

dr inż. Grzegorz Bajorek^{1)*}
mgr inż. Marta Kiernia-Hnat²⁾

Kontrola betonu towarowego podczas produkcji, wbudowywania oraz w konstrukcji

DOI: 10.15199/33.2015.11.64

Beton towarowy podlega procedurom potwierdzenia zgodności uzyskanych przez niego parametrów technicznych z wymaganiami określonymi w specyfikacji. Kontrola betonu ma potwierdzić, czy spełnia on wymagania sformułowane przez projektanta konstrukcji (specyfikującego), wynikające z założeń zawartych w normach do projektowania PN-EN 1992 (Eurokod 2) i PN-EN 1994 (Eurokod 4). W związku z tym, że kształtowanie właściwości betonu trwa długo od momentu zmieszania cementu z wodą, a przy tym wpływa na ten proces wiele czynników (produkcyjne, transportowe, wykonawcze), kontrola uzyskanych przez beton parametrów może odbywać się w różnym czasie (np. podczas produkcji, dostawy, po wbudowaniu) i może być wykonywana przez różne strony (producenta betonu, wykonawcę robót, nadzór, inwestora).

W zasadzie **obowiązkowa jest kontrola zgodności** betonu z kryteriami sformułowanymi w PN-EN 206, którą wykonuje **producent**. Inne kontrole betonu mają charakter **dobrowolny** i wynikają z braku zaufania do producenta betonu lub mogą być wymuszone np. zapisami specyfikacji projektowej czy wątpliwościami dotyczącymi jakości dostarczonego betonu. Stosuje się wtedy **badanie identyczności**, czyli sprawdzenie, czy określona objętość kontrolowanego betonu jest identyczna z tą, która w ramach oceny zgodności (wykonanej przez producenta) została zweryfikowana jako zgodna. Badanie identyczności leży po stronie **odbiorcy** betonu, **wykonawcy** robót lub **nadzoru** budowy. Ocena identyczności podlega innym kryteriom niż te, które stosuje producent do oceny zgodności. W przypadku, gdy niespełnione są

warunki zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie (o czym powinien powiadomić odbiorcę producent betonu) lub gdy stwierdzono błędy wykonawcze we wznoszonych konstrukcjach betonowych, pojawia się konieczność kontroli **betonu wbudowanego**, w którą z reguły zaangażowane są wszystkie strony procesu inwestycyjnego (projektant – specyfikujący, wykonawca robót, producent betonu, inspektor nadzoru). Kontrolę tę przeprowadza się wg zasad ujętych w normie **PN-EN 13791**.

Kontrola zgodności w ramach kontroli produkcji

Kontrola betonu na etapie produkcji odbywa się przez wprowadzony przez producenta system Zakładowej Kontroli Produkcji (ZKP). Bardzo istotnym zapisem normy PN-EN 206 jest to, że **każdy beton powinien podlegać kontroli produkcji, za którą odpowiedzialny jest producent**. Wynika z tego, że jeśli w końcowym efekcie w dokumentach dostawy zapisane jest, że beton jest zgodny z PN-EN 206, to jednocześnie z pełną odpowiedzialnością producent poświadcza, że wdrożył procedury **kontroli produkcji** szczegółowo opisane w normie. Kontrola produkcji obejmuje bowiem wszystkie działania i decyzje podejmowane wg zasad zgodności. Należą do nich m.in. projektowanie i produkcja betonu, kontrole i badania, wzorcowanie sprzętu i w końcu kontrola zgodności, której podlegają: wytrzymałość betonu na ściskanie; wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu i właściwości inne niż wytrzymałość.

Kontrola zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie dotyczy **poszczególnych składów** betonów (poszczególnych receptur) lub **rodzin betonów** o ustalonej odpowiedniości wykazanej przez producenta, rozróżniając przy tym **produkcję początkową** oraz **produkcję ciągłą**. Kontrola produkcji początkowej jest droższa, dlatego też istotne jest to, jak produkcja została zakwalifikowana. **Produkcja początkowa** obejmuje okres do momentu

otrzymania co najmniej **35 wyników** badań, natomiast **produkcję ciągłą** osiąga się wówczas, gdy uzyska się co najmniej **35 wyników** badań w okresie nieprzekraczającym **12 miesięcy**.

Próbki mieszanki betonowej należy wybierać losowo z betonów o odrębnych składach lub z każdej rodziny betonów produkowanych w warunkach uznanych za jednorodnie zgodnie z PN-EN 12350-1. **Minimalna częstotliwość** pobierania i badania próbek betonu powinna być zgodna z tabelą 1.

Miejsce pobierania próbek do badań zgodności ma być tak wybrane, aby odpowiednie właściwości betonu oraz jego skład nie zmieniały się w istotny sposób między miejscem pobierania próbek a miejscem dostawy. **Najbardziej wiarygodnym miejscem pobierania próbek do oceny zgodności, z punktu widzenia producenta betonu, jest miejsce dostarczenia (miejsce dostawy). Do tego momentu producent odpowiada za właściwości swojego wyrobu.**

Wynikiem badania może być wynik badania **pojedynczej** próbki lub **średnia** z wyników badania co najmniej dwóch próbek wykonanych z tej samej próbki mieszanki betonowej i badanych w tym samym wieku. Próbką mieszanki betonowej może być **punktowa** lub **złożona**. W PN-EN 12350-1 znajduje się zalecenie, aby próbka złożona pobrana z betoniarki samochodowej składała się z co najmniej czterech porcji.

Zgodność wytrzymałości betonu na ściskanie oceniana jest na próbkach dojrzewających 28 dni w warunkach laboratoryjnych (chyba że ustalono inaczej). Przy ocenie zgodności stosowane są **dwa kryteria zgodności**:

1) kryterium dotyczące **pojedynczych wyników** badania f_{ci} – stosowane bez względu na status produkcji (początkowa czy ciągła);

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

2) kryterium dotyczące **wyników średnich** badania f_{cm} – ujęte w trzy metody

¹⁾ Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej, Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury

²⁾ Centrum Technologiczne Budownictwa przy Politechnice Rzeszowskiej

* Autor do korespondencji:
e-mail: g.bajorek@ctb-prz.pl

Tabela 1. Minimalna częstotliwość pobierania próbek do oceny zgodności

Produkcja	Minimalna częstotliwość pobierania próbek		
	pierwsze 50 m ³ produkcji	po pierwszych 50 m ³ produkcji ^{a)} , największa częstotliwość z podanych:	
		beton z certyfikatem kontroli produkcji	beton bez certyfikatu kontroli produkcji
Początkowa (do momentu uzyskania co najmniej 35 wyników badań)	3 próbki	1/200 m ³ lub 1/3 dni produkcji ^{d)}	1/150 m ³ lub 1/dzień produkcji ^{d)}
Ciągła ^{b)} (po uzyskaniu co najmniej 35 wyników badań)	–	1/400 m ³ lub 1/5 dni produkcji ^{c,d)} lub 1/miesiąc kalendarzowy	

^{a)} pobieranie próbek powinno być rozłożone w czasie produkcji i nie zaleca się pobierania więcej niż jednej próbki z każdego 25 m³ mieszanki

^{b)} w przypadku, gdy odchylenie standardowe ostatnich 15 lub więcej wyników badania przekracza górne granice s_n wg tabeli 2, należy zwiększyć częstotliwość pobierania próbek do wymaganej w przypadku produkcji początkowej, do uzyskania następnych 35 wyników badań

^{c)} lub raz na tydzień kalendarzowy, gdy na 7 kolejnych dni kalendarzowych przypada więcej niż 5 dni produkcji

^{d)} definicja dnia produkcji powinna być określona w przepisach obowiązujących w miejscu stosowania betonu (norma PN-B 06265:2004 jako „Krajowe uzupełnienia PN-EN 206:2014-04” będzie definiowała dzień produkcji)

„A”, „B”, „C” w zależności od statusu produkcji – początkowa (metoda „A”) lub ciągła (metoda „B” lub wykorzystująca karty kontrolne metoda „C”).

Zgodność jest potwierdzona, jeśli oba kryteria są spełnione.

Metoda „A” dotyczy **produkcji początkowej**. Ocenie podlega średnia wytrzymałość wyliczona ze zbioru trzech kolejnych **nienakładających** się lub **nakładających** się wyników badania – tylko trzech i zawsze trzech. Wyliczana średnia wytrzymałość ma spełniać następujący warunek:

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

Metoda „B” dotyczy **produkcji ciągłej**. Ocenie podlega średnia wytrzymałość wyliczona ze zbioru co najmniej 15 wyników uzyskanych w **okresie oceny**, który ustalany jest w zależności od częstotliwości pobierania (badania) próbek, czyli od intensywności produkcji pojedynczego betonu lub rodziny betonów.

Wyliczana średnia wytrzymałość nienakładających się lub nakładających się zbiorów kolejnych wyników uzyskanych na pojedynczym betonie lub rodzinie betonów w **okresie oceny** musi spełnić następujący warunek:

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

Na koniec produkcji początkowej, a przed rozpoczęciem ciągłej, należy oszacować **odchylenie standardowe populacji** (σ) na podstawie co najmniej 35 kolejnych wyników badań uzyskanych w okresie przekraczającym 3 miesiące. Oszacowane w ten sposób odchylenie standardowe zostaje użyte do sprawdzenia zgodności w okresie pierwszej oceny w ramach produkcji ciągłej. Na koniec pierwszego i następnych okresów oceny sprawdza się, czy odchylenie standardowe z wyników (s_n), uzyskanych w danym okresie oceny,

nie zmieniło się znacznie w odniesieniu do wstępnie oszacowanego odchylenia standardowego (σ). Stosuje się w tym celu ograniczenia podane w tabeli 2. Jeśli odchylenie standardowe (s_n) nie zmieniło się znacznie (zmieściło się w przedziałach podanych w tabeli 2 w przypadku różnej liczby wyników branych do analizy), to w kolejnym okresie oceny stosuje się nadal oszacowane już wcześniej odchylenie standardowe (σ). Jeśli zmiany są znaczne i odchylenie standardowe (s_n) nie mieści się w przedziałach podanych w tabeli 2, należy obliczyć nową wartość odchylenia standardowego (σ) na podstawie ostatnich 35 (kolejnych) wyników badań. Ta wartość stosowana jest do analizy w **następnym okresie oceny**.

Metoda „C” dotyczy **produkcji ciągłej**, a produkcja betonu objęta jest **certyfikacją strony trzeciej**. Ocena zatytułowana w normie „Stosowanie kart kontrolnych” polega na wykorzystaniu uzgodnionych kart kontrolnych (załącznik H normy): kart sum skumulowanych (CUSUM) i kart Shewharta.

Systematycznie prowadzona kontrola wg metody „A” lub „B” umożliwia wy-

Tabela 2. Wartości do weryfikacji odchylenia standardowego

Liczba wyników badań	Granice s_n
15 do 19	$0,67\sigma \leq s_n \leq 1,37\sigma$
20 do 24	$0,68\sigma \leq s_n \leq 1,31\sigma$
25 do 29	$0,72\sigma \leq s_n \leq 1,28\sigma$
30 do 34	$0,74\sigma \leq s_n \leq 1,26\sigma$
35 ^{a)}	$0,76\sigma \leq s_n \leq 1,24\sigma$

^{a)} w przypadku liczby badań większej niż 35, stosuje się wzór:

$$\sqrt{\frac{\chi_{0,025;n-1}^2}{n-1}} \sigma \geq s_n \geq \sqrt{\frac{\chi_{0,975;n-1}^2}{n-1}} \sigma$$

gdzie:

$\chi_{\alpha;v}^2$; α – fraktyl rozkładu chi-kwadrat o $v = n - 1$ stopniach swobody

krycie partii niespełniających wymagań, ale nie pozwala na prognozowanie ich wystąpienia ani na podjęcie na czas odpowiednich działań zapobiegawczych. Zastosowanie statystycznej kontroli procesu produkcji z użyciem kart kontrolnych **eliminuje** te wady i pozwala na graficzne przedstawianie uzyskiwanych wyników kontroli przez tworzenie kart kontrolnych, natomiast monitorowanie wartości mierzonych umożliwia obserwowanie wszelkich odchyżeń od wartości założonych.

Przy projektowaniu kart kontrolnych zakłada się, że każdy proces poddawany jest działaniu czynników zakłócających: **naturalnych/losowych**, które są związane z procesem, czy charakterystyką produkowanego materiału (mają najczęściej rozkład zbliżony do normalnego) oraz **specjalnych** o działaniu silniejszym od czynników losowych. Mogą się one pojawiać przypadkowo (np. rozregulowanie wag) lub być stałym elementem procesu produkcji (np. zużycie okładzin mieszalnika).

Kontrola zgodności wytrzymałości betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu.

Ocenę przeprowadza się, bazując na podobnych założeniach jak w przypadku wytrzymałości na ściskanie, ale z drobnymi wyjątkami. Po pierwsze – robi się to tylko wtedy, gdy wytrzymałość betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu **jest wyspecyfikowana** (np. betony nawierzchniowe, betony posadzkowe itp.). Po drugie – nie stosuje się pojęcia rodziny betonów, a więc beton o różnym składzie należy oceniać oddzielnie.

Przy ocenie stosuje się **dwa kryteria zgodności**, w odniesieniu do:

- zbiorów n nienakładających się lub nakładających się kolejnych wyników badań przez wyliczoną wartość średnią wytrzymałości z n wyników badania $f_{ctm,sp}$ (**kryterium 1**);
- każdego pojedynczego wyniku badania $f_{cti,sp}$ (**kryterium 2**).

Zgodność z charakterystyczną wytrzymałością na rozciąganie przy rozłupywaniu $f_{ctk,sp}$ **jest potwierdzona**, jeśli wyniki badań spełniają **oba kryteria** podane w tabeli 3, odpowiednio w przypadku produkcji początkowej albo ciągłej.

Kontrola zgodności właściwości betonu innych niż wytrzymałość. Szczegółnej

znajomości wymagają zasady oceny zgodności dotyczące konsystencji i jednorodności, a także zawartości powietrza w mieszance betonowej. W związku z tym, że czas ewentualnej korekty tych właściwości jest bardzo krótki (trwa z reguły nie dłużej niż kilkadziesiąt minut) i dochodzi często

Tabela 3. Kryteria zgodności dotyczące wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu

Produkcja	Liczba <i>n</i> wyników w zbiorze	Kryterium 1	Kryterium 2
		średnia z <i>n</i> wyników $f_{ctm,sp}$ [N/mm ²]	dowolny pojedynczy wynik badania ($f_{cti,sp}$) [N/mm ²]
Początkowa	3	$\geq f_{ctk,sp} + 0,5$	$\geq f_{ctk,sp} - 0,5$
Ciągła	nie mniej niż 15	$\geq f_{ctk,sp} + 1,48\sigma$	$\geq f_{ctk,sp} - 0,5$

do nieporozumień pomiędzy dostawcą a odbiorcą (wykonawcą robót), który wspomagany jest przez inspektora nadzoru. Kończy się to na ogół nieuzasadnionym „wyrzuceniem gruszki” z budowy.

Należy zwrócić uwagę, że znowelizowana wersja PN-EN 206:2014-04 zawiera istotną zmianę podejścia do oceny zgodności właściwości mieszanki betonowej. Odstępiono bowiem od interpretacji oceny zgodności wg metody alternatywnej przy akceptowalnym poziomie jakości AQL = 15%.

Rozstrzygnięcie przy badaniu jest natychmiastowe, gdyż dyskwalifikacja dostawy następuje dopiero wtedy, gdy przekroczone są wartości powiększone o maksymalne dopuszczalne odchylenia. Norma zawiera też badania właściwości mieszanki betonowej betonów samozagęszczalnych SCC, ponieważ treść normy PN-EN 206-9 została wchłonięta przez normę PN-EN 206.

W ramach **kontroli zgodności** właściwości betonu innych niż wytrzymałość bada się dwie grupy właściwości:

■ **grupa 1** – kontrola zgodności właściwości dotyczących mieszanki betonowej (wg tabeli 4), tj.: konsystencji; lepkości; przepływalności; odporności na segregację; zawartości powietrza; jednorodności rozproszenia włókien w mieszance betonowej, jeśli są dodawane do betoniarki samochodowej;

■ **grupa 2** – kontrola zgodności właściwości pozostałych (wg tabeli 5), tj.: zawartości włókien stalowych w mieszance betonowej; zawartości włókien polimerowych w mieszance betonowej; gęstości betonu ciężkiego; gęstości betonu lekkiego; maksymalnego współczynnika woda/cement lub maksymalnego współczynnika woda/(cement + dodatek) lub maksymalnego współczynnika woda/(cement + k x dodatek); minimalnej zawartości cementu lub minimalnej zawartości (cement + dodatek), lub minimalnej zawartości (cement + k x dodatek).

Ocenę zgodności właściwości betonu innych niż wytrzymałość przeprowadza się wtedy, gdy są one **wyspecyfikowane**, czyli określone przez projektanta konstrukcji. Ocenę zgodności właściwości mieszanki betonowej zestawionych w **GRUPIE 1** wykonuje się zgodnie z tabelą 4 dla wyty-

powanych poszczególnych ładunków betonu, a rozstrzygnięcie o zgodności lub niezgodności następuje natychmiast po wyko-

Tabela 4. Ocena zgodności w miejscu dostawy dotycząca klas konsystencji, właściwości SCC, zawartości powietrza i jednorodności rozmieszczenia włókien w mieszance betonowej – GRUPA 1

Właściwość	Metoda badania lub metoda oznaczania	Minimalna liczba próbek lub oznaczeń	Maksymalna dopuszczalna odchyłka ^{a)} pojedynczych wyników badania w miejscu dostawy, od wartości granicznych lub w przypadku konsystencji granic wyspecyfikowanej klasy	
			dolna granica	górna granica
Wygląd	na podstawie oceny wizualnej porównanie wyglądu mieszanki betonowej z jej normalnym wyglądem	każdy zarób, a w przypadku dostaw samochodowych każdy ładunek	–	–
Opad stożka	EN 12350-2	i) częstotliwość jak podano w tabeli 1 w odniesieniu do wytrzymałości na ściskanie ii) przy badaniu zawartości powietrza iii) w przypadku wątpliwości przy ocenie wizualnej	-10 mm -20 mm ^{b)}	+10 mm +20 mm ^{b)}
Stopień zagęszczenia	EN 12350-4		-0,03 -0,04 ^{b)}	+0,03 +0,04 ^{b)}
Rozpływ	EN 12350-5	jeśli są wyspecyfikowane	-10 mm -20 mm ^{b)}	+10 mm +20 mm ^{b)}
Rozpływ stożka	EN 12350-8		nie dopuszcza się odchyłek	nie dopuszcza się odchyłek
Lepkość ^{c)}	EN 12350-8 lub EN 12350-9			
Przepływalność ^{d)}	EN 12350-10 lub EN 12350-12			
Odporność na segregację ^{e)}	EN 12350-11			
Zawartość powietrza w napowietrzanej mieszance betonowej ^{d)}	EN 12350-7 w przypadku betonu zwykłego i ciężkiego oraz ASTM C 173 w przypadku betonu lekkiego	1 próbka/dzień produkcji ^{e)}	-0,5% objętościowo	+5,0% objętościowo
Jednorodność rozproszenia włókien w mieszance betonowej, gdy włókna są dodawane do betoniarki samochodowej	jak dla badania i oceny identyczności w zakresie zawartości włókien i jednorodności mieszanki betonowej	częstotliwość ^{e)} jak podano w tabeli 1 w odniesieniu do wytrzymałości na ściskanie	jak w przypadku badania i oceny identyczności w zakresie zawartości włókien i jednorodności mieszanki betonowej	

- a) przy braku górnej lub dolnej granicy w odpowiednich klasach konsystencji, odchyłek nie stosuje się
 b) dotyczy wyłącznie konsystencji badanej na początku rozładunku betoniarki samochodowej lub urządzenia mieszającego
 c) z wyjątkiem przypadków, gdy przepisy obowiązujące w miejscu stosowania betonu wymagają wyższych minimalnych częstotliwości badań (np. wymogi Ogólnych Specyfikacji Technicznych)
 d) właściwość wymagana w celu zapewnienia mrozoodporności
 e) lepkość wyrażona czasem rozplywu stożka t_{500} lub czasem wypływu t_f mieszanki betonowej z V-lejka
 f) przepływalność badana metodą L-pojemnika lub metodą J-pierszcienia
 g) odporność na segregację badana metodą segregacji sitowej

nanym badaniu. Norma przewiduje także ocenę zgodności tych właściwości wg tabeli 6, wtedy gdy założono konkretne ich wartości, a nie przedziały jak w tabeli 4. Ocenę zgodności właściwości pozostałych, zestawionych w **GRUPIE 2**, przeprowadza się zgodnie z tabelą 5 w **okresie** oceny, który nie powinien przekraczać **6 miesięcy**.

Zaroby do badania należy wybierać **losowo**, a próbki mieszanki betonowej należy

Tabela 5. Kryteria zgodności dotyczące zawartości włókien, gęstości, maksymalnego współczynnika woda/cement i minimalnej zawartości cementu – GRUPA 2

Właściwość	Metoda badania lub metoda oznaczania	Minimalna liczba próbek lub oznaczeń	Liczba kwalifikująca	Maksymalna dopuszczalna odchyłka pojedynczych wyników badania od wartości granicznych, tolerancji wartości założonej lub granic wyspecyfikowanej klasy	
				dolna granica	górną granicą
Zawartość włókien stalowych w mieszance betonowej	EN 206 ^{a)}	1 oznaczenie na dzień	patrz tabela 7	-5% masowo	brak granicy ^{a)}
Zawartość włókien polimero-wych w mieszance betonowej	EN 206 ^{a)}	1 oznaczenie na dzień		-5% masowo	brak granicy ^{a)}
Gęstość betonu ciężkiego	EN 12390-7	jak w tabeli 1 w odniesieniu do wytrzymałości na ściskanie		-30 kg/m ³	brak granicy ^{a)}
Gęstość betonu lekkiego	EN 12390-7	jak w tabeli 1 w odniesieniu do wytrzymałości na ściskanie		-30 kg/m ³	+30 kg/m ³
Maksymalny współczynnik woda/cement, lub maksymalny współczynnik woda/(cement + dodatek) ^{b)} , lub maksymalny współczynnik woda/(cement + k x dodatek) ^{b)}	EN 206	1 oznaczenie na dzień		brak granicy ^{a)}	+0,02
Minimalna zawartość cementu, lub minimalna zawartość (cement + dodatek) ^{b)} , lub minimalna zawartość (cement + k x dodatek) ^{b)}	EN 206	1 oznaczenie na dzień		-10 kg/m ³	brak granicy ^{a)}

^{a)} chyba, że granice są określone w specyfikacji; ^{b)} zależnie od zastosowanej koncepcji dodatku; ^{c)} oznaczenie zawartości włókien w mieszance betonowej należy określić na podstawie wydruku z przyrządu rejestrującego skład betonu lub w przypadku niestosowania takiego sprzętu, na podstawie zapisu z produkcji w powiązaniu z instrukcją dozowania

pobierać zgodnie z PN-EN 12350-1. Próbkę pobiera się w przypadku każdej receptury lub rodziny betonów produkowanych w warunkach uznanych za jednorodne. **Minimalną** liczbę próbek oraz **metody badania** należy dobierać zgodnie z tabelami 4 i 5, przy czym minimalna liczba próbek przy ocenie zgodności gęstości betonu ciężkiego i lekkiego oraz ocenie zgodności konsystencji jest taka sama jak w przypadku oceny zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie przedstawionej w tabeli 1.

Zgodność z wymaganą właściwością **jest potwierdzona**, gdy:

- wszystkie pojedyncze wyniki badania znajdują się w granicach maksymalnych **dopuszczalnych odchyłek** podanych w tabelach 4 lub 5. Natomiast jeśli konsystencja i lepkość betonu samozagęszczalnego SCC (wyrażona czasem rozplywu mieszanki betonowej do średnicy 500 mm t_{500} , lub czasem wypływu mieszanki betonowej z V-lejka t_v) wyspecyfikowane są jako założone wartości, a nie klasy (jak w tabeli 4), wszystkie pojedyncze wyniki badania muszą znajdować się w ramach tolerancji dotyczącej **wartości założonych** określonych w tabeli 6;

Tabela 6. Kryteria zgodności dotyczące założonych wartości ^{a)} konsystencji i lepkości

Opad stożka			
Wartość założona [mm]	≤ 40	50 do 90	≥ 100
Tolerancja [mm]	± 10	± 20	± 30
Stopień zagęszczalności			
Wartość założona	≥ 1,26	1,25 do 1,11	≤ 1,10
Tolerancja	± 0,13	± 0,11	± 0,08
Średnica rozplywu			
Wartość założona [s]	wszystkie wartości		
Tolerancja [mm]	± 40		
Średnica rozplywu stożka SCC			
Wartość założona [mm]	wszystkie wartości		
Tolerancja [mm]	± 50		
Lepkość – czas rozplywu stożka mieszanki betonowej SCC – t_{500}			
Wartość założona [s]	wszystkie wartości		
Tolerancja [s]	± 1		
Lepkość – czas wypływu mieszanki betonowej SCC z V-lejka – t_v			
Wartość założona [s]	< 9	≥ 9	
Tolerancja [s]	± 3	± 5	

^{a)} wartości te stosuje się z wyjątkiem przypadków, gdy w Załączniku D normy PN-EN 206 dotyczącym dodatkowych wymagań dla betonu do specjalnych robót geotechnicznych lub w przepisach obowiązujących w miejscu stosowania betonu podano wartości alternatywne

- dodatkowo, w przypadku właściwości objętych **Grupą 2** (tabela 5) – **liczba wyników** badań, spoza określonych wartości granicznych lub granic klas lub tolerancji dla założonej wartości podanych w tabeli 5, **nie jest większa niż liczba kwalifikująca** w tabeli 7 ustalona dla akceptowalnego poziomu jakości AQL = 4%. Należy przy tym pamiętać, że zgodność tych właściwości betonu (Grupa 2) określa się przez **zliczenie wyników**, które leżą poza określonymi wartościami granicznymi lub granicami klas, lub tolerancjami dla zało-

Tabela 7. Liczby kwalifikujące dotyczące kryteriów zgodności podanych w tabeli 5

AQL = 4 %	
1 do 12	0
13 do 19	1
20 do 31	2
32 do 39	3
40 do 49	4
50 do 64	5
65 do 79	6
80 do 94	7
95 do 100	8

W przypadku, gdy liczba badań przekracza 100, odpowiednią liczbę kwalifikującą można przyjąć wg ISO 2859-1:1999, tablica 2-A

żonej wartości, **uzyskanych w okresie oceny**, nieprzekraczającym 6 miesięcy.

Działania podejmowane w przypadku niezgodności wyrobu.

W przypadku, gdy podczas kontroli zgodności stwierdzona zostanie przez producenta niezgodność (kontrola zgodności to obowiązek wyłącznie producenta!), norma nakazuje mu podjąć czynności systemowe związane z wyeliminowaniem błędów i skorygowanie procedur produkcji. Przede wszystkim jednak, jeśli niezgodność ze specyfikacją została potwierdzona, o czym nie wiadomo przy dostawie, gdyż np. w odniesieniu do wytrzymałości na ściskanie informacja taka jest pozyskiwana podczas badań po 28 dniach dojrzewania betonu, **producent ma obowiązek powiadomić!!!** o tym specyfikującego oraz wykonawcę, aby uniknąć negatywnych skutków niezgodności.

Badania i ocena identyczności

Obecna wersja normy, czyli PN-EN 206:2014-04 przewiduje badanie identyczności, które dotyczy: wytrzymałości betonu na ściskanie; konsystencji mieszanki betonowej; zawartości powietrza w mieszance betonowej; zawartości włókien i jednorodności mieszanki betonowej.

Ocena identyczności w zakresie wytrzymałości betonu na ściskanie **różni ją** od oceny zgodności przede wszystkim **liczbą wyników** w analizowanych zbiorach wyników. W ocenie zgodności zbiory mogą być dość obszerne. Analizowane dane to systematycznie dopisywane do zbioru wyniki, a ich liczbę ograniczają ustalone okresy oceny. Ocena identyczności natomiast ogranicza się do określonej, nie dużej, objętości betonu.

W ustaleniu planu pobierania próbek mieszanki betonowej pomocne są zapisy normy nakazujące określenie wyodrębnionej **objętości betonu**, która poddana będzie badaniu identyczności. Może to być np.:

- pojedynczy zarób lub ładunek (w przypadku wątpliwości związanych z jakością);
- beton dostarczony na każdą kondygnację budynku lub grupę belek, płyt czy słupów, ścian kondygnacji budynku, lub porównywalnych elementów innych konstrukcji;
- beton dostarczony na miejsce w ciągu jednego tygodnia, ale nie więcej niż 400 m³.

W następnej kolejności konieczne jest ustalenie liczby **próbek mieszanki betonowej** pobieranych z wyodrębnionej objętości mieszanki betonowej. Minimalna ich liczba uzależniona jest od rodzaju produkcji. W przypadku certyfikowanej kontroli produkcji (prowadzonej przez producenta) wystarczy pobranie tylko jednej próbki mieszanki betonowej. Natomiast w przypadku niecertyfikowanej kontroli produkcji, konieczne są co najmniej **3 próbki**. Różne są także kryteria oceny. Próbkę mieszanki betonowej do badania identyczności, tak jak do badania zgodności, należy pobrać z różnych zarobów lub ładunków zgodnie z PN-EN 12350-1. Mogą to być próbki punktowe lub złożone.

Identyczność betonu wytwarzanego w warunkach **certyfikowanej** kontroli produkcji ocenia się w przypadku każdego pojedynczego wyniku badania wytrzymałości oraz średniej z „n” nienakładających się pojedynczych wyników wg kryteriów podanych w tabeli 8. Uznaje się, że beton pochodzi z danej populacji, jeżeli dla „n” wyników badań wytrzymałości określonej objętości betonu spełnione są oba kryteria wg tabeli 8.

W przypadku betonu wytwarzanego w warunkach **niecertyfikowanej** kontroli produkcji w ocenie identyczności trzeba dysponować co najmniej trzema wynikami

Tabela 8. Kryteria identyczności dotyczące wytrzymałości na ściskanie w przypadku betonu wytwarzanego w warunkach certyfikowanej kontroli produkcji

Liczba „n” wyników badań wytrzymałości na ściskanie próbek pobranych z określonej objętości betonu	kryterium 1 średnia z „n” wyników (f_{cm}) [N/mm ²]	kryterium 2 dowolny pojedynczy wynik badania (f_{ci}) [N/mm ²]
1	nie stosuje się	$\geq f_{ck} - 4$
2 – 4	$\geq f_{ck} + 1$	$\geq f_{ck} - 4$
5 – 6	$\geq f_{ck} + 2$	$\geq f_{ck} - 4$

badań. Zalecone przez normę kryteria identyczności, to kryteria zgodności dotyczące produkcji początkowej – tabela 9, bez względu na to, czy producent dokonuje oceny produkcji początkowej czy ciągłej. Uznaje się, że beton pochodzi z danej populacji, jeżeli w przypadku „n” wyników badania wytrzymałości dla określonej objętości betonu spełnione są **oba kryteria** wg tabeli 9.

W ocenie nie uwzględnia się odchylenia standardowego. Celem badania identyczności nie jest bowiem sprawdzanie zmien-

Tabela 9. Kryteria identyczności dotyczące wytrzymałości na ściskanie w przypadku betonu wytwarzanego w warunkach niecertyfikowanej kontroli produkcji

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

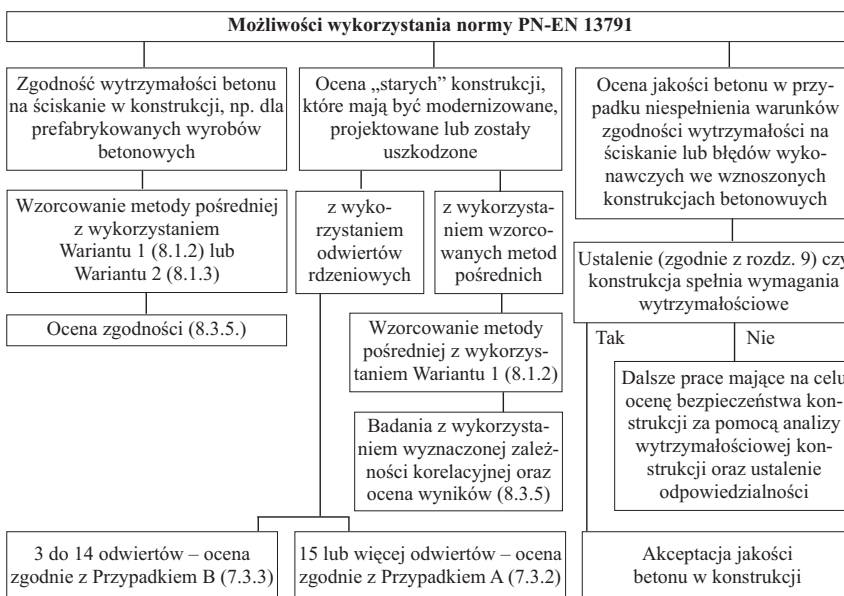
ności wyników, ale potwierdzenie (lub nie) przynależności określonej objętości betonu do tej samej populacji.

Kryteria badania i oceny identyczności konsystencji i zawartości powietrza oraz zawartości włókien i jednorodności mieszanki betonowej wykonywane przez odbiorcę betonu (wykonawcę robót, inspektora nadzoru itp.) są takie same jak w przypadku oceny przez producenta betonu w ramach kontroli zgodności.

Badanie betonu wbudowanego w konstrukcję w przypadku wątpliwości dotyczących jego jakości

Dość częstym zjawiskiem jest konieczność przeprowadzenia oceny betonu w konstrukcji w niedługim czasie po jego wbudowaniu. Optymalizacja procesów produkcyjnych betonu sprawia bowiem, że wbudowany beton dość często wykazuje złą jakość i nie spełnia wymagań normowych. W efekcie uzyskuje się produkt (element, konstrukcję), wobec którego rodzą się wątpliwości dotyczące zapewnienia parametrów narzuconych przez projektanta. Do prawidłowego przebiegu procesu badania, a później interpretacji uzyskanych wyników stosuje się zasady przedstawione w normie PN-EN 13791. Konieczność oceny wytrzymałości betonu świeżo wbudowanego w konstrukcję daje jedna z trzech możliwości („trzech ścieżek”) wykorzystania normy (rysunek).

„Ścieżka 3” (prawa na rysunku) obejmuje ocenę jakości betonu **w przypadku**



Schemat możliwości wykorzystania normy PN-EN 13791 do oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji (przywołanie numerów rozdziałów normy)

niepełnienia warunków zgodności wytrzymałości na ściskanie, którą przeprowadzono z użyciem próbek normowych lub wtedy, gdy dopatrzono się błędów wykonawczych w trakcie realizacji robót, np. z powodu braku zabezpieczeń przy betonowaniu w warunkach obniżonej temperatury, nieprawidłowo prowadzonego procesu zagęszczania, braku prawidłowej pielęgnacji dojrzewającego betonu itp. Ta „ścieżka” zajmuje się betonem świeżo wbudowanym w konstrukcję, wzbudzającym wątpliwości dotyczące jego jakości. Wątpliwości mogą dotyczyć **producenta** betonu, gdy zauważył niepełnienie kryteriów **zgodności** w ramach prowadzonej przez siebie Zakładowej Kontroli Produkcji lub gdy zostało to wykryte w ramach badań **identyczności** prowadzonych przez odbiorcę betonu (wykonawcę, inspektora nadzoru). Wątpliwości mogą być również adresowane do **wykonawcy** robót, gdy stwierdzono nieprawidłowości związane z procesami wbudowywania i pielęgnacji świeżo wykonanej konstrukcji. Chodzi wtedy o odpowiedź, czy *wbudowany beton można ostatecznie zaakceptować jako zgodny z zamówieniem?*

W zależności od **objętości** betonu poddanego analizom oraz w zależności od **ważności elementu** konstrukcyjnego, a w końcu od **świadomości** poszczególnych uczestników procesu budowlanego (projektant/specyfikujący, kierownik budowy, inspektor nadzoru, rzeczoznawca zaangażowany do oceny) konieczny będzie dobór odpowiednich badań – zarówno pod względem metody, jak i zakresu. Przedstawiono je w rozdziale 9 normy PN-EN 13791, wraz ze sposobem interpretacji wyników. Można wyróżnić trzy przypadki.

Przypadek 1 dotyczy sytuacji, gdy w danym miejscu pomiarowym, obejmującym wiele zarobów betonu wbudowanych w konstrukcję, możemy dysponować 15 lub więcej wynikami badań odwiertów rdzeniowych. Oceniając beton na podstawie takiej liczby odwiertów rdzeniowych, można uznać, że wytrzymałość w tym miejscu (w dużym elemencie, obiekcie) spełnia warunki zgodności określone w PN-EN 206, jeśli spełnione są dwie zależności:

$$f_{m(n),is} \geq 0,85 \cdot (f_{ck} + 1,48 \cdot s)$$

oraz

$$f_{is,lowest} \geq 0,85 (f_{ck} - 4)$$

gdzie:

$f_{m(n),is}$ – wytrzymałość średnia z n wyników badań;

$f_{is,lowest}$ – najmniejszy wynik badania wytrzymałości wśród n wyników badań;

s – odchylenie standardowe (s powinno być wartością wyliczoną lub równą $2,0 \text{ N/mm}^2$, w zależności od tego, która wartość jest większa);

f_{ck} – oczekiwana wytrzymałość charakterystyczna określona w projekcie (lub dowodzie dostawy betonu).

Przypadek 2 polega na ocenie betonu na podstawie badania co najmniej dwóch odwiertów rdzeniowych, ale dodatkowo przy użyciu metody pośredniej (z reguły sklerometrycznej wg PN-EN 12504-2, jako najłatwiejszej i najtańszej w stosowaniu), z której uzyskuje się co najmniej 15 wyników badania. Podobnie jak w Przypadku 1 oceniane miejsce pomiarowe obejmować może wiele wbudowanych w konstrukcję zarobów betonu i dotyczyć dużego elementu konstrukcyjnego bądź części lub całości obiektu, a nawet betonu na wiele obiektów w obrębie tej samej budowy – czyli betonu wbudowanego w dużych ilościach. Norma wymaga, aby Przypadek 2 stosować w sytuacji *porozumienia pomiędzy stronami*. Wynika to z dokładnej interpretacji zapisów normowych wskazujących, że metoda pośrednia, a w ślad za tym uzyskane wyniki badania nie muszą być uwiarygodnione *wzorcowaniem* metody. Te co najmniej 15 wyników badań uzyskanych z metody pośredniej służy do **wskazania co najmniej dwóch słabszych miejsc**, w których wykonane zostaną odwierty rdzeniowe. W zasadzie tylko wyniki badań odwiertów podlegają ocenie wg zależności:

$$f_{is,lowest} \geq 0,85 (f_{ck} - 4)$$

gdzie:

$f_{is,lowest}, f_{ck}$ – jak we wzorze dotyczącym Przypadku 1.

Jeśli spełniona jest ta zależność, to można uznać, że wytrzymałość w danym miejscu (dużym elemencie, obiekcie...) jest właściwa i spełnia warunki zgodności określone w PN-EN 206. Uzyskanie co najmniej 15 wyników badań z metody pośredniej, nawet bez jej wzorcowania, stanowi bardzo dobre narzędzie do ustalenia jednorodności wbudowanego betonu. Skoro norma PN-EN 13791 wskazuje 2 wyniki badań bezpośrednich jako minimalną liczbę wyników, a rozmiary konstrukcji spowodują, że wykonanych zostanie ich znacznie więcej, to można dążyć do wycięcia co najmniej 9 odwiertów rdzeniowych. Tyle par wyników „odwiert – metoda pośrednia” wystarczy, aby dokonać *wzorcowania przy wykorzystaniu ograniczonej liczby wyników badania*

odwiertów rdzeniowych oraz podstawowej krzywej regresji (metoda wzorcowania opisana szczegółowo w normie PN-EN 13791). Mając w pełni wiarygodne wyniki badań wykonanych metodą pośrednią, mogą one posłużyć do oceny betonu.

Przypadek 3 odnosi się do sytuacji, gdy wątpliwości dotyczą jakości niewielkiej ilości betonu, obejmującej jeden lub kilka zarobów. Mamy wtedy do czynienia z miejscem pomiarowym o niewielkich rozmiarach. Norma dopuszcza, by **osoba specyfikująca** beton wybrała, na podstawie doświadczenia, **dwa miejsca pobrania odwiertów rdzeniowych**. Wyniki ich badania podlegają ocenie wg zależności, która jest identyczna jak w Przypadku 2. Jeśli jest ona spełniona, to można uznać, że wytrzymałość w tym miejscu odpowiada wymaganiom:

$$f_{is,lowest} \geq 0,85 (f_{ck} - 4)$$

gdzie:

$f_{is,lowest}, f_{ck}$ – jak we wzorze dotyczącym Przypadku 1.

Oczekuje się, że projektant weźmie na siebie odpowiedzialność wyznaczenia miejsca o najbardziej prawdopodobnym zaniżeniu wytrzymałości betonu wbudowanego w konstrukcję lub miejsc najbardziej wycięzonych. Dokonana później ocena betonu na podstawie dwóch odwiertów jest analogiczna do szukania próbki o najniższej wytrzymałości $f_{c,min}$ wśród wyników otrzymanych na próbkach normowych w ramach oceny zgodności prowadzonej przez producenta betonu. Z kryterium normowego PN-EN 206 ($f_{c,min} \geq f_{ck} - 4 \text{ N/mm}^2$) wynika, że taki pojedynczy wynik może być aż o 4 N/mm^2 mniejszy niż wytrzymałość charakterystyczna betonu f_{ck} .

Odnosząc się do przypadków „2” i „3” stwierdzono, że jeśli uzna się, że w danym miejscu pomiarowym wytrzymałość odpowiada wymaganiom, to należy przyjąć, że populacja, z której pochodzi beton, spełnia warunki zgodności określone w PN-EN 206. Jak widać z ograniczeń dotyczących tych przypadków, decyzja o akceptacji metody oceny betonu oraz wyniku tej oceny powinna być podjęta na zasadzie porozumienia pomiędzy stronami oraz poparta doświadczeniem osoby odpowiedzialnej za bezpieczeństwo konstrukcji.

Przyjęto do druku: 16.09.2015 r.