliczonego odchylenia powinna zostać zweryfikowana zgodnie z zaleceniami normy.

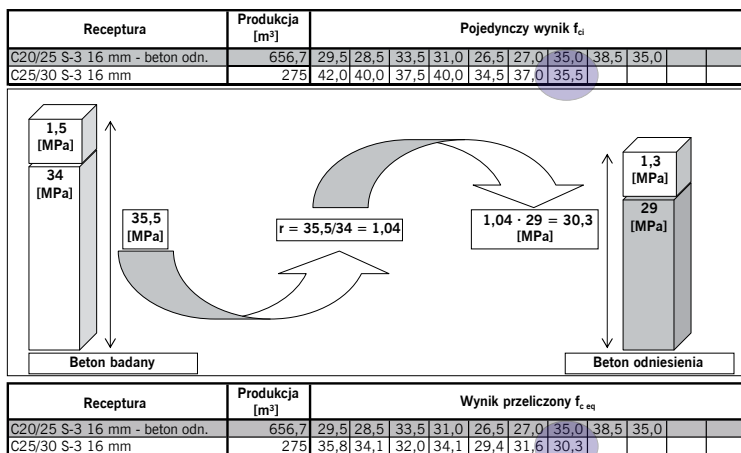
Do potwierdzenia zgodności produkowanej partii betonu konieczne jest spełnienie kryterium 1 i kryterium 2.

Kryteria zgodności dla rodzin betonów

Kontrola zgodności wytrzymałości na ściskanie przy zastosowaniu koncepcji rodzin betonów obejmuje sprawdzenie warunków z tabelicy 14 normy PN-EN 206-1 (patrz tabela 3), przy czym kryterium 1 stosowane jest do betonu odniesienia. Wytrzymałość f_{cm} to w tym przypadku średnia z wyników wszyst-

Tabela 4. Ocena zgodności wytrzymałości na ściskanie przy zastosowaniu koncepcji rodzin betonu. Kryterium 3 wg PN-EN 206-1

Liczba „n” wyników badań wytrzymałości na ściskanie dla pojedynczego betonu	Kryterium 3
	Średnia z „n” wyników (f_{cm}) dla pojedynczego betonu z rodziny [N/mm ²]
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	$\geq f_{ck} + 3,0$



Rysunek 2. Schemat przeliczenia metodą proporcjonalną

kich betonów należących do rodziny, przeliczonych na beton odniesienia. Kryterium 2 stosowane jest do wyników pojedynczych, nieprzeliczonych na beton odniesienia. Dodatkowym warunkiem, jaki został postawiony w normie w celu sprawdzenia przynależności każdego pojedynczego betonu do rodziny, jest kryterium 3 zawarte w tablicy 15 normy PN-EN 206-1 (patrz tabela 4). Wytrzymałość f_{cm} w tym kryterium to średnia z wyników pojedynczego betonu (członka rodziny), nieprzeliczonych na beton odniesienia. Należy zauważyć, że kryterium 3 określone w normie nie podaje zależności, jaka powinna zostać spełniona, gdy mamy inną ilość wyników niż pomiędzy 2 a 6. Uzupełnienie stanowi może w tym przypadku tabela 1 z raportu CEN 13901:2000 (patrz tabela 5) oraz informacja, że gdy liczba wyników pojedynczego betonu przekracza 15, należy sprawdzić warunek:

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$$

Tabela 5. Ocena zgodności wytrzymałości na ściskanie przy zastosowaniu koncepcji rodzin betonu. Kryterium sprawdzenia przynależności betonu do rodziny wg CEN 13901

Liczba wyników badań „n”	Kryterium 3 Średnia $\geq f_{ck} + \Delta_{n,a}$ [MPa]
1	$\geq f_{ck} - 4,0$
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	$\geq f_{ck} + 3,0$

Tabela 6. Minimalne ilości wyników konieczne do przeprowadzenia oceny zgodności

Lp.	Receptura	Produkcja [m ³]	Niezbędna ilość wyników do oceny zgodności (dla oceny indywidualnej)	Niezbędna ilość wyników do oceny zgodności (dla rodzin betonów)
1	C16/20 S-3 16 mm	770	6	15
2	C20/25 S-3 16 mm – beton odniesienia	657	5	
3	C25/30 S-3 16 mm	275	3	
4	C25/30 S-3 16 mm (wariant II)	207	3	
5	C12/15 S-3 16 mm	177	3	
6	C8/10 S-3 16 mm	84	3	
7	C20/25 S-3 16 mm (wariant II)	24	3	
8	C20/25 S-3 16 mm (wariant III)	13	3	
9	C25/30 S-3 16 mm (wariant III)	6	3	
	Suma:	2211	32	

Dla liczby wyników z przedziału od 7 do 14 zaleca się zastosować interpolację liniową pomiędzy wymaganiem dla 6 wyników oraz wymaganiem wynikającym z kryterium $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,48 \sigma$. Gdy beton nie spełnia kryterium 3, należy usunąć go z rodziny i ocenić indywidualnie. Do potwierdzenia zgodności produkowanych partii betonów należących do rodziny konieczne jest spełnienie wszystkich trzech kryteriów.

Przykład zastosowania koncepcji rodzin betonów w kontroli zgodności wytrzymałości na ściskanie

Kontrola zgodności przedstawiona w przykładzie została wykonana dla rodziny betonów towarowych [T2], w której zastosowano dodatek typu II – popiół lotny. Kruszywem podstawowym dla prezentowanej rodziny jest żwir. W skład rodziny wchodzi 18 receptur betonu w dwóch wariantach produkowanej konsystencji i w jednym wariantcie maksymalnego uziarnienia. W omawianym okresie oceny wyprodukowano 2211 m³ betonu z dziewięciu recept (składów) należących do rodziny T2. Betonem odniesienia dla rodziny jest beton o klasie wytrzymałości C20/25 i konsystencji S-3 (w tabeli 6 zaznaczony na niebiesko). Jako okres oceny zgodności przyjęto 1 miesiąc. Dodatkowo założono, że producent nie posiada certyfikatu kontroli produkcji, zaś produkcja ma charakter początkowy.

Minimalna ilość próbek, niezbędna do przeprowadzenia kontroli zgodności, jest podana w tablicach 13 i 14 normy PN-EN 206-1. Wynikające z tych tablic minimalne ilości pobrań przy ocenie indywidualnej oraz przy kontroli z użyciem rodzin betonów przedstawiono w tabeli 6.

W tabeli 7 przedstawiono wyniki wytrzymałości na ściskanie betonów należących do rodziny T2. Ocena indywidualna betonów posiadających mniej niż trzy wyniki wytrzymałości na ściskanie nie jest możliwa. Betony, dla których liczba wyników umożliwiła sprawdzenie zgodności wg kryterium 1 i 2 (tabela 3), mogą zostać indywidualnie ocenione i spełniają wymagania normy. Zastosowanie koncepcji rodzin umożliwia w rozpatrywanym przypadku przeprowadzenie oceny zgodności dla wszystkich produkowanych betonów w rozpatrywanym okresie oceny.

W przypadku przeprowadzania oceny zgodności, stosując koncepcję rodzin betonu dla wyników badań i produkcji pokazanej w tabeli 7, sprawdzamy kolejno kryterium 1 i 2 zgodnie z wymaganiami podanymi w tabeli 3 oraz kryterium 3 zgodnie z wymaganiami podanymi w tabelach 4 lub 5.

Kryterium 1

Każdy pojedynczy wynik przeliczono na beton odniesienia, a następnie obliczono średnią z przeliczonych wyników $f_{c,meq}$. Przykład transformacji metodą proporcjonalną dla C25/30 S-3 16 mm pokazano na rysunku 2.

Zestawienie wszystkich wyników wytrzymałości na ściskanie przeliczonych na beton odniesienia C20/25 pokazano w tabeli 8.

Obliczona średnia spełnia wymagania normy zawarte w kryterium 1 dla produkcji początkowej:

$$f_{c,meq} \geq f_{ck} + 4 \rightarrow 31,1 \geq 25 + 4 \rightarrow 31,1 \geq 29,0$$

Kryterium 2

Każdy pojedynczy wynik f_{ci} został porównany z kryterium 2 normy (tak samo jak w ocenie indywidualnej), tym samym sprawdzono, czy żaden z uzyskanych wyników nie jest mniejszy od wytrzymałości charakterystycznej betonu pomniejszonej o 4 MPa. Wyniki spełniły wymagania zawarte w kryterium 2.

Kryterium 3

Średnie f_{cm} obliczone dla każdego betonu z rodziny spełniły wymagania zawarte w kryterium 3 z normy PN-EN 206-1:2003 lub raportu CEN 13901:2000 (patrz tabela 4 i 5 oraz kryteria raportu dla 7 do 14 wyników). Przykład dla C25/30 S-3 16 mm (wariant II):

$$n=5 \rightarrow f_{cm} \geq f_{ck} + 2,5$$

$$37,6 \geq 30 + 2,5 \rightarrow 37,6 \geq 32,5$$

Podsumowanie

Kontrola zgodności wyprodukowanego betonu przy zastosowaniu koncepcji rodzin betonów może stanowić ciekawą alternatywę w stosunku do oceny zgodności przeprowadzanej indywidualnie dla każdej receptury. W przypadku zróżnicowanej oferty handlowej producenta, będącej próbą sprostania rosnącym oczekiwaniom klientów, rodziny betonów stają się niemal nieodzownym narzędziem, które pozwala na ocenę jakości w sposób kompleksowy. Zastosowanie koncepcji rodzin przy kontroli produkcji i zgodności betonu pozwala na osiągnięcie wymiernych korzyści finansowych. Przy założeniu dużego zróżnicowania profilu produkcyjnego wytwórni zmiana sposobu kontroli zgodności, z oceny indywidualnej na kontrolę z użyciem rodzin beto-

nów powinna pociągnąć za sobą zmniejszenie wydatków ponoszonych na kontrolę jakości.

Do zalet metody kontroli z użyciem rodzin zaliczyć należy skrócenie czasu reakcji na zmiany jakości materiałów. Doświadczenia w stosowaniu rodzin wskazują, że znaczącą zmianę jakości, obserwowaną na betonie odniesienia, zauważyć można do dwóch razy szybciej niż przy indywidualnej ocenie jakości [2].

Z doświadczenia autorów wynika, że zastosowanie koncepcji rodzin betonów ułatwia wykonanie planu poborów próbek.

Stosowanie koncepcji rodzin betonów przy kontroli produkcji i zgodności betonu pozwala na osiągnięcie tego samego poziomu pewności i ufności, jaki stosowany jest przy kontroli zgodności prowadzonej indywidualnie dla każdego składu oddzielnie. Łączenie betonów w rodziny umożliwia łatwe wykonanie następnego kroku w kierunku ścisłego kontrolowania zmian zachodzących w procesie produkcyjnym – zastosowania np. metody Cusum. [2].

Omówiona w artykule metoda oceny zgodności została z sukcesem wdrożona, w ramach procesu kontroli jakości produktów, w 34 wytwórniach produkujących beton towarowy w Polsce.

Bartosz Badziąg
Piotr Kurzydym
Dział Technologii Betonu
CEMEX Polska

Literatura:

- 1 Norma PN-EN 206-1:2003 – Beton. Część 1. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- 2 CEN Report – CR 13901:2000 – The use of the concept of concrete families for the production and conformity control of concrete
- 3 A. M. Neville, Właściwości betonu, Kraków 2000

Tabela 7. Wyniki wytrzymałości na ściskanie dla betonów należących do rodziny „T2” wraz z oceną zgodności w przyjętym okresie oceny – ocena indywidualna

Lp.	Receptura	Produkcja [m ³]	Pojedynczy wynik f_{ci}											Wartość średnia f_{cm}	Kryterium 1 $f_{cm} \geq f_{ck} + 4$	Kryterium 2 $f_{ci} \geq f_{ck} - 4$
			22,5	26,0	26,0	22,5	24,0	21,5	21,0	27,0	27,5	25,5	23,5			
1	C16/20 S-3 16 mm	770	22,5	26,0	26,0	22,5	24,0	21,5	21,0	27,0	27,5	25,5	23,5	24,3	TAK	TAK
2	C20/25 S-3 16 mm – beton odniesienia	657	29,5	28,5	33,5	31,0	26,5	27,0	35,0	38,5	35,0			31,6	TAK	TAK
3	C25/30 S-3 16 mm	275	42,0	40,0	37,5	40,0	34,5	37,0	35,5					38,1	TAK	TAK
4	C25/30 S-3 16 mm (wariant II)	207	38,5	44,5	36,5	35,0	33,5							37,6	TAK	TAK
5	C12/15 S-3 16 mm	177	15,5	25,0										20,3	NIE	TAK
6	C8/10 S-3 16 mm	84	16,5	15,0										15,8	NIE	TAK
7	C20/25 S-3 16 mm (wariant II)	24	30,0											30,0	NIE	TAK
8	C20/25 S-3 16 mm (wariant III)	13													NIE	NIE
9	C25/30 S-3 16 mm (wariant III)	6													NIE	NIE
Suma:		2211														

Tabela 8. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie dla betonów należących do rodziny „T2” po przeliczeniu na beton odniesienia

Lp.	Receptura	Produkcja [m ³]	Wskaźnik przeliczony $f_{c,eq}$											Średnia $f_{c,req}$
			27,2	31,4	31,4	27,2	29,0	26,0	25,4	32,6	33,2	30,8	28,4	
1	C16/20 S-3 16 mm	770	27,2	31,4	31,4	27,2	29,0	26,0	25,4	32,6	33,2	30,8	28,4	31,1
2	C20/25 S-3 16 mm – beton odniesienia	657	29,5	28,5	33,5	31,0	26,5	27,0	35,0	38,5	35,0			
3	C25/30 S-3 16 mm	275	35,8	34,1	32,0	34,1	29,4	31,6	30,3					
4	C25/30 S-3 16 mm (wariant II)	207	32,8	38,0	31,1	29,9	28,6							
5	C12/15 S-3 16 mm	177	23,7	38,2										
6	C8/10 S-3 16 mm	84	34,2	31,1										
7	C20/25 S-3 16 mm (wariant II)	24	30,0											
8	C20/25 S-3 16 mm (wariant III)	13												
9	C25/30 S-3 16 mm (wariant III)	6												
Suma:		2211												