

dr hab. inż. Izabela Skrzypczak, prof. PRz¹⁾
ORCID: 0000-0003-0978-3040

Statystyczna kontrola jakości prefabrykowanych wyrobów betonowych

Statistical quality control of precast concrete products

DOI: 10.15199/33.2022.05.01

Streszczenie. Zastosowanie elementów prefabrykowanych pozwala na skrócenie czasu realizacji inwestycji oraz zmniejszenie wielkości placu budowy. Prefabrykacja pozwala na typizację i modularyzację elementów konstrukcyjnych, co umożliwia ich seryjną produkcję, a tym samym obniża koszt ich wytwarzania. Powszechność stosowania prefabrykatów betonowych spowodowała, że konkurencja na rynku materiałów budowlanych wymaga od ich producentów nie tylko bardzo dobrej jakości oferowanych produktów, ale również elastycznej polityki cenowej. Realizacja tych celów jest możliwa przez optymalizację procesu wytwarzania, dzięki stosowaniu statystycznej kontroli jakości na każdym etapie produkcji oraz optymalizację stosowanych materiałów i jakości produkowanych wyrobów.

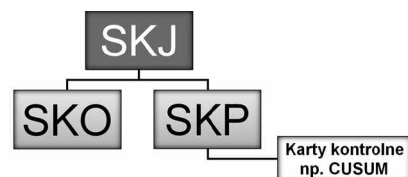
Słowa kluczowe: statystyczna kontrola jakości; prefabrykaty betonowe; plany badań; ocena alternatywna.

Abstract. The use of prefabricated elements allows to shorten the investment implementation time, as well as to reduce the size of the construction site. Prefabrication allows for typing and modularization of construction elements, which enables serial production and reduces its costs. Due to the widespread use of prefabrication, competition in the building materials market requires manufacturing companies not only to offer high-quality products, but also a flexible pricing policy. The achievement of these aims is possible through the optimization of the production process, thanks to the use of statistical quality control at every stage of production, and the optimization of both the materials used and the quality of the precast products.

Keywords: statistical quality control; precast concrete; acceptance sampling plans; alternative assessment.

Zakłady prefabrykacji betonowej, by utrzymać się na rynku, muszą nie tylko gwarantować bardzo dobrą jakość produkowanych wyrobów, ale również sprzedawać je w cenach atrakcyjnych dla klienta. Konieczne więc jest szacowanie kosztów kontroli związanych z planem odbiorczym jeszcze przed jego wprowadzeniem. Przedsiębiorstwa produkcyjne muszą prowadzić kontrolę odbiorczą partii produktów zgodnie z planem, który gwarantuje założony stopień jakości, przy jak najniższych kosztach (rysunek 1).

Kontrolę odbiorczą ze względu na mierzone i obliczane parametry oraz sposób ich oceny dzieli się na:



Rys. 1. Schemat Kontroli Jakości [1]

Fig. 1. Quality Control Scheme [1]

¹⁾ Politechnika Rzeszowska; Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury; izas@prz.edu.pl

- kontrolę na podstawie oceny alternatywnej – partię wyrobów poddanych kontroli należy uznać za zgodną z wymaganiami, jeżeli liczba elementów niezgodnych w badanej próbce nie przekracza liczby kwalifikującej;

- kontrolę na podstawie oceny liczbowej – partię wyrobów poddanych kontroli uznaje się za zgodną z wymaganiami, jeżeli policzona statystyka jakości nie przekracza liczby kwalifikującej k .

W przypadku oceny mocy dyskryminacyjnej (skuteczności) planów badań wyrównanych pomocne jest porównanie dotyczące spełniania przez nie zadań przy różnych możliwych poziomach jakości. Wybierając plany odbioru na podstawie badań poszczególnych partii zawierających wadliwe sztuki, należy zdecydować, jakie ryzyko można ponieść w danym przypadku, przy czym jest to najczęściej decyzja o charakterze ekonomicznym. Przy odbiorach partiami zgodnie z oceną alternatywną, wartość ryzyka przyjęcia partii, zawierających określony procent wadliwych sztuk, podaje krzywa OC danego planu odbioru.

Statystyczna kontrola odbiorcza zgodnie z oceną alternatywną

Najprostszy jest plan pojedynczy (jednostopniowy), polegający na klasyfikowaniu każdej sztuki wyrobu jako dobrej albo wadliwej. Przez jakość partii rozumie się wtedy iloraz $j = (n-k)/n$, gdzie n jest liczebnością partii, w której jest k sztuk wadliwych, natomiast wadliwością partii nazywamy $w = k/n$. Liczbę k nazywamy liczbą kwalifikującą, a plan oznaczamy symbolem $k \parallel n$, gdzie n – liczba wyników badań [2, 3].

Głównym celem wyrównkowej kontroli odbiorczej wyrobów jest określenie, czy partia, z której pochodzi pobrany element, spełnia założone wcześniej wymagania jakościowe, a więc czy można ją uznać za zgodną z tymi wymaganiami. W przypadku gdy badany element nie spełnia wymagań, wówczas należy wdrożyć procedurę postępowania z wyrobem niezgodnym. Partię wyrobów uznaje się za zgodną z wymaganiami, jeśli obliczona tzw. statystyka jakości nie przekracza stałej kwalifikującej k , zależnej od określonej wartości

akceptowanej jakości AQL oraz od liczności próbki – elementów pobranych [4, 5].

Zgodnie z zaleceniami normy [6] niezgodności (wady) należy sklasyfikować pod względem ich ważności. Zwyczaj stosuje się podział niezgodności na istotniejsze – klasy A i mniej istotne – klasy B. W przypadku wprowadzenia klas niezgodności należy również wprowadzić różne wartości AQL (wadliwości dopuszczalnej) – bardzo małe wartości AQL w klasie A i większe wartości AQL w klasie B, co zapewni, że niezgodności istotniejsze będą kontrolowane ostrzej.

W trakcie kontroli produkcji element prefabrykowany do badań pobierany jest z każdej wyprodukowanej partii. Partię uznaje się za zgodną z wymaganiami, jeżeli liczba jednostek niezgodnych nie przekracza liczby kwalifikującej A_c .

$$k \leq A_c$$

gdzie:

k – liczba elementów niezgodnych na 10 elementów pobranych;

A_c – stała kwalifikująca, dyskwalifikacyjna liczba jednostek niezgodnych.

Plan badania i procedury kontroli metodą liczbową określa m.in. norma [7], komplementarna w stosunku do [6]. Badania odbiorcze przeprowadza się, przyjmując określony poziom kontroli, ściśle powiązany z wielkością partii i liczbą pobranych próbek. Norma [8] podaje trzy ogólne poziomy kontroli – I, II i III oraz cztery poziomy specjalne – S-1, S-2, S-3 i S-4. Jeśli w normach przedmiotowych nie ma konkretnych zapisów, to na ogół przyjmuje się dane dotyczące poziomu II. W przypadku gdy wymagana jest ostrzejsza kontrola, należy zastosować poziom III, a gdy łagodniejsza – poziom I. Specjalne poziomy kontroli wykorzystywane są, gdy wymagana jest mała liczba próbek do badań (np. niszczące badanie wytrzymałości), a równocześnie toleruje się duże ryzyko związane z kontrolą wyrzawkową. Takie sytuacje występują w przypadku kontroli prefabrykowanych wyrobów betonowych. Liczbę próbek pobranych do badań można zmniejszyć, stosując również warunki przejścia pomiędzy poszczególnymi poziomami kontroli.

Procedury kontroli

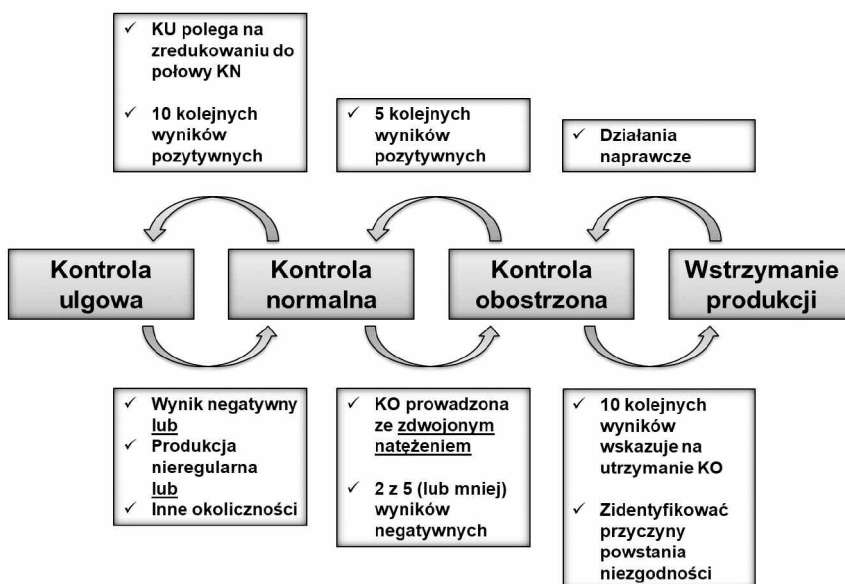
Współczesne normy dotyczące prefabrykowanych wyrobów betonowych zalecają stosowanie kontroli odbiorczej metodami statystycznymi. Dodatkowym wymaganie [9] jest obowiązek oznakowania CE większości z tych wyrobów. Z obowiązkiem tym wiąże się konieczność m.in. ustalenia typu wyrobu oraz jego właściwości użytkowych i prowadzenia Zakładowej Kontroli Produkcji (ZKP). Obejmuje ona nie tylko bezpośrednią kontrolę wyrobu, ale również wszelkie aspekty związane z produkcją i nadzorem nad nią [11 ÷ 13].

Dodatkowo normy przedmiotowe dotyczące prefabrykowanych wyrobów betonowych (np. PN-EN 13369:2018-05) [14] podkreślają, że jeżeli producent ma w przedsiębiorstwie system zarządzania jakością zgodny z ISO 9001:2015-10 [15] oraz uwzględni wymagania norm przedmiotowych, to spełnia on wymagania dotyczące wdrożenia i prowadzenia Zakładowej Kontroli Produkcji. Natomiast norma ISO 9001:2015-10 [15] w rozdziale 9 (punkt 9.1.3) dotyczącym oceny efektów działania, zaleca stosowanie metod statystycznych do analizy i oceny danych, m.in. oceny zgodności oferowanym produktom.

Przykład alternatywnych planów odbiorczych prefabrykowanych wyrobów betonowych. Normy branżowe

zalecają stosowanie alternatywnych planów odbiorczych w przypadku wszystkich prefabrykowanych wyrobów betonowych. Kontrolę jakości prefabrykowanych wyrobów betonowych, kontrolę odbiorczą rozpoczyna się zawsze od kontroli normalnej, a następnie gdy poziom produkcji jest wystarczająco dobry, można zastosować kontrolę ulgową, która charakteryzuje się mniejszą liczbą próbek wymaganych do badań oraz mniejszą stałą kwalifikującą k . W przypadku betonowych wyrobów prefabrykowanych normy przedmiotowe zalecają pozostawienie niezmięnionej stałej kwalifikującej k , natomiast można zmniejszyć liczbę próbek. Rysunek 2 przedstawia warunki przejścia pomiędzy poziomami kontroli wytrzymałości prefabrykowanych elementów betonowych zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 13369:2018-05 [14]. Każde przejście z poziomu ostrzejszego na łagodniejszy skutkuje zredukowaniem natężenia kontroli w trakcie produkcji.

Przejścia między poszczególnymi poziomami kontroli są sformułowane w normach przedmiotowych dotyczących konkretnych prefabrykowanych wyrobów betonowych, np. zgodnie z normą [16], kontrola płyt brukowych obejmuje: kontrolę wizualną wyglądu wyrobu, pomiar kształtu i wymiarów

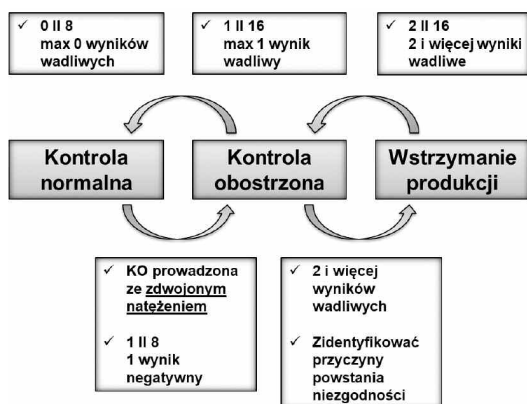


Rys. 2. Warunki przejścia między poziomami kontroli wytrzymałości prefabrykowanych elementów betonowych zgodnie z PN-EN 13369:2018-05 [14]

Fig. 2. Conditions for the transition between the levels of strength control for precast concrete elements according to PN-EN 13369:2018-05 [14]

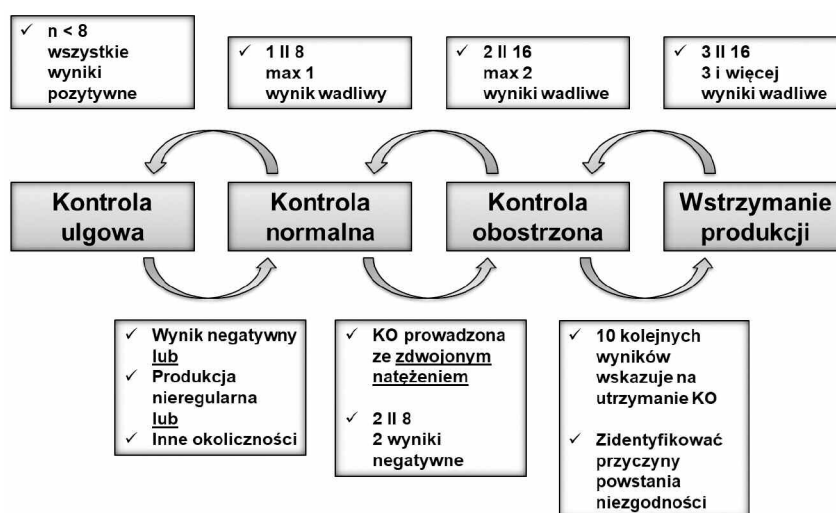
prefabrykowanych płyt, grubości warstwy ścieralnej, oznaczenie wytrzymałości na zginanie i obciążenie niszczące oraz oznaczenie odporności na zamrażanie/rozmarzanie z udziałem soli odladzającej (w 2 klasie odporności). W przypadku każdej z tych cech w normie PN-EN 1339:2005 [16] określono częstotliwość i liczbę pobieranych próbek do wymienionych badań oraz tzw. warunki przejścia między poziomami kontroli wymienionych cech wyrobów, np. badanie wytrzymałości na zginanie betonowych płyt brukowych o długości i szerokości nominalnej mniejszej niż 300 mm wymaga ośmiu płyt z rodziny wytrzymałości z maszyny produkcyjnej na dzień produkcji przy kontroli normalnej. W trakcie kontroli ulgowej liczba ta jest zredukowana do 4, a w dodatkowej ulgowej do 2. W przypadku rozregulowania procesu produkcji i wprowadzenia kontroli obostrzonej liczba płyt ulega podwojeniu w stosunku do kontroli normalnej i wynosi 16 sztuk. Każde przejście między poziomami kontroli wiąże się ze zredukowaniem lub zwiększeniem kosztów prowadzenia tej kontroli. Natomiast w przypadku kontroli i planów odbiorczych wytrzymałości krawężników betonowych PN-EN 1340:2004 [17] ogranicza rodzaj kontroli dwóch poziomów (rysunek 3). W przypadku cech innych niż wytrzymałość kontrola jakości obejmuje standardowo trzy poziomy (rysunek 4).

Krzywe OC skonstruowane dla planów odbiorczych analizowanych wyrobów prefabrykowanych. We wszyst-



Rys. 3. Warunki przejścia między poziomami ostrości kontroli wytrzymałości krawężników betonowych [17]

Fig. 3. Conditions for the transition between the levels of strictness of strength control concrete curbs [17]



Rys. 4. Warunki przejścia między poziomami ostrości kontroli cech innych niż wytrzymałość krawężników betonowych [17]

Fig. 4. Conditions for the transition between the levels of strictness of control of features other than strength for concrete curbs [17]

kich planach badań bazujących na AQL w przypadku normalnej kontroli kryteria są wybrane z myślą ochrony producenta przed odrzuceniem partii odpowiadającej jakości dopuszczalnej. Jednak w większości metod badań ryzyko producenta, że partie takie będą odrzucane, jest różne w zależności od przyjętego planu.

Analizę ryzyka producenta i odbiorcy przeprowadzono w przypadku różnych dopuszczalnych wadliwości AQL, zmiennej liczebności próby n i zmiennej stałej kwalifikującej A_c oraz różnych rozkładów analizowanej cechy. Ryzyko nabywcy, że będzie przyjęta partia o jakości gorszej niż AQL, jest znacznie większe w przypadku małej liczebności próby, co potwierdzają wartości zależności prawdopodobieństwa akceptacji $P(w)$ od wadliwości (w) pokazane na rysunku 5 oraz wartości zamieszczone w tabeli 1.

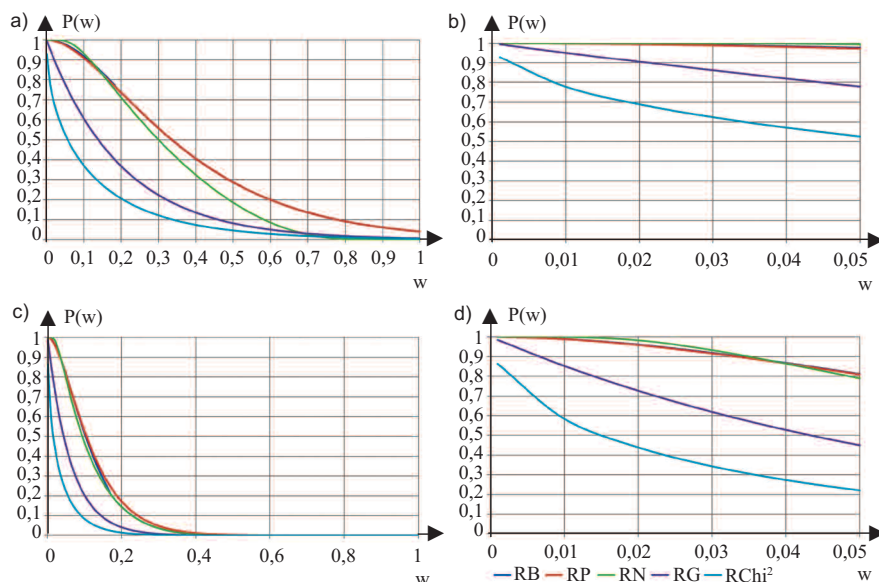
Kształt krzywych OC planu odbiorczego zależy przede wszystkim od liczebności elementów do badań, kryterium przyjęcia oraz rodzaju przyjętego rozkładu. Prawdopodobieństwo przyjęcia prefabrykowanych wyrobów betonowych na podstawie oceny alternatywnej przy założonej wadliwości dopuszczalnej (AQL), ustalonej liczebności elementów do badań (n) i liczby kwalifikującej

(A_c) jest zmienne i rośnie ze wzrostem liczebności próby (tabela 1).

Krzywe OC skonstruowane w przypadku rozkładu Bernoulliego, normalnego, Poissona oraz kryterium $1 \parallel 16$ jednakowo chronią nabywcę przed przyjęciem partii o wadliwości 5%. Plan badań w przypadku rozkładu normalnego znacznie lepiej chroni producenta przed odrzuceniem partii o wadliwości większej niż 5%. Ten fakt potwierdza kilka podanych wartości odrzucenia partii o wadliwości 0,1, 5, 10% zamieszczonych w tabeli 2. W przypadku określenia prawdopodobieństwa akceptacji ogromne znaczenie ma przyjęcie postaci funkcyjnej rozkładu cechy mierzalnej, a wynik badania elementu prefabrykowanego jest losowy.

Podsumowanie

Zastosowanie metod statystycznych podczas kontroli odbiorczej prefabrykowanych wyrobów betonowych jest obowiązkowe. Normy przedmiotowe dopuszczają badania metodami alternatywnymi (pewna cecha wyrobu jest zgodna lub nie) oraz liczbowymi (cechy wyrobu są ściśle nadzorowane i prowadzony jest pomiar wartości średniej oraz odchylenia standardowego). W niektórych przypadkach pomiar danej cechy można prowadzić obiema metodami. Decyzja ta należy do producenta, oczywiście po spełnieniu ściśle określonych wymagań.



Oznaczenia: a i b – plan pobierania próbek 1||5; c i d – 1||16

Rys. 5. Krzywe OC w przypadku akceptacyjnych planów pobierania próbek 1||5 oraz 1||16. Wykresy krzywych OC dla różnych planów i różnych wadliwości

Fig. 5. OC curves for acceptance sampling plans 1||5 and 1||16. Figures for OC curves for different plans and different defectiveness

Tabela 1. Wartości prawdopodobieństwa akceptacji oszacowane w przypadku różnych akceptacyjnych planów pobierania próbek związanych z kontrolą normalną i przejściem z obojętnej kontroli na normalną rozważanych prefabrykowanych wyrobów betonowych

Table 1. Acceptance probability values estimated for various acceptance sampling plans related to normal control and the transition from strict to normal control of the considered precast concrete products

Rodzaj rozkładu $A_c n$	Prawdopodobieństwo akceptacji – P(w)									
	AQL = 5%					AQL = 10%				
	RB	RP	RN	RG	RChi²	RB	RP	RN	RG	RChi²
0 5	0,774	0,779	0,696	–	–	0,590	0,607	0,500	–	–
0 8	0,773	0,670	0,564	–	–	0,590	0,449	0,362	–	–
2 5	0,998	0,997	0,999	0,974	0,819	0,991	0,986	0,998	0,910	0,670
1 8	0,942	0,939	0,963	0,670	0,403	0,813	0,809	0,795	0,449	0,237
1 16	0,811	0,808	0,789	0,448	0,221	0,515	0,525	0,466	0,202	0,083
2 16	0,957	0,952	0,916	0,750	0,472	0,789	0,783	0,630	0,525	0,223

RB – Rozkład Bernoulliego; RP – Rozkład Poissona; RN – Rozkład Normalny; Rozkład Chi² – RChi²; Rozkład Gamma – RG

Tabela 2. Liczba odrzuconych partii (1-P(w)) w [%] w przypadku akceptacyjnego planu pobierania próbek 1||16

Table 2. Number of rejected lots (1-P(w)) in [%] for acceptance sampling plan 1||16

Wadliwość partii [%]	Prawdopodobieństwo akceptacji przy planie 1 16 skonstruowanym w przypadku rozkładu:				
	RB	RP	RN	RG	RChi²
0,01	0,011	0,012	0,001	0,148	0,416
5	0,189	0,191	0,211	0,551	0,779
10	0,485	0,475	0,534	0,798	0,917

Wartość szacowanego prawdopodobieństwa akceptacji związanego z oceną jakości prefabrykowanych wyrobów betonowych zgodnie z oceną al-

ternatywną, sformułowaną w normach przedmiotowych, zależy od przyjętego rozkładu, założonej wadliwości dopuszczalnej, założonej liczby wyrobów do oceny oraz stałej kwalifikującej i jest:

■ zmienna oraz rośnie ze zwiększeniem liczebności próby;

■ zależna od poziomu kontroli i rodzaju przyjętego rozkładu (należy upewnić się co do typu rozkładu rozpatrywanej cechy).

Różnice w wartościach szacowanego prawdopodobieństwa akceptacji są szczególnie zauważalne w przypadku

wadliwości do 0,1. Im licznosc próby jest większa, tym wyraźniej występują różnice między partiami o różnej jakości..

Literatura

[1] Skrzypczak I, Buda-Ożóg L, Zięba J. Prezentacja. II Podkarpacka Konferencja Drogowa – Betonowe drogi w Polsce, Rzeszów. 29 listopada 2017.

[2] Lenart M. Metody statystyczne w kontroli odbiorczej prefabrykowanych elementów betonowych. Wisła: Dni Betonu; 2006. s. 997 – 1007.

[3] Skrzypczak I. Kontrola odbiorcza wyrobów betonowych według oceny alternatywnej. Krynica: 55 Konferencja Naukowa Krynica-Kielce; 2009. s. 745 – 762.

[4] Woliński Sz. Ocena jakości betonu metodami normowymi i według logiki rozmytej. Wisła: Dni Betonu; 2006. s. 1121 – 1131.

[5] Chung-Ho Ch. Economic design of Dodge-Romnig AOQL single sampling plans by variables with quadratic loss function. Tamkang Journal of Science and Engineering. 2006; 8: 313 – 318.

[6] PN-ISO 2859-1:2003 Procedury kontroli wrywkowej metodą alternatywną – Część 1: Schematy kontroli indeksowane na podstawie granicy akceptowanej jakości (AQL) stosowane do kontroli partii za partią.

[7] PN-ISO 2859-0:2002 Procedury kontroli wrywkowej metodą alternatywną. Część 0. Wprowadzenie do systemu ISO 2859 kontroli wrywkowej metodą alternatywną.

[8] PN-ISO 3951:1997 Kontrola wrywkowa procentu jednostek niezgodnych na podstawie liczbowej oceny właściwości; procedury i nomogramy.

[9] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG.

[10] Instrukcja ITB nr 414/2006, Zakładowa kontrola produkcji wyrobów budowlanych. Wymagania, ITB Warszawa.

[11] Lenart M. Statystyczna kontrola odbiorcza betonowych wyrobów budowlanych metodą alternatywną. Materiały Budowlane. 2010; 451 (3): 54 – 58.

[12] Lenart M. Zapewnienie jakości produkcji prefabrykowanych wyrobów betonowych w świetle wymagań zawartych w specyfikacjach technicznych. Wisła: Dni Betonu; 2010. s. 561 – 568.

[13] Czarnecki L. Beton według normy PN-EN 206-1 – komentarz. Praca zbiorowa pod red. Czarnecki L., PKN i Polski Cement; 2004.

[14] PN-EN 13369:2018-05 Wspólne wymagania dla prefabrykatów z betonu.

[15] PN-EN ISO 9001:2015-10 Systemy zarządzania jakością. Wymagania.

[16] PN-EN 1339:2005 Betonowe płyty brukowe. Wymagania i metody badań.

[17] PN-EN 1340:2004 Krawężniki betonowe – Wymagania i metody badań.

Przyjęto do druku: 04.04.2022 r.