

ALTERNATYWNE METODY OCENY ZGODNOŚCI WYTRZYMAŁOŚCI BETONU NA ŚCISKANIE DLA MAŁYCH GRUP WYNIKÓW BADAŃ

Elżbieta SZCZYGIELSKA^{a*}, Viktor TUR^b

^a Wydział Nauk Ekonomicznych i Technicznych, Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej, ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska

^b Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok

Streszczenie: W artykule przedstawiono dwa nowe kryteria zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie, które mogą stanowić alternatywę do oceny zgodności przeprowadzanej według zaleceń PN-EN 206:2014-04. Kryteria te zostały opracowane z wykorzystaniem statystyk porządkowych przy dotrzymaniu zalecanego przez ISO 12491:1997 poziomu ufności i dają możliwość przeprowadzenia oceny zgodności na podstawie małych grup wyników badań bez znajomości zarówno typu rozkładu wytrzymałości betonu na ściskanie w populacji, jak i odchylenia standardowego. Stosowanie nowych kryteriów pozwala na wyeliminowanie niepewności, jakie występują przy ocenie zgodności na etapie produkcji początkowej według PN-EN 206:2014-04. Zaprezentowana w artykule innowacyjna koncepcja oceny zgodności może zostać zastosowana również w ocenie identyczności dotyczącej wytrzymałości na ściskanie oraz przy opracowaniu wyników oceny wytrzymałości w istniejących konstrukcjach, przy wykonywaniu ekspertyz stanu technicznego budynków.

Słowa kluczowe: beton, kryteria zgodności, statystyki porządkowe.

1. Wprowadzenie

Zgodnie z zaleceniami PN-EN 206:2014-04 *Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*, producent betonu zobowiązany jest do deklarowania właściwości betonu zawartych w specyfikacji oraz dokumentowania wyników badań przeprowadzanych w ramach kontroli zgodności. Niewątpliwie najważniejszą z tych właściwości jest wytrzymałość na ściskanie, która jest podstawowym parametrem obliczeniowym przy projektowaniu konstrukcji.

W artykule został poruszony problem oceny zgodności betonu z deklarowaną przez producenta klasą wytrzymałości na ściskanie w sytuacji, kiedy zgodność orzekana jest na podstawie oceny małych zbiorów wyników badań.

W ujęciu ogólnym producent, deklarując zgodność dotyczącą wytrzymałości na ściskanie, zapewnia odbiorcę, że produkowany beton jest odpowiedniej klasy wskazanej w specyfikacji przez wytrzymałość charakterystyczną. W terminologii statystyki wytrzymałość charakterystyczna betonu (f_{ck}) jest kwantylem rzędu 0,05 w rozkładzie wytrzymałości na ściskanie. Zgodność z deklarowaną klasą wytrzymałości powinna być orzekana na końcu każdego z przyjętych przez producenta okresów oceny, po sprawdzeniu odpowiednich kryteriów, stosownie do etapu produkcji (początkowej lub ciągłej).

Na obu etapach produkcji sprawdzany jest każdy indywidualny wynik badania oraz średnia arytmetyczna. Kryterium dotyczące średniej, w przypadku produkcji początkowej, zostało oznaczone w znowelizowanej normie PN-EN 206:2014-04 jako metoda A, zaś w przypadku produkcji ciągłej – jako metoda B. Należy zaznaczyć, że producent nadal może oceniać zgodność stosując metodę A również w sytuacji, kiedy produkcja przejdzie w fazę ciągłą.

Norma PN-EN 206:2014-04 wprowadza także alternatywną metodę oceny zgodności na etapie produkcji ciągłej, polegającą na stosowaniu kart kontrolnych. Metoda ta, określona jako metoda C, rekomendowana jest do wytwórni betonu posiadających certyfikat zakładowej kontroli produkcji. Karty kontrolne Cusum zostały szczegółowo opisane przez Szczygielską i Tura (2015).

Jednak plan badań wrywkowych i normowa procedura oceny zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie, przeprowadzana na podstawie małej liczby wyników badań (etap produkcji początkowej), posiada pewne niedoskonałości, które opisywali, na przykład Beal (2009, 2014), Brunarski (2009) czy Skrzypczak (2013).

Główny problem związany jest z oceną statystyczną przeprowadzaną na podstawie bardzo małych zbiorów wyników badań (o liczebności 3) oraz ograniczonej informacji o badanej populacji.

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: e.szczygielska@dydaktyka.pswbp.pl

2. Problemy związane z oceną zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie przeprowadzanej na podstawie małej liczby wyników według PN-EN 206:2014-04

W przypadku stosowania podwójnych kryteriów na etapie produkcji początkowej ($f_{cm} \geq f_{ck} + 4$ oraz $f_{ci} \geq f_{ck} - 4$) wyniki badania wytrzymałości dzielone są na serie 3-elementowe. Serie te mogą się pokrywać lub nie, norma PN-EN 206:2014-04 dopuszcza oba podejścia. Zgodność za przyjęty okres oceny zostaje potwierdzona, gdy wszystkie serie spełniają jednocześnie oba kryteria. Należy podkreślić, że jeżeli producent ocenia zgodność na podstawie więcej niż jednej serii (na przykład gdy w okresie oceny uwzględnia 6 wyników), wówczas realizowany jest wielostopniowy plan badania, który wiąże się ze zwiększonym ryzykiem odrzucenia dobrej partii betonu (mniejsze prawdopodobieństwo akceptacji przy małej wadliwości).

Na przykład, wyniki przeprowadzonych badań własnych pokazały (Szczygielska, 2015), że jeżeli rzeczywista wadliwość (to jest odsetek wyników pomiaru wytrzymałości poniżej f_{ck}) wynosi 5% i odchylenie standardowe jest na poziomie 3 MPa, wówczas prawdopodobieństwo akceptacji (to znaczy że prawdopodobieństwo potwierdzenia deklarowanej klasy wytrzymałości), w przypadku oceny zgodności przeprowadzonej na podstawie jednej serii 3 elementowej wynosi 0,706. Natomiast, przy tym samym poziomie jakości produkcji (wadliwość 5% i odchylenie standardowe 3 MPa) prawdopodobieństwo akceptacji spada do wartości 0,498, gdy ocena zgodności przeprowadzana jest na podstawie dwóch niepokrywających się serii (6 wyników). W przypadku oceny zgodności na tych samych 6-u wynikach i pokrywających się seriach (cztery serie), prawdopodobieństwo akceptacji obniża się do poziomu 0,410. Oznacza to, że szanse na potwierdzenie deklarowanej klasy wytrzymałości w przypadku betonu spełniającego wymagania jakościowe spadają z poziomu około 70% do poziomu około 40-50%, w sytuacji kiedy producent zdecyduje się na przeprowadzenie oceny zgodności na podstawie dwukrotnie większej liczby wyników. Należy podkreślić, że poprawnie opracowany plan badań statystycznej kontroli jakości opartej na kontroli wyrzykowej powinien zapewnić wzrost prawdopodobieństwa akceptacji przy zwiększaniu liczby ocenianych wyników.

Kolejnym problemem związanym ze stosowaniem kryteriów właściwych dla etapu produkcji początkowej jest zależność prawdopodobieństwa akceptacji od odchylenia standardowego (Woliński i Skrzypczak, 2006). Paradoksalnie wzrost dyspersji wyników zwiększa szansę na spełnienie normowych kryteriów zgodności. Jest to kolejny argument przemawiający za tym, że ten plan badania zgodności opiera się na niewłaściwie dobranym kryterium. Podnoszenie poziomu jakości produkcji, scharakteryzowanej przez spadek wartości odchylenia standardowego, powinno zapewniać wzrost prawdopodobieństwa akceptacji.

Natomiast analiza średniej jakości po kontroli (Szczygielska, 2015) pokazała, że wymagania $AOQL \leq 5\%$ spełnia plan badania zgodności w przypadku, kiedy odchylenie standardowe nie przekracza 3 MPa (ocena na podstawie jednej serii 3-elementowej). Ponadto, jak przedstawiono w (Tur i in., 2014), kryterium $f_{ci} \geq f_{ck} - 4$ zaczyna wyraźnie wpływać na wynik oceny tylko przy znacznej dyspersji i wadliwości powyżej 15%.

Należy podkreślić również fakt, że stosowanie normowych kryteriów zgodności do oceny małych zbiorów wyników badań (poniżej 15 elementów) nie zapewnia kompromisu między ryzykiem odbiorcy a ryzykiem producenta, co jest wymagane przy opracowywaniu racjonalnych planów badania jakości. Ważnym zagadnieniem, dotychczas nie sygnalizowanym, jest również wpływ kształtu próbki (kostka czy cylinder) na wynik oceny zgodności. Gdyby producent betonu stosował próbki walcowe do oceny zgodności według normowej metody A, wówczas miałyby mniejsze szanse na potwierdzenie deklarowanej zgodności.

W związku ze zdiagnozowanymi niedoskonałościami kryteriów normowych, opracowano nową metodę oceny zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie, która z powodzeniem mogłaby zostać zaakceptowana w kraju jako alternatywna metoda w przypadkach, kiedy dysponuje się ograniczoną liczbą informacji o populacji, z której pochodzą wyniki (brak znajomości typu rozkładu prawdopodobieństwa oraz brak danych o odchyleniu standardowym w populacji). Należy wspomnieć, że opisana w artykule autorska metoda została zweryfikowana w warunkach produkcji, oraz że trwają prace nad jej wdrożeniem za granicą, w Białorusi (STB-EN 206:2014 (015 BY)) *Beton. Trebowania, swojstwa, proizvodstvo i sootvetstwie*.

3. Kryterium zgodności opracowane z wykorzystaniem statystyk porządkowych

Metoda wykorzystująca statystyki porządkowe do statystycznej kontroli jakości materiałów i wyrobów budowlanych rekomendowana jest w ISO 12491:1997 *Statistical methods for quality control of building materials and components*, jednak nie była dotychczas wykorzystywana przy opracowywaniu kryteriów zgodności. Zastosowanie statystyk porządkowych w ocenie zgodności betonu wymagało opracowania nowych estymatorów kwantyli niskich rzędów, gdyż obecnie znane formuły nie pozwalały na uzyskanie oceny estymatora poza zakresem próby empirycznej. Konieczne było opracowanie wzoru umożliwiającego ekstrapolację. Problem ten został rozwiązany przez Szczygielską (2015). Sformułowano dwie postacie oszacowania kwantyla rzędu 0,05, przy wykorzystaniu liniowej aproksymacji dwu i trzypunktowej do wyników poddanych transformacji logarytmicznej.

Z uwagi na dwie alternatywne metody wyznaczania estymatora wytrzymałości charakterystycznej betonu, nowa postać kryterium zgodności również została

przedstawiona w dwóch formach:

- CC2-A – kryterium zgodności oparte na aproksymacji dwupunktowej (*Conformity Criterion based on two-point Approximation*)
- CC3-A – kryterium zgodności oparte na aproksymacji trzypunktowej (*Conformity Criterion based on three-point Approximation*)

3.1. Kryterium CC2-A

Kryterium zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie opracowane przy zastosowaniu statystyk porządkowych i wykorzystaniu liniowej aproksymacji dwupunktowej (CC2-A) dla serii wyników o liczebności od 3 do 13 ma postać:

$$f_{c2} \geq f_{ck} + kR_{21} \quad (1)$$

gdzie: f_{ck} jest wytrzymałością charakterystyczną betonu, f_{c2} jest drugą wartością w uporządkowanej rosnąco serii wyników, k to współczynnik testowy (tab. 1), a R_{21} jest rozstępem między dwoma najmniejszymi wynikami, to znaczy $R_{21} = f_{c2} - f_{c1}$.

Ocena zgodności według kryterium CC2-A wymaga wyznaczenia dwóch minimalnych wyników w ocenianej serii i sprawdzenia kryterium (1), z odpowiednim współczynnikiem k . Współczynnik testowy k zależy od liczby wyników w serii (n) i został obliczony na podstawie formuły:

$$k = \frac{\ln(0,5/\beta_2)}{\ln(\beta_1/\beta_2)} \quad (2)$$

gdzie β_i oznacza prawdopodobieństwo $P(X_{i:n} \leq X_{0,05})$.

Szczegóły dotyczące wyrażenia współczynnika k za pomocą wzoru (2) przedstawiono w (Szczygielska i Tur, 2013), zaś jego wartości zawiera tabeli 1.

Ocena planu badania zgodności metodą CC2-A, przeprowadzona metodą symulacji Monte Carlo pokazała, że prawdopodobieństwo akceptacji nie zależy od odchylenia standardowego ani od typu rozkładu w populacji. Przy wadliwości 5% i $n = 3$ prawdopodobieństwo akceptacji wynosi 0,705 a uzyskana wartość jest zbliżona do prawdopodobieństw akceptacji (P_a) otrzymanych w (Woliński i Skrzypczak, 2006) dla normowych kryteriów na etapie produkcji ciągłej ($P_a = 0,715$ dla $\sigma = 2$ MPa, $P_a = 0,702$ dla $\sigma = 6$ MPa).

Tab. 1. Wartości współczynnika k w zależności od liczby wyników n w serii

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
k	1,421	1,384	1,344	1,304	1,264	1,223	1,183	1,143	1,103	1,062	1,021

Tab. 2. Wartości współczynników k_1 i k_2 w zależności od liczby wyników n w serii

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
k_1	0,948	0,946	0,933	0,917	0,900	0,882	0,864	0,846	0,828	0,810	0,792
k_2	0,400	0,390	0,386	0,384	0,383	0,382	0,382	0,381	0,381	0,380	0,380

W ocenie zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie przy wykorzystaniu kryterium CC2-A producent sam decyduje, ile wyników będzie oceniał i zawsze będzie to plan jednostopniowy. Ponadto, im większa będzie wartość n , tym „lepszy” będzie plan badania zgodności. Wymagania AOQL $\leq 5\%$ są spełnione już przy $n = 5$.

3.2. Kryterium CC3-A

Druga postać nowego kryterium zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie (CC3-A) wykorzystuje oszacowanie wytrzymałości charakterystycznej betonu wyznaczone z trzech najmniejszych wyników badań otrzymanych w okresie oceny. Kryterium zgodności CC3-A dla serii wyników o liczebności od 3 do 13 ma postać:

$$f_{c3} \geq f_{ck} + k_1R_{31} + k_2R_{32} \quad (3)$$

gdzie: f_{ck} jest wytrzymałością charakterystyczną betonu, f_{c3} jest trzecią wartością w uporządkowanej rosnąco serii wyników, k_1 i k_2 to współczynniki testowe (tab. 2) zaś $R_{31} = f_{c3} - f_{c1}$ oraz $R_{32} = f_{c3} - f_{c2}$ oznaczają rozstępy między odpowiednimi najmniejszymi wynikami (trzecim i pierwszym oraz trzecim i drugim).

Do opracowania kryterium (3) wykorzystano autorski estymator kwantyla rzędu 0,05 (${}^E X_{0,05}$), wyrażony jako kombinacja liniowa trzech minimalnych wyników w uporządkowanej rosnąco serii:

$${}^E X_{0,05} = k_1 X_{1:n} + k_2 X_{2:n} + k_3 X_{3:n} \quad (4)$$

ze współczynnikami k_1 i k_2 z tabeli 2. Współczynnik $k_3 = 1 - (k_1 + k_2)$.

Przy wyznaczaniu oszacowania kwantyla (4) przyjęto model liniowej funkcji regresji dla punktów o odciętych poddanych transformacji logarytmicznej. Równanie prostej regresji dopasowano do trzech punktów $(\ln \beta_1, X_{1:n})$, $(\ln \beta_2, X_{2:n})$, $(\ln \beta_3, X_{3:n})$. Oszacowanie kwantyla rzędu 0,05 jest wartością tej funkcji dla argumentu 0,5.

Kryterium zgodności CC3-A w porównaniu z CC2-A pozwala na obniżenie ryzyka producenta przy małych wadliwościach produkowanego betonu (na przykład dla wadliwości 5% i $n = 3$, $P_a = 0,755$).

Ponadto, przeprowadzone badania pokazały, że przy stosowaniu kryterium CC3-A do oceny zgodności, wymagania AOQL są spełnione już od $n = 6$. Oznacza to, że zgodność zostanie potwierdzona gdy $f_{c3} \geq f_{ck} + 0,917R_{31} + 0,384R_{32}$.

Według przyjętej metodologii wraz ze wzrostem liczby wyników w okresie oceny następuje przemieszczanie się oczekiwanego oszacowania dopuszczalnej wadliowości (Szczygielska, 2015). W związku z tym, zmienia się zarówno postać kryterium, jak i współczynniki testowe.

Na przykład kryterium CC3-A w przypadku oceny zgodności na podstawie $n = 15$ wyników przyjmuje postać: $f_{c4} \geq f_{ck} + 0,824R_{42} + 0,506R_{43}$, zaś dla serii o liczebności $n = 35$ postać $f_{c5} \geq f_{ck} + 1,101R_{53} + 0,228R_{54}$.

4. Weryfikacja nowego kryterium zgodności

Jedną z metod weryfikacji planów badania zgodności jest wykorzystanie funkcji operacyjno-charakterystycznych (OC) z uwzględnieniem granic stref zagrożeń wprowadzonych przez Taerwe, określających obszar nieekonomiczny i niebezpieczny. Wykresy funkcji OC powinny przebiegać między granicami tych stref.

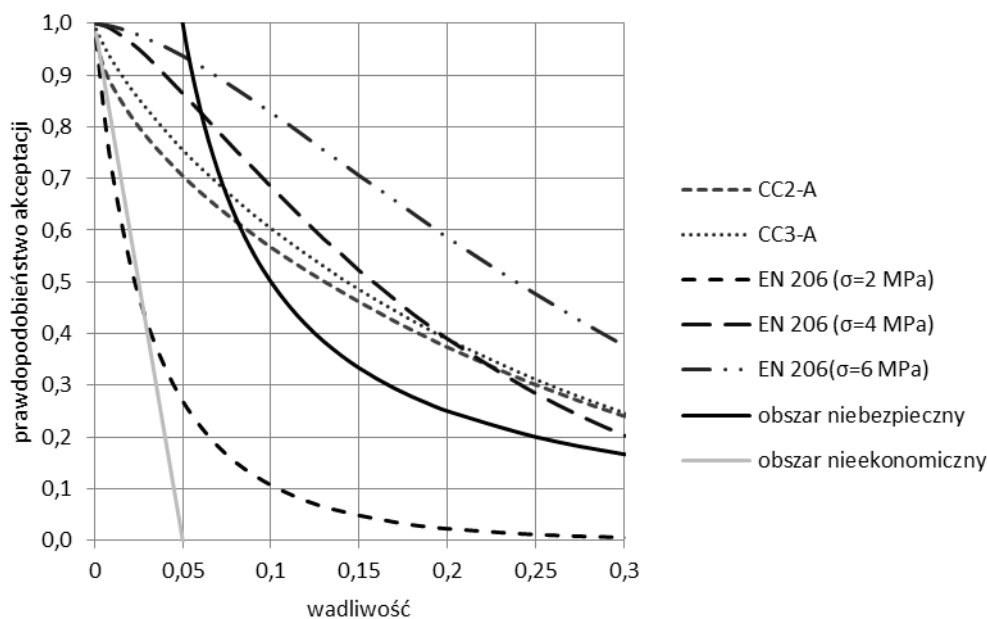
Według wymagań ISO 12491:1997 plan kontroli wrywkowej powinien być tak dobrany, aby w jednakowym stopniu zabezpieczał interesy producenta i odbiorcy. Ryzyko producenta jest tu rozumiane jako ryzyko związane z negatywnym wynikiem oceny zgodności „dobrych” partii betonu, to znaczy spełniających wymagania wytrzymałościowe. Jak wynika

z przebiegu krzywych OC (rys. 1), kiedy stosuje się kryteria normowe, wysokiemu ryzyku producenta może towarzyszyć niskie ryzyko odbiorcy (przypadek $\sigma = 2$ MPa) i odwrotnie, niskiemu ryzyku producenta – wysokie ryzyko odbiorcy (na przykład przy $\sigma = 6$ MPa). Gdyby ocenę zgodności przeprowadzono według kryteriów CC2-A lub CC3-A na małych zbiorach wyników badań, możliwe byłoby zaprojektowanie składu mieszanki betonowej pod wymaganą średnią wytrzymałość tak, aby te ryzyka były zrównoważone.

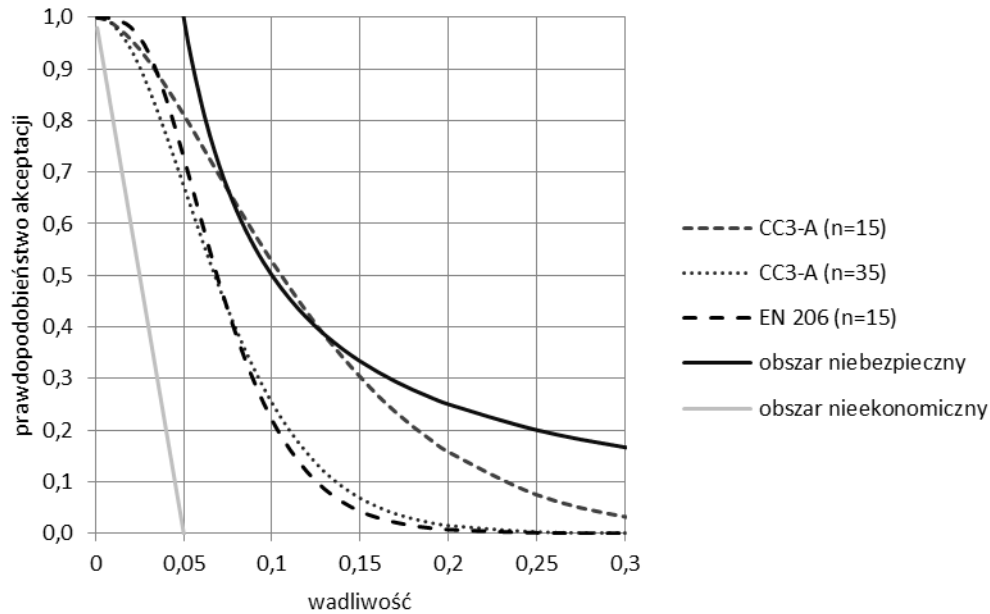
Ponadto, ocena zgodności przeprowadzona według kryteriów CC2-A i CC3-A pozwala przewidzieć ryzyko odbiorcy związane z zakupem betonu niespełniającego wymagań wytrzymałościowych. Normowe kryteria nie stwarzają takiej możliwości, ponieważ ryzyko zarówno producenta jak i odbiorcy, zależy od odchylenia standardowego, które nie jest znane na etapie produkcji początkowej.

Należy podkreślić, że przy ocenie zgodności według kryteriów CC2-A i CC3-A zwiększenie liczby wyników w okresie oceny prowadzi do obniżenia ryzyka związanego z „odrzuconiem” dobrych partii betonu, które zbliża się do poziomu, jaki występuje przy ocenie zgodności na etapie produkcji ciągłej według podwójnego kryterium PN-EN 206:2014-04 (metoda B) przy jednostopniowym planie badania dla $n = 15$.

Moc dyskryminacyjna alternatywnych kryteriów zgodności zwiększa się wraz ze wzrostem liczby wyników w okresie oceny. W przypadku planu badania zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie przy zastosowaniu kryterium CC3-A wpływ ten przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Krzywe OC planów badania zgodności według PN-EN 206:2014 oraz nowych kryteriów zgodności dla grup wyników o liczebności $n = 3$ z uwzględnieniem stref zagrożeń



Rys. 2. Krzywe OC planów badania zgodności według PN-EN 206:2014 ($n = 15$, metoda B) oraz nowego kryterium zgodności CC3-A ($n = 15$ i $n = 35$)

5. Podsumowanie

Opracowana metodologia zmienia podejście do badania zgodności na etapie produkcji początkowej. Stosowanie nowych kryteriów zgodności opracowanych przy wykorzystaniu statystyk porządkowych nie wymaga podziału zbioru wyników zgromadzonych w okresie oceny na serie o liczebności $n = 3$. Ocena zgodności może być przeprowadzana na podstawie całego zbioru dostępnych wyników. Kiedy beton produkowany jest w małych objętościach, producent często nie ma możliwości spełnienia wymagań, jakie norma PN-EN 206:2014-04 stawia produkcji ciągłej. Oceniając zgodność według normowych kryteriów dla produkcji początkowej narażony jest na wysokie ryzyko zakwalifikowania „dobrej” partii betonu jako niezgodnej z deklarowaną klasą wytrzymałości, gdy proces produkcji przebiega stabilnie, tzn. w warunkach niskich odchyłach od średniej. Ocena zgodności według nowej metody pozwoli zabezpieczyć producenta przed popełnieniem błędu pierwszego rodzaju, czyli odrzuceniem betonu faktycznie spełniającego wymagania wytrzymałościowe, niezależnie od odchylenia standardowego.

Główną zaletą zaproponowanych kryteriów zgodności jest to, że są uzasadnione statystycznie i pozwalają na wyeliminowanie niepewności związanych z oceną zgodności w warunkach produkcji początkowej. Wynik oceny zgodności przeprowadzonej z wykorzystaniem nowych kryteriów nie zależy ani od typu rozkładu ani też od kształtu próbek pobranych w celu uzyskania indywidualnego wyniku badania.

Zaprezentowane nowe podejście do oceny zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie jest uniwersalne. Opracowana procedura obliczania estymatora kwantyla z wykorzystaniem statystyk porządkowych może zostać zastosowana również w ocenie identyczności betonu dotyczącej wytrzymałości na ściskanie oraz przy ocenie

wytrzymałości betonu w istniejących konstrukcjach, na przykład przy wykonywaniu ekspertyz stanu technicznego budynków, a także wszędzie tam, gdzie występuje ograniczony dostęp do informacji na temat badanego zjawiska.

Literatura

- Beal A.N. (2009). Concrete strength testing - are the code writers getting it right?. *The Structural Engineer*, Vol. 87, No. 10, 73.
- Beal A.N. (2014). Concrete specification and testing – is BS EN 206 fit for purpose?. *Concrete*, Vol. 48, No. 3, 35-36.
- Brunarski L. (2009). Podstawy matematyczne kształtowania kryteriów zgodności wytrzymałości materiałów. *ITB*, Warszawa.
- Skrzypczak I. (2013). Analiza kryteriów oceny jakości betonu oraz ich wpływu na ryzyko producenta i odbiorcy. *OWPRz*, Rzeszów.
- Szczygielska E. (2015). Kryterium zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie opracowane na podstawie statystyk porządkowych. Rozprawa doktorska, *Politechnika Białostocka*, Białystok.
- Szczygielska E., Tur V. (2013). Kryterium zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie opracowane na podstawie statystyk porządkowych. *Budownictwo i Architektura*, Vol. 12 (3), 223-230.
- Szczygielska E., Tur V. (2015). Problemy związane z zastosowaniem kart kontrolnych Cusum do oceny zgodności betonu w świetle PN-EN 206:2014-04. W: *Nowoczesne materiały, Techniki i technologie we współczesnym budownictwie, II Konferencja Naukowo-Techniczna TECH-BUD`2015*, PZITB, Kraków, 309-318.
- Tur V., Derečennik S.S., Szczygielska E., Derečennik A.S. (2014). Statičeskij kontrol" pročnosti betona na szatie v sootvetstvii s trebovaniami STB EN 206-1:2000 i GOST 18105-2010 (EN 206-1:2000; NEQ). *Vestnik BGTU*, Vol. 85, No 1, 113-136.

Woliński S., Skrzypczak I. (2006). Kryteria statystyczne zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie. *Materiały Budowlane*, nr 402 (2), 20-25.

ISO 12491:1997 Statistical methods for quality control of building materials and components. European Standard, CEN.

STB-EN 206:2014 (015 BY) - Beton. – Trebowania, swojstwa, proizvodstvo i sootwetstwie (1-st.Draft) – 2015 (in Russian).

ALTERNATIVE METHODS OF THE CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH COMPLIANCE ASSESSMENT BASED ON SMALL GROUPS OF TEST RESULTS

Abstract: The article presents two new compliance criteria for assessment of the conformity concrete compressive strength, which can be used as an alternative method to the conformity assessment procedure in accordance with PN-EN 206: 2014-04. These criteria were developed using order statistics, when fulfilled, recommended by ISO 12491: 1997 confidence level and make it possible to assess compliance based on small groups of test results without the prior information about the type of PFD and the standard deviation. The application of the new criteria allows to eliminate the uncertainty that occur when the compatibility of concrete compressive strength at the initial production stage according to PN-EN 206: 2014-04 is assessing. Presented a new method can also be used in the identity testing of compressive strength and assessment of concrete strength in the existing structures.