

Our observations suggest that *Legionella* species should be considered when examining environmental contamination, which is essential to better evaluate environmental risk factors and select the most appropriate prevention and control measures. We do not believe disinfecting measures at the domestic level are needed, considering that our retrospective study on pneumonia in residents did not show a relevant evidence of risk in colonized buildings.

Acknowledgements. This work was funded by the project VEGA 1/2653/05 and with due acknowledgement of NATO support ESP.NUKR.CLG 982978.

1. *New Test Enables Rapid Detection of Legionella*, Severn Trent Services, Inc. Published Aug. 2, 2007
2. Tobin JO, Beare J, Dunnill MS, Fisher-Hoch S, French M, Mitchell RG, et al. Legionnaires' disease in a transplant unit: isolation of the causative agent from shower baths. *Lancet* 1980; 2: 118–21.
3. Sabria M, Yu VL. [Hospital-acquired legionellosis: solutions for a preventable infection.](#) *Lancet Infect Dis* 2002; 2: 368–73.
4. Pedro-Botet ML, Sabria-Leal M, Sopena N, Manterola JM, Morera J, Blavia R, et al. [Role of immunosuppression in the evolution of Legionnaires' disease.](#) *Clin Infect Dis* 1998; 26:14–9.
5. Straus WL, Plouffe JF, File TM, Lipman HB, Hackman BH et al. [Risk factors for domestic acquisition of legionnaires disease.](#) *Arch Intern Med* 1996; 156:1685–92.
6. Frade Jamie Bartram, Yves Chartier, John V Lee, Kathy Pond and Susanne Surman-Lee: *LEGIONELLA and the prevention of legionellosis*,2007.
7. Borella P, Montagna MT, Romano-Spica V, Stampi S, Stancanelli G, Triassi M, et al. *Environmental diffusion of Legionella spp. and legionellosis frequency among patients with pneumonia: results of a multicentric Italian survey.* *Ann Ig* 2003; 15: 493–503.
8. W.G. van der Schee,: *Regulation on Legionella prevention in collective water system*, CIB W062,2005
9. *European Guidelines for Control and Prevention Travel Associated Legionnaires' Disease*, EWGLINET.

Wolinski Sz.

Rzeszow University of Technology,
Faculty of Civil and Environmental Engineering
Poland, 35-959, Rzeszow, 2 Poznanska St.
E-mail: szwolkkb@prz.edu.pl

OCENA ZGODNOŚCI WŁAŚCIWOŚCI BETONU

© Wolinski Sz., 2007

The subject of this paper are methods and criteria of conformity for the ready mixed concrete properties. Using the Monte Carlo simulation method sampling plans recommended in codes, based upon the acceptable quality level (AQL) and statistical criteria have been analyzed. The analyses show that in cases of small sample sizes these criteria can produce an undesired effects to the both producer and contractor. An approach based on assessing the risk of producer and contractor is also discussed in the paper.

Wprowadzenie. Najstarszą definicję jakości przypisuje się Platonowi, który określił ją jako pewien stopień doskonałości. Współcześnie, w kategoriach filozoficznych przyjmuje się, że jakość oznacza właściwość, rodzaj, gatunek, wartość danego przedmiotu czy zjawiska, która posiada cechy obiektywne, mierzalne, oraz subiektywne, oceniane indywidualnie. Natomiast w różnych dziedzinach nauki i techniki, w szczególności w naukach ekonomicznych i naukach o zarządzaniu, jakość jest różnie definiowana i oceniana. Na przykład, w normie ISO 9001:2000 przyjęto, że jakość oznacza „stopień, w jakim zbiór inherentnych cech spełnia wymagania”. Zawężając zakres rozważań do obiektów budowlanych, w normie

ISO 2394:1998 [1] jakość zdefiniowano jako: „wszystkie cechy charakterystyczne pewnej całości, (np. robót budowlanych), która ma zdolność spełniania ustanowionych i zamierzonych potrzeb, tj. wszystkich bezpośrednich i pośrednich wymagań.” W normie PN-EN 1990 [2] zamieszczono jedynie następujące zalecenie związane z jakością: „W celu wykonania konstrukcji, odpowiadającej wymaganiom i założeniom przyjętym w projekcie, zaleca się podjęcie odpowiednich środków zarządzania jakością”. Z kolei w normie PN-EN 206-1:2003 [3] zamieszczono wymagania dotyczące „procedur kontroli produkcji oraz kryteriów zgodności i oceny zgodności” betonu używanego do konstrukcji wykonywanych na placu budowy, konstrukcji i elementów prefabrykowanych.

Działania związane z uzyskaniem odpowiedniej jakości elementów i obiektów budowlanych obejmują: zarządzanie jakością, zapewnienie jakości oraz kontrolę jakości i zgodności. Zarządzanie jakością obejmuje wszystkie działania podejmowane w celu określenia planu, zadań, podziału odpowiedzialności i wdrożenia systemu jakości. Zapewnienie jakości obejmuje wszystkie przedsięwzięcia niezbędne do uzyskania odpowiedniego stopnia pewności, że zostaną spełnione wymagania dotyczące jakości. Różnorodne działania wpływające na jakość konstrukcji na etapie projektowania, realizacji, utrzymania, napraw i rozbiórki obiektu budowlanego tworzą tzw. pętlę jakości. Kontrola jakości polega na sprawdzaniu, mierzeniu bądź testowaniu jednej lub większej liczby charakterystyk produktu (materiałów, wyrobów, elementów, konstrukcji) i porównaniu wyników z wyspecyfikowanymi wymaganiami w celu potwierdzenia zgodności. Generalnie, kontrola jakości obejmuje trzy etapy: a) gromadzenie informacji, b) formułowanie ocen na podstawie zgromadzonych informacji, c) podejmowanie decyzji na podstawie ocen.

Procedury kontroli jakości w procesach wytwarzania materiałów, wyrobów i elementów oraz wykonawstwa konstrukcji mają na celu kontrolę procesów produkcji i sterowanie tymi procesami (kontrola produkcji), oraz kontrolę zgodności materiałów, wyrobów i elementów z obowiązującymi normami lub innymi dokumentami normatywnymi (kontrola zgodności). Wyróżnia się kontrolę pełną, kiedy sprawdza się wszystkie produkty i kontrolę wrywkową (najczęściej statystyczną), kiedy kontroli podlega jedynie wybrany podzbiór produktów. Zasady weryfikacji umożliwiają kwalifikację ocenianego produktu jako dobrego (akceptowanego) lub wadliwego (nieakceptowanego). Ilościowe kryteria weryfikacji są zazwyczaj określone z założoną tolerancją.

Niniejsza praca dotyczy zagadnień kontroli zgodności charakterystyk betonu towarowego, decydującej o akceptacji lub odrzuceniu partii tego materiału. Przedstawiono zasady normowej oceny zgodności opartej na statystycznej ocenie alternatywnej i liczbowej. Wykazano niedostatki i wady metod statystycznych i sformułowano propozycje ich modyfikacji oparte na podziale ryzyka.

Zasady i kryteria normowej oceny jakości betonu. Badanie i ocena zgodności danych wyjściowych z modelem matematycznym zjawiska są przedmiotem wniosku statystycznego (WS). Eksperyment losowy można opisać modelem parametrycznym lub nieparametrycznym. Wnioskowanie statystyczne służy, przede wszystkim, do identyfikacji miary probabilistycznej decydującej o ocenie wyników badań.

W normie PN-EN 206-1 [3] sformułowano zalecenia dotyczące kontroli produkcji, kontroli zgodności, oceny zgodności i identyczności. Kontrola produkcji obejmuje wszystkie pomiary konieczne do zachowania określonych właściwości betonu, wykonywane podczas: doboru materiałów, projektowania betonu, produkcji betonu, sprawdzania i badania składników betonu, mieszanki betonowej, sprzętu do produkcji i transportu mieszanki, oraz kontrolę zgodności. Kontrola zgodności obejmuje działania i decyzje podejmowane według zasady zgodności, przyjętej przed sprawdzeniem zgodności betonu ze specyfikacją, plan pobierania i badania próbek oraz ocenę zgodności na podstawie określonych w normie kryteriów. Kontrola identyczności ma na celu określenie, czy określone objętości betonu pochodzą z tej samej populacji generalnej.

Zarówno kontrola produkcji, jak zgodności i identyczności mają charakter wrywkowy i najczęściej statystyczny. O statystycznym charakterze kontroli decydują: losowy sposób pobierania próbek oraz zgodny z zasadami statystyki matematycznej sposób opracowania wyników badań i wniosku na ich podstawie. Wyniki badań muszą być jednoznacznie, obiektywnie zdefiniowane. Nie ma natomiast

znaczenia, czy opis badanych właściwości ma charakter ilościowy (statystyka kwantytatywna), czy jakościowy (statystyka kwalitatywna). Standardowa procedura kontroli statystycznej obejmuje następujące działania:

- 1) Podział badanej objętości materiału bezkształtnego na porcje, lub wyrobów na partie.
- 2) Ustalenie planu pobierania próbek do badań i ich liczebności; w normach budowlanych określono minimalne liczby próbek i zalecaną, najczęściej stałą częstość pobierania próbek w czasie produkcji, czyli stały stosunek liczby próbek do objętości materiału lub liczby wyrobów, chociaż nie zawsze jest to zasada najlepsza [4].
- 3) Badania próbek, rejestracja i przechowywanie wyników zgodnie procedurami podanymi w odpowiednich normach.
- 4) Statystyczna analiza wyników badań i ocena zgodności lub identyczności, według jednej z dwóch podstawowych metod:
 - a) alternatywnej, polegającej na porównaniu liczby próbek m nie spełniających wymagań w próbie n – elementowej, z liczbą kwalifikującą j , określoną dla tolerowanej wadliwości $w = AQL$ (Accepted Quality Level) i liczby wyników badań zawartej w przedziale $(n_1 \div n_2)$:

$$m \leq j(w) \quad \text{dla } n \in (n_1, n_2) \quad (1)$$

- b) liczbowej, opartej na pojedynczym lub podwójnym kryterium związanym z estymatorami wartości średniej \bar{x}_n , najmniejszej x_{\min} lub średniej i najmniejszej wartości badanej właściwości z próby:

$$\bar{x}_n \geq x_{ck} + k_1 \quad \text{lub} \quad x_{\min} \geq x_{ck} - k_2 \quad (2)$$

$$\bar{x}_n \geq x_{ck} + k_1 \quad \text{i} \quad x_{\min} \geq x_{ck} - k_2 \quad (3)$$

$$\bar{x}_n \geq x_{ck} + t\sigma \quad \text{i} \quad x_{\min} \geq x_{ck} - k_3 \quad (4)$$

gdzie x_{ck} - wartość charakterystyczna (kwantyl) badanej właściwości, k_1, k_2, k_3 – stałe (współczynniki testowe), t – współczynnik tolerancji (zależny od założonego poziomu ufności p i typu rozkładu zmiennej losowej X), σ - odchylenie standardowe zmiennej losowej X .

- 5) Klasyfikacja badanej objętości materiału lub ilości wyrobów; uznanie wyrobu lub materiału za spełniający wymagania dotyczące jakości lub za niezgodny z wymaganiami.
- 6) Ustalenie procedur postępowania w przypadku niezgodności wyrobu lub materiału.

Ocena alternatywna. Ocena alternatywna jest oparta na najprostszym pojedynczym planie kontroli wadliwości w , polegającym na obliczeniu liczby braków m (próbek nie spełniających wymagań) i orzeczenia, że badana populacja jest zgodna z wymaganiami, jeśli $m \leq j$, albo, że jest niezgodna z wymaganiami, jeśli $m > j$. Prawdopodobieństwo zdarzenia polegającego na tym, że liczba braków jest nie większa od ustalonej liczby kwalifikującej podlega dystrybucji Bernoulliego:

$$P(m \leq j, w, n) = \sum_{j=0}^n \binom{n}{j} w^j (1-w)^{n-j} \quad (5)$$

Wykresy zależności prawdopodobieństwa zgodności od wadliwości dla ustalonej liczebności próby n i liczby braków m w próbie noszą nazwę krzywych operacyjno – charakterystycznych (krzywych OC) dla pojedynczego planu statystycznego badania wadliwości.

W normie PN-EN 206-1 [3] stosowanie metody alternatywnej zaleca się do oceny zgodności właściwości betonu recepturowego i normowego, innych niż wytrzymałość. Tolerowaną wadliwość w przypadku kontroli zgodności konsystencji ustalono na poziomie $w = AQL = 0,15$ (15%), a w przypadku właściwości innych niż wytrzymałość i konsystencja na poziomie $w = AQL = 0,04$ (4%). Aby zilustrować skutki przyjętych w normie założeń dotyczących tolerowanych wadliwości $w = AQL$, liczebności próby n i liczb kwalifikujących j , w Tablicy 1 przedstawiono wartości prawdopodobieństwa potwierdzenia zgodności obliczone dla prób statystycznych o liczebności n , wybranych wartości zalecanych w normie PN-EN 206-1 [3] liczb kwalifikacyjnych i wadliwości $w = 0,15$ i $0,04$.

Prawdopodobieństwo potwierdzenia zgodności na podstawie oceny alternatywnej

Liczebność próby n	Liczba kwalifikująca j	Prawdopodobieństwo potwierdzenia zgodności
$AQL = w = 0,15$		
1	0	0,8500
2	0	0,7230
3	1	0,9426
4	1	0,9026
5	2	0,9756
6	2	0,9585
7	2	0,9383
8	3	0,9815
:	:	:
12	3	0,9317
13	5	0,9875
:	:	:
19	5	0,9626
:	:	:
80	21	0,9970
:	:	:
100	21	0,9796
$AQL = w = 0,04$		
1	0	0,9600
2	0	0,9232
3	0	0,8894
4	0	0,8584
5	0	0,8301
6	0	0,8043
:	:	:
9	0	0,7403
:	:	:
12	0	0,6936
13	1	0,9203
:	:	:
19	1	0,8633
:	:	:
95	8	0,9908
:	:	:
100	8	0,9607

Wyniki obliczeń wskazują, że prawdopodobieństwo potwierdzenia zgodności na podstawie oceny alternatywnej dla założonej wadliwości, ustalonych przedziałów liczebności próby i dla ustalonej liczby kwalifikującej jest zmienne i maleje ze wzrostem liczebności próby, w szczególności dla prób o małej liczebności i małych wartościach tolerowanej wadliwości.

Statystyczna ocena liczbowa. Kryteria zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie sformułowano w normie CEB-FIP Model Code z 1978 roku [4], a ich postać została zachowana we współczesnych normach dotyczących betonu. Mają one postać wzorów (2), (3) i (4). Wartości stałych k_1 , k_2 , λ w poszczególnych normach są bardzo zróżnicowane i najczęściej różne dla produkcji początkowej i ciągłej oraz dla betonu jednego rodzaju i rodziny betonów. Poniżej zestawiono przykładowe wartości tych stałych: CEB-FIP MC: 1978 [4]: dla $n = 3$; $k_1 = k_2 = 3$ MPa, dla $n \geq 15$; $\lambda = 1,4$, $k_2 = 4$ MPa, PN-EN 206-1: 2003 [3]: kryteria zgodności:

dla $n = 3$; $k_1 = k_2 = 4$ MPa, dla $n \geq 15$; $\lambda = 1,48$, $k_2 = 4$ MPa,

kryteria identyczności:

dla $n = 1$; $k_2 = 4$ MPa (kryterium dla średniej należy pominąć),

dla $2 \leq n \leq 4$; $k_1 = 1$ MPa, $k_2 = 4$ MPa,

dla $5 \leq n \leq 6$; $k_1 = 2$ MPa, $k_2 = 4$ MPa,

IPQ-CT104: 1993 [5]: dla $n = 3$; $k_1 = 5$ MPa, $k_2 = 1$ MPa,

dla $n \geq 6$; λ zmienia się od 1,87 (dla $n=6$) do 1,48 (dla $n=15$),

$k_2 = 3$ MPa (dla $6 \leq n \leq 9$),

$k_2 = 4$ MPa (dla $10 \leq n \leq 15$).

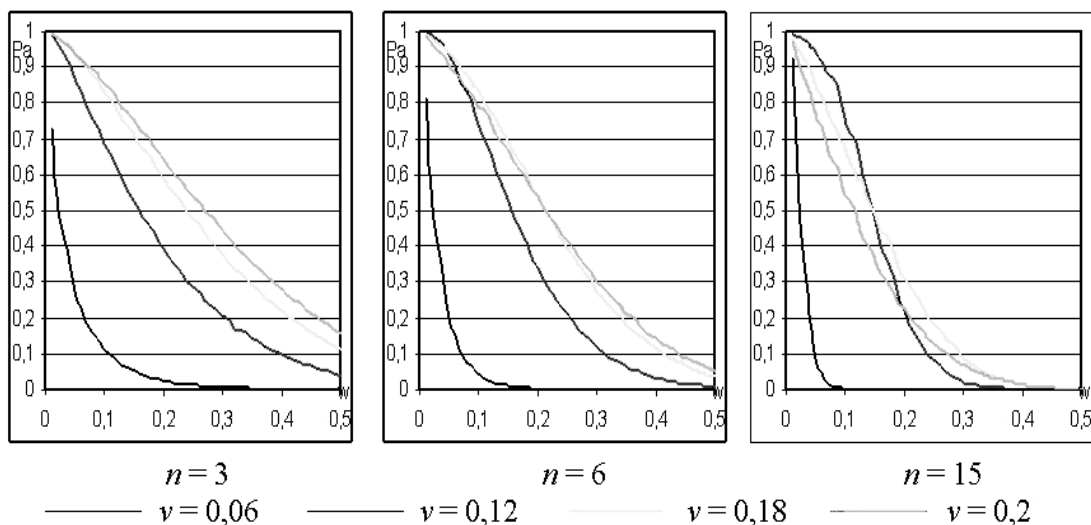
W przypadku pojedynczych kryteriów związanych z wartością średnią lub najmniejszą z próby (2), obliczenie prawdopodobieństwa potwierdzenia zgodności od wadliwości: $P(w)$, czyli krzywych operacyjno – charakterystycznych (krzywych OC) jest bardzo proste. Zastosowanie pojedynczego kryterium zgodności typu $\bar{x} \geq f_{ck} + \lambda s$, analizowane m.in. przez J. Murzewskiego [6] i L. Taerwe [7] umożliwia oszacowanie wartości λ w zależności od liczebności próby n . Według obliczeń L. Taerwe [7] dla niezależnych wyników badań wartości λ należy przyjmować w przedziale od 1,753 dla $n = 3$, do 1,318 dla $n = 15$, a dla statystycznie zależnych wyników badań, w przedziale od 2,67 do 1,48. Natomiast w przypadku kryteriów podwójnych typu (3) i (4) nie jest dotąd znane rozwiązanie analityczne i jedynym sposobem obliczania krzywych OC jest zastosowanie jednej z metod symulacji losowej, np. metody Monte Carlo.

Tok postępowania w przypadku zastosowania metody Monte Carlo można przedstawić w następujący sposób: założyć klasę betonu i typ rozkładu prawdopodobieństwa wytrzymałości (normalny, logarytmnormalny, Weibulla, lub inny), wygenerować n – elementowe grupy liczb losowych o odpowiednio dużej liczebności, dla ustalonych wadliwości w obliczyć wartości poszukiwanych współczynników testowych k_1, k_2 dla przyjętych kryteriów zgodności, skonstruować histogramy ich rozkładów i obliczyć prawdopodobieństwa potwierdzenia zgodności.

Oznaczając przez: A - zdarzenie losowe polegające na tym, że $\bar{x}_n \geq f_{ck} + k_1$, B - zdarzenie losowe polegające na tym, że $x_{min} \geq f_{ck} - k_2$, i \bar{A}, \bar{B} - zdarzenia losowe przeciwne do A, B , każdą grupę wylosowanych wartości wytrzymałości o liczebności N , można zaliczyć do jednego z czterech wzajemnie wykluczających się podzbiorów $AB, \bar{A}\bar{B}, A\bar{B}, \bar{A}B$. Prawdopodobieństwo potwierdzenia zgodności można obliczyć według zależności [7]:

$$P_a = P(AB) \Rightarrow P_a = 1 - P(\bar{A}\bar{B}) - P(A\bar{B}) - P(\bar{A}B) \quad (6)$$

Na rys.1 przedstawiono wykresy zależności OC dla podwójnego kryterium zgodności (3), $k_1 = k_2 = 4$ MPa, normalnego rozkładu wytrzymałości betonu, czterech różnych wartości współczynnika zmienności $v = 0,06, 0,12, 0,18$ i $0,20$, oraz różnych liczebności próby $n = 3, 6$ i 15 .



Rys. 1. Krzywe OC dla podwójnego kryterium zgodności, różnych współczynników zmienności wytrzymałości betonu i różnych liczebności próby [8]

Analiza wyników obliczeń prawdopodobieństwa potwierdzenia zgodności P_a wskazuje na istotne wady zalecanych w normach statystycznych kryteriów zgodności, w szczególności w przypadku prób o małej liczebności $n = 2 \div 6$. Najważniejszą wadą tych kryteriów jest to, że zwiększenie liczebności próby n powoduje zmniejszenie wartości P_a , natomiast wzrost zmienności wytrzymałości $v = s / \bar{x}_n$ powoduje wzrost wartości P_a .

Ryzyko związane z oceną zgodności. Ryzyko jest miarą zagrożenia definiowaną jako kombinacja prawdopodobieństwa i skutków zajścia niepożądanego zdarzenia. Zagrożenie E_i oznacza możliwość wystąpienia zdarzenia powodującego utratę życia, zdrowia ludzi i/lub straty materialne, społeczne, ekologiczne. W przypadku losowego charakteru zagrożeń E_i są one traktowane jako zdarzenia losowe a ryzyko R jest wielkością zdeterminowaną lub losową i można je obliczyć za pomocą wzoru:

$$R = \sum_{i=1}^n p(E_i) D_i \quad (7)$$

gdzie $p(E_i)$ to prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia E_i , będącego zdarzeniem losowym a D_i oznacza stratę związaną z wystąpieniem tego zdarzenia. Straty, również te związane z utratą życia lub zdrowia ludzi, wycenia się najczęściej w jednostkach monetarnych.

W przypadku oceny zgodności właściwości betonu, ryzyko ponosi nie tylko producent i odbiorca betonu, którym jest najczęściej wykonawca konstrukcji, ale także inwestor, użytkownik obiektu budowlanego oraz, w przypadku katastrofy budowlanej, całe społeczeństwo. Dysproporcje skutków zagrożenia związanego z podjęciem błędnej decyzji są oczywiste i znaczne. Zalecenia zawarte w obecnie obowiązujących normach uwzględniają jedynie ryzyko producenta. Ryzyko odbiorcy pozostaje niesprecyzowane. Zasada równości uczestników gry rynkowej sugeruje, że kryteria oceny zgodności powinny uwzględniać racjonalny i świadomy podział ryzyka. Dyrektywa Unii Europejskiej dotycząca normalizacji umożliwia traktowanie wymogów zawartych w normach jako minimalnych. Odbiorca betonu może uzgodnić z dostawcą warunki, które pozwalają na świadomy wybór poziomu ryzyka.

Jedną z możliwych strategii jest zrównanie ryzyka odbiorcy i producenta. Zakładając, że są znane ewentualne straty producenta D_{pr} wskutek dyskwalifikacji partii betonu spełniającej przyjęte wymagania (błąd oceny I rodzaju, którego prawdopodobieństwo wystąpienia wynosi $\psi_{pr} = 1 - P_a$), i straty odbiorcy D_{od} wskutek przyjęcia betonu nie spełniającego wymagań (błąd oceny II rodzaju, o prawdopodobieństwie wystąpienia ψ_{od}), warunek równego ryzyka umożliwia oszacowanie wartości P_a i przyjęcie odpowiedniego planu kontroli zgodności.

Podsumowanie. Prawdopodobieństwo potwierdzenia zgodności na podstawie oceny alternatywnej dla założonej wadliwości, ustalonych przedziałów liczebności próby i dla ustalonej liczby kwalifikującej jest zmienne i maleje ze wzrostem liczebności próby, w szczególności dla prób o małej liczebności i niskiej wadliwości. W rezultacie ocena alternatywna umożliwia podjęcie próby przybliżonego zrównoważenia interesów producenta i odbiorcy betonu.

Analiza wyników obliczeń prawdopodobieństwa potwierdzenia zgodności metodą statystycznej oceny liczbowej wskazuje na poważne wady tej metody, w szczególności w przypadku prób o małej liczebności $n = 2 \div 6$. Podstawową wadą tej metody jest to, że zwiększanie liczebności próby powoduje zmniejszenie wartości prawdopodobieństwa potwierdzenia zgodności, natomiast zwiększenie zmienności badanej właściwości powoduje zwiększenie jego wartości. Może to skłaniać producentów do wyboru absurdalnej strategii produkcji polegającej na zwiększaniu wartości średniej i rozrzutu kontrolowanej właściwości betonu.

Uzgodnienie akceptowalnego ryzyka producenta i odbiorcy betonu, np. założenie równego ryzyka obu stron, pozwala na oszacowanie prawdopodobieństwa potwierdzenia zgodności i wybór odpowiedniego planu kontroli, zarówno w przypadku oceny alternatywnej, jak i statystycznej oceny liczbowej.

1. ISO 2394:1998 *General principles on reliability for structures*. 2. PN-EN 1990:2002 *Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji*. 3. PN-EN 206-1:2003 *Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*. 4. CEB-FIP *Model Code*, 1978. CEB *Bulletin d'information*, No.124-125, (E), 1978. 5. IPQ-CT104, NP ENV 206 – *Concrete, performance, production, placing and compliance criteria*. Instituto Portugues da Qualidade, 1993. 6. Murzewski J.: *Bezpieczeństwo konstrukcji budowlanych*. Arkady, Warszawa, 1970. 7. Taerve L.: *Evaluation of compound compliance criteria for concrete strength*. RILEM, *Materials and Structures*, Vol. 21, 1988. 8. Woliński Sz., Skrzypczak I.: *Kryteria statystyczne zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie*. *Materiały Budowlane*, Nr 5/2006, s.20-25.