

Izabela SKRZYPCZAK¹

Lidia BUDA-OŻÓG²

Wanda KOKOSZKA³

Marta SŁOWIK⁴

RYZIKO ZWIĄZANE Z KONTROLĄ JAKOŚCI BETONU

Kryteria zgodności w odniesieniu do wytrzymałości betonu na ściskanie wykazują liczne i dobrze rozpoznane wady. Mimo wielu publikacji dotyczących wad normowych kryteriów zgodności nadal jednak widoczna jest marginalizacja problemu. Często źródłem sceptycznego zapatrywania się na kontrolę jakości jest to, że posługuje się ona koncepcjami i metodami mało znanymi większości środowiska inżynierskiego opartymi na podejściu probabilistycznym bądź statystycznym. Stąd bardzo ważnym zagadnieniem jest określenie ryzyka związanego z niedotrzymaniem wymagań jakościowych produkowanego betonu. W pracy dokonano analizy ryzyka dla produkcji początkowej i próby o liczebności $n=3$. Oszacowanie ryzyka jest niezbędne w celu określenia bezpieczeństwa konstrukcji, ale również bywa często wymogiem przy zawieraniu umów przez kontrahentów, czy ubezpieczeniach budowli. Wynika z tego konieczność dokonania rewizji metod statystycznej kontroli jakości i dostosowania ich do warunków produkcji betonu oraz szukania innych metod kontroli. W artykule określono wpływ oceny jakości betonu na ryzyko poprzez wykorzystanie autorskich algorytmów i procedur. Zaproponowane algorytmy szacowania ryzyka w przypadku stosowania kryteriów zgodności dla próby o liczebności $n=3$ są oparte na aplikacji teorii zbiorów rozmytych. Został przedstawiony przykład liczbowy z zastosowaniem rozmytego modelu ryzyka. Podano funkcję rozmytą parametru wejściowego dla betonu klasy C25/30 i zdefiniowano bazę reguł do analizy ryzyka oraz przeprowadzono wnioskowanie.

Słowa kluczowe: beton, ryzyko, kontrola zgodności, funkcja rozmyta

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Izabela Skrzypczak, Politechnika Rzeszowska, ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów, tel.: +48 17 8651010, e-mail: izas@prz.edu.pl

² Lidia Buda-Ożóg, Politechnika Rzeszowska, ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów, tel.: +48 17 7432402, e-mail: lida@prz.edu.pl

³ Wanda Kokoszka, Politechnika Rzeszowska, ul. Poznańska 2, 35-959 Rzeszów, tel.: +48 17 8651306, e-mail: wandak@prz.edu.pl

⁴ Marta Słowik, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin, tel.: +48 81 5384392, e-mail: m.slowik@pollub.pl

1. Wstęp

Jakość i ryzyko to dwa nierozłączne parametry każdego procesu produkcyjnego. Ryzyko jest zjawiskiem powszechnym w warunkach gospodarki rynkowej, a każda podejmowana decyzja dotycząca procesów produkcji jest z nim powiązana. Działanie w warunkach ryzyka jest więc nieodłącznym atrybutem każdego procesu kontroli 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 [1, 2]. Celem kontroli jakości jest zapewnienie akceptowalnego poziomu jakości projektu, materiałów, wykrywania „błędów” grubych i innych czynników zagrażających bezpieczeństwu konstrukcji [2]. Beton konstrukcyjny podlegający kontroli jakości stanowi około 70% ogólnej produkcji betonu. Koszty kontroli są więc poważne i skłaniają producentów do poszukiwania oszczędności i przerzucania ryzyka na klienta, inwestora i wykonawcę obiektów budowlanych. a zalecane statystyczne kryteria w wielu przypadkach prowadzą do podejmowania nieprawidłowych decyzji i strategii produkcji [3, 4]. Niewłaściwie sformułowane kryteria zgodności mogą wpływać nie tylko na jakość, ale i trwałość realizowanych konstrukcji, jak również zagrażać bezpieczeństwu ludzi i zdrowia. Obniżona trwałość konstrukcji betonowej prowadzi niewątpliwie do bezpośredniego zanieczyszczenia środowiska, ale przede wszystkim konieczności naprawy lub wymiany elementów wiąże się więc ze zużyciem materiałów i energii oraz emisją zanieczyszczeń z tym związanych. Stąd też bardzo ważnym zagadnieniem jest określenie ryzyka związanego z niedotrzymaniem wymogów jakościowych produkowanego betonu.

1.1. Ryzyko

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 zdarzeń są one traktowane jako zdarzenia losowe a ryzyko jest wielkością zdeterminowaną lub losową i można je obliczyć za pomocą wzoru:

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

gdzie: E_i – waga punktowa odnosząca się do prawdopodobieństwa wystąpienia niepożądanego zdarzenia

D_i – waga punktowa określająca straty związane z wystąpieniem tego zdarzenia.

Zdefiniowano następujące kryteria przyjęcia wag punktowych dla poszczególnych parametrów oceny ryzyka [1] przy ocenie betonu:

- punktowa waga wystąpienia *i*-tego zdarzenia dotyczącego ryzyka związanego z oceną betonu konstrukcyjnego:
 - zdarzenie bardzo prawdopodobne – waga 5,
 - zdarzenie mało prawdopodobne – waga 4,
 - zdarzenie średnio prawdopodobne – waga 3,
 - zdarzenie mało prawdopodobne – waga 2,
 - zdarzenie bardzo mało prawdopodobne – waga 1;
- parametr strat (skutków zniszczenia):
 - małe straty – partia materiału nie spełnia kryteriów zgodności, powtórna kontrola, obniżona cena, waga 1,
 - odczuwalne straty – wbudowany materiał należy skuć, remont nowego obiektu, waga 2,
 - umiarkowane straty – awaria, zagrożenie zdrowia i życia użytkowników obiektu budowlanego, waga 3.
 - wielkie straty - katastrofa budowlana, ofiary w ludziach, waga 4.

W Tabeli 1 przyjęto macrycę ryzyka, uwzględniającej parametry kontrolowane.

Tabela 1. Matryca ryzyka obliczona wg wzoru (1), na podstawie [5]

Table 1. Matrix of risk calculated with formula (1), based on [5]

E_i	D_j		
	1	2	3
	j		
1	1	2	3
2	2	4	6
3	3	6	9

Kierując się wartościami zawartymi w matrycy ryzyka (Tabela 1, [5]), przyjęto następującą trójstopniową skalę ryzyka:

- ryzyko tolerowane $R_t=[1÷2]$,
- ryzyko kontrolowane $R_k=[2÷4]$,
- ryzyko nieakceptowane $R_n=[4÷9]$.

1.2. Podstawy teorii zbiorów rozmytych

Wprowadzenie pojęcia zbiorów rozmytych umożliwiło matematyczny opis wielkości, które mają charakter wieloznaczny i nieprecyzyjny. Dane dotyczące produkcji betonu towarowego weryfikowane są na podstawie próby o małej liczebności (3-15), tak więc w analizach i ocenach ryzyka zarówno producenta jak i odbiorcy napotyka się na problem z wadami metod statystycznych. Nie-

pewności związane z oceną i klasyfikacją jakości betonu mają więc rozmyte, nielosowy charakter.

W teorii zbiorów rozmytych, funkcja charakterystyczna przyporządkowuje każdemu x z obszaru rozważań X wartość z przedziału $[0; 1]$, a nie jak w przypadku zbiorów ostrych z dwuelementowego zbioru $\{0; 1\}$.

$$\text{Funkcja: } A=[(\mu_A(x), x] \quad \mu_A: X \rightarrow [0; 1] \quad (2)$$

nazywana jest funkcją przynależności. Jej wartość dla danego x interpretuje się jako stopień, w jakim x należy do zbioru rozmytego. Każdy element x z obszaru rozważań X należy do zbioru rozmytego A zdefiniowanego w tym obszarze z pewnym stopniem przynależności (stopniem zaufania) określonym przez $\mu_A(x)$.

Podstawowymi operacjami na zbiorach rozmytych są suma OR oraz iloczyn AND [5]. Systemy wnioskowania rozmytego opierają się na tzw. bazie reguł typu „jeżeli (przesłanka) to (konkluzja)”. Procedura budowy modelu rozmytego obejmuje:

- rozmywanie danych (fuzyfikację), przekształcanie zmiennych wejściowych do modelu w postaci rozmytej za pomocą założonych funkcji przynależności i ich parametrów,
- utworzenie bazy reguł oraz założenie modelu wnioskowania rozmytego (np. model Mamdaniego, Takagi-Sugeno)
- agregacja reguł (grupowanie) oraz wnioskowanie; interpretację na podstawie reguły globalnej,
- wyostrenie (defuzyfikację), znajdowanie jednoznacznych wyników końcowych, jeśli wyjściem z modelu jest wartość rozmyta,
- denormalizację, powrót do początkowego zakresu danych, prezentację, przedstawienie wyników w postaci czytelnej dla odbiorcy.

1.3. Rozmyty model ryzyka

Ryzyko oraz jego parametry bardzo często przedstawiane są za pomocą zmiennych typu lingwistycznego np. ryzyko tolerowane, kontrolowane, nieakceptowane. W wielu przypadkach wartości kryterialne przyjęcia poszczególnych wartości skali (parametrów ryzyka czy samego ryzyka) są różnie przyjmowane i interpretowane przez ekspertów. Mając szeroką, ale jednocześnie subiektywną, ekspercką wiedzę dotyczącą ryzyka związanego przyjęciem materiału o zaniżonej jakości (wadliwej partii materiału) można zbudować rozmyty model analizy ryzyka, który pozwoli na wykorzystanie w całości wszystkich informacji i na tej podstawie podjęcie odpowiednich decyzji w procesie zarządzania ryzykiem. W przyjętym modelu wartościami wejściowymi były parametry kontrolowane tj. średnia wartość wytrzymałości betonu dla próby o liczności $n=3$ oraz waga punktowa określająca wpływ wytrzymałości betonu na

ściskanie na jakość produkowanego betonu (ryzyko wystąpienia zaniżonej jakości), natomiast wyjściem była wartość ryzyka. Do analizy ryzyka przy produkcji betonu towarowego zaproponowano następujące typy funkcji przynależności:

a) funkcje typu Trapezowego

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{dla } a < x \leq b \\ 1 & \text{dla } b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{dla } c < x < d \\ 0 & \text{dla } x \geq d \end{cases} \quad (3)$$

b) funkcje typu Gama

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{dla } a < x \leq b \\ 1 & \text{dla } b < x \leq c \end{cases} \quad (4)$$

c) funkcje typu eL

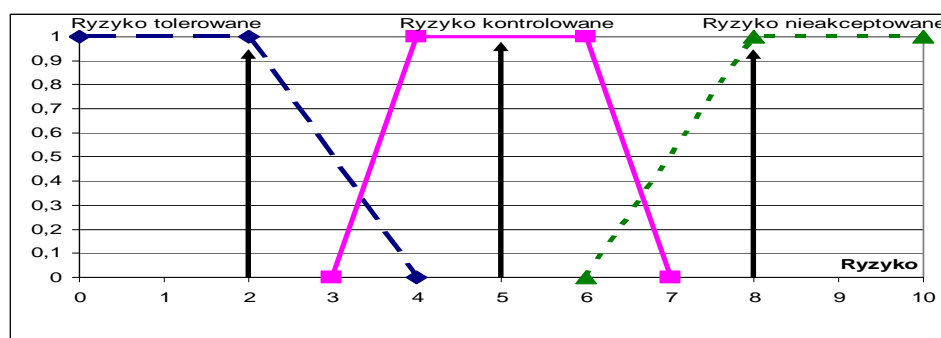
$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & \text{dla } x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{dla } c < x < d \\ 0 & \text{dla } x \geq d \end{cases} \quad (5)$$

gdzie: x – zmienna (liczba rozmyta),
 a, b, c, d – parametry funkcji przynależności.

Na podstawie histogramów analizowanych cech betonu przyjęto funkcje rozmyte typu trapezowego oraz typu Gama, eL oraz Trapezowego. Wartość ryzyka produkowanego betonu towarowego przedstawiono jako trójelementowy zbiór, którego elementami były podzbiory rozmyte opisane za pomocą zmiennych lingwistycznych odnoszących się do ryzyka związanego z niedotrzymaniem wymogów jakościowych produkowanego betonu ($R = \{ \text{tolerowane, kontrolowane, nieakceptowane} \}$). Zmienne te opisano za pomocą funkcji przynależności, których charakterystykę przedstawiono w Tabeli 2, natomiast funkcję przynależności dla ryzyka zobrazowano na rys. 1.

Tabela 2. Rozmyta charakterystyka parametrów $K_i = \{K_1, K_2, K_3\}$ oraz $W_i = \{W_1, W_2, W_3\}$ Table 2. Fuzzy characteristic of parameters $K_i = \{K_1, K_2, K_3\}$ and $W_i = \{W_1, W_2, W_3\}$

Opis lingwistyczny	Typ funkcji przynależności	Parametr funkcji przynależności			
		a	b	c	d
1) Zdarzenie nieprawdopodobne	L wg (5)	-	-	0,125	0,25
1) Mała wartość wytrzymałości średniej na ściskanie	L wg (5)	-	-	35	36
2) Zdarzenie prawdopodobne	Trapezowa wg (3)	0,125	0,25	0,625	0,75
2) Średnia wartość wytrzymałości średniej na ściskanie	Trapezowa wg (3)	35	36	38	39
3) Zdarzenie bardzo prawdopodobne	Gama wg (4)	0,625	0,75	-	-
3) Duża wartość wytrzymałości średniej na ściskanie	Gama wg (4)	38	39	-	-
Ryzyko tolerowane	L wg (5)	-	-	2,0	4,0
Ryzyko kontrolowane	Trapezowa wg (3)	3,0	4,0	6,0	7,0
Ryzyko nieakceptowane	Gama wg (4)	6,0	8,0	-	-



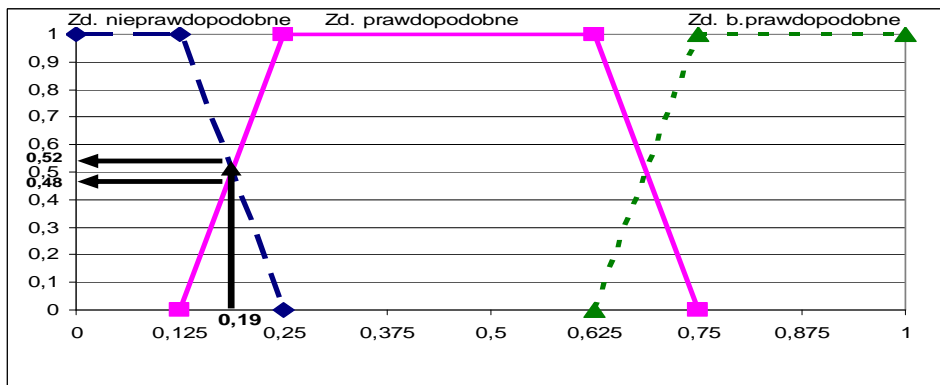
Rys.1. Funkcja przynależności dla ryzyka

Fig.1. Membership function for the risk

2. Przykład liczbowy

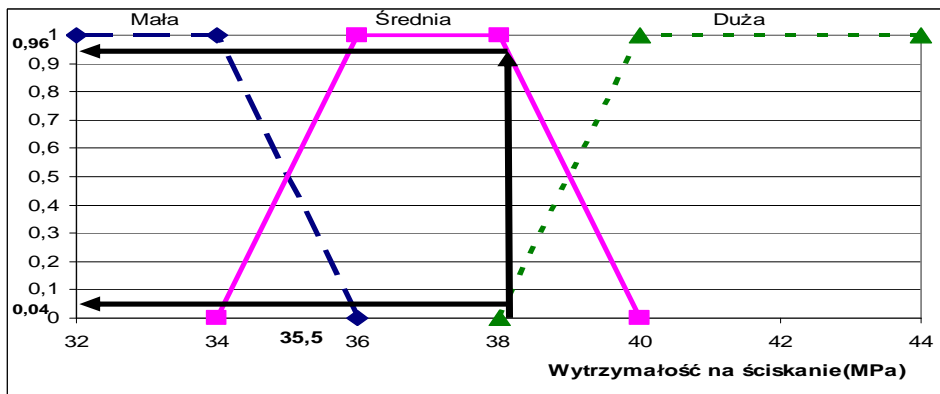
Analizę ryzyka produkowanego betonu przeprowadzono dla jednego parametru: wytrzymałości betonu na ściskanie, w rzeczywistości parametrów tych może być więcej. W założonym modelu wartościami wejściowymi k_i oraz w_i były poszczególne wartości parametrów wpływających na jakość produkowanego betonu towarowego, które zdefiniowano w postaci zbiorów rozmytych (Tabela 2, rys. 2 i 3), natomiast wyjściem była charakterystyka ryzyka:

K_I – zmienna charakteryzująca parametr kontrolowany (wytrzymałość na ściskanie), W_i – zmienna wpływu zajścia i-tego zdarzenia na ryzyko związane z niedotrzymaniem wymogów jakościowych produkowanego betonu. Wartości zmiennych wejściowych, oszacowane przez eksperta wynosiły odpowiednio: zdarzenie mało prawdopodobne $W_i = 0,19$ oraz średnia wytrzymałość na ściskanie oszacowana na podstawie próby o liczebności $n=3$ wynosi 38,2 MPa, a odczytana z rys. 1. wartość parametru $K_I = 0,4$ (rys. 2 i 3).



Rys.2. Funkcja rozmyta parametru wejściowego W_i – określająca wpływ wytrzymałości betonu na ściskanie na jakość produkowanego betonu

Fig.2. Fuzzy function of input parameter W_i – determining the effect of compressive strength on the quality of produced concrete



Rys.3. Funkcja rozmyta parametru wejściowego K_i – Wytrzymałość średnia betonu na ściskanie dla próby o liczebności $n=3$ dla betonu klasy C25/30

Fig.3. Fuzzy function of input parameter K_i – Mean value for compressive strength for sample size $n=3$ and concrete class C25/30

Poszczególnym wartościom parametrów przypisano odpowiednie wartości funkcji przynależności obliczone wg wzorów 3-5, rys 2 i 3, co stanowiło proces rozmywania danych wejściowych otrzymując macierz danych w postaci rozmytej [5]:

$$R = \begin{vmatrix} \mu_{K_1}(k_1); \mu_{K_2}(k_2); \mu_{K_3}(k_3) \\ \mu_{W_1}(w_1); \mu_{W_2}(w_2); \mu_{W_3}(w_3) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,48; 0,52; 0,0 \\ 0,0; 0,96; 0,04 \end{vmatrix} \quad (6)$$

W celu przeprowadzenia procesu wnioskowania należało zdefiniować bazę reguł. Proces ten przeprowadzono w oparciu o wiedzę ekspercką. Przyjęto następującą bazę reguł, którą przedstawiono w poniższej tabeli (Tabela 3).

Tabela 3. Baza reguł do analizy ryzyka

Table 3. Rules base for risk analysis

Nr reguły	Opis
1	Jeśli k_1 jest K_1 i w_1 jest W_1 , to ryzyko jest tolerowane
2	Jeśli k_1 jest K_1 i w_1 jest W_2 , to ryzyko jest tolerowane
3	Jeśli k_1 jest K_1 i w_1 jest W_3 , to ryzyko jest kontrolowane
4	Jeśli k_1 jest K_2 i w_1 jest W_1 , to ryzyko jest tolerowane
5	Jeśli k_1 jest K_2 i w_1 jest W_2 , to ryzyko jest kontrolowane
6	Jeśli k_1 jest K_2 i w_1 jest W_3 , to ryzyko jest nieakceptowane
7	Jeśli k_1 jest K_3 i w_1 jest W_1 , to jakość jest kontrolowane
8	Jeśli k_1 jest K_3 i w_1 jest W_2 , to ryzyko jest nieakceptowane
9	Jeśli k_1 jest K_3 i w_1 jest W_3 , to ryzyko jest nieakceptowane

Następny etap to wykonanie działań implikacji przesłanek poszczególnych reguł. W tym celu wykorzystano operator T-normy w postaci iloczynu algebraicznego. Proces agregacji reguł polega na połączeniu reguł o tej samej konkluzji tj. w analizowanym przypadku odpowiedni poziom ryzyka (tolerowane, kontrolowane, nieakceptowane). Reguły łączone są za pomocą spójnika lub, stąd otrzymano trzy grupy reguł postaci:

– Ryzyko tolerowane:

Jeśli k_1 jest K_1 i w_1 jest W_1 , to ryzyko jest tolerowane
Jeśli k_1 jest K_1 i w_1 jest W_2 , to ryzyko jest tolerowane
Jeśli k_1 jest K_2 i w_1 jest W_1 , to ryzyko jest tolerowane

– Ryzyko kontrolowane:

Jeśli k_1 jest K_1 i w_1 jest W_3 , to ryzyko jest kontrolowane
Jeśli k_1 jest K_2 i w_1 jest W_2 , to ryzyko jest kontrolowane
Jeśli k_1 jest K_3 i w_1 jest W_1 , to ryzyko jest kontrolowane

– Ryzyko nieakceptowane:

Jeśli k_1 jest K_2 i w_1 jest W_3 , to ryzyko jest nieakceptowane
Jeśli k_1 jest K_3 i w_1 jest W_2 , to ryzyko jest nieakceptowane
Jeśli k_1 jest K_3 i w_1 jest W_3 , to ryzyko jest nieakceptowane

Wnioskowanie rozmyte wymaga określenia stopnia przynależności poszczególnych przesłanek - im wyższy stopień spełnienia przesłanki (wyższy stopień przynależności), tym wyższy jest udział danej reguły w wyznaczeniu końcowego wniosku na podstawie bazy reguł. W celu wykonania działania w każdej grupie reguł spójnik *lub* zastąpiono operatorem S-normy typu max. W analizowanym przykładzie wartości funkcji przynależności poszczególnych reguł wynosiły:

$$\mu(Rt) = \max\{\mu_{K_1}(k_1)\mu_{w_2}(w_1); \mu_{K_3}(k_1)\mu_{w_2}(w_1); \mu_{K_2}(k_1)\mu_{w_3}(w_1)\} = 0,46$$

$$\mu(Rk) = \max\{\mu_{K_1}(k_1)\mu_{w_2}(w_1); \mu_{K_3}(k_1)\mu_{w_2}(w_1); \mu_{K_2}(k_1)\mu_{w_3}(w_1)\} = 0,50$$

$$\mu(Rn) = \max\{\mu_{K_1}(k_1)\mu_{w_2}(w_1); \mu_{K_3}(k_1)\mu_{w_2}(w_1); \mu_{K_2}(k_1)\mu_{w_3}(w_1)\} = 0,02$$

Wartości funkcji przynależności określają stopień przynależności do poszczególnych poziomów ryzyka:

- dla ryzyka tolerowanego $\mu(Rt)=0,46$,
- dla ryzyka kontrolowanego $\mu(Rk)=0,50$,
- dla ryzyka nieakceptowanego $\mu(Rn)=0,02$.

Powyższe wartości związane z produkcją betonu towarowego określają ryzyko w sposób rozmyty, aby otrzymać konkretną wartość ryzyka należy przeprowadzić proces wyostrzania (zamiana wartości rozmytych w wartość zdeterminowaną). Transformację zbioru rozmytego przeprowadzono zgodnie z formułą:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^3 r_{sr} \mu(R)}{\sum_{i=1}^3 \mu(R)} \quad (7)$$

gdzie: r_{sr} – wartość ryzyka (każdego poziomu), przyjęta jako wartość środkowa przedziału wg rys. 1,
 $\mu(R)$ – wartość funkcji przynależności poszczególnych reguł.

Otrzymana wartość wyjściowa modelu, będąca oceną ryzyka związanego z niedotrzymaniem wymogów jakościowych produkowanego betonu wyniosła $R=3,7$, jest to więc ryzyko kontrolowane. Weryfikując wytrzymałość betonu na ściskanie na podstawie próbki o liczebności $n=3$, przy otrzymanym wyniku wartości średniej 38,2 MPa ryzyko jest kontrolowane.

3. Wnioski

Do kompletnej analizy i oceny ryzyka związanego z produkcją betonu towarowego wymagana jest obszerna baza różnorodnych danych dotyczących mieszanki betonowej oraz stwardniałego betonu, jak również procesu produkcji. Jeżeli nie jest możliwe uzyskanie dokładnych i kompletnych danych statystycznych, potrzebne dane można otrzymać od ekspertów, którzy na podstawie swo-

jej wiedzy, doświadczenia i danych literaturowych oceniają wartości poszczególnych parametrów jakości oraz ryzyka. Otrzymane w ten sposób dane stanowią bazę ocen subiektywnych, które są podstawą do rozmytego modelowania ryzyka. Teoria zbiorów rozmytych umożliwia analizę ryzyka w języku naturalnym na podstawie doświadczenia ekspertów. Rozmyte modelowanie ryzyka umożliwia zastosowanie adaptacyjnej techniki doboru parametrów i może być łączone z konwencjonalnymi metodami analizy ryzyka.

Literatura

- [1] Pawlikowski J.: Różnicowanie klas niezawodności konstrukcji z betonu, Prace naukowe ITB, WITB, Warszawa, 2003.
- [2] Pawlikowski J.: Systemy zapewnienia jakości w budownictwie, Prace naukowe ITB, WITB, Warszawa, 1998.
- [3] Skrzypczak I., Woliński Sz.: Influence of distribution type on the probability of acceptance of conformity criteria for concrete strength, Archives of Civil Engineering 53, 3, 2007, s. 479-495.
- [4] Szczygielska E., Tur W.: Kryterium zgodności wytrzymałości betonu na ściskanie opracowane na podstawie statystyk porządkowych, Budownictwo i Architektura, Vol. 12, Nr 3, s. 223-230.
- [5] Tchórzewska-Cieślak B.: Rozmyty model ryzyka awarii sieci wodociągowej, Ochrona Środowiska 2011, Vol. 33, Nr 1, s. 35-40.

RISK ASSOCIATED WITH THE QUALITY CONTROL OF CONCRETE

Summary

Conformity criteria for compressive strength of concrete show a lot of well-identified disadvantages. Despite numerous publications on disadvantages of the code compliance criteria, marginalization of the problem is still visible. Concepts and methods based on probabilistic or statistical approaches are often source of skeptical views on quality control because they are not very familiar to most engineers. Hence, an important issue is to determine the risk associated with exceeding quality requirements of produced concrete. The paper presents analysis of the risk for initial production and sample size of $n=3$. The risk estimation is necessary to determine the safety of the structure and often is a condition for entering into contracts and insurance of building structures. This implies the need to revise the methods of statistical quality control and search for alternative methods in order to adapt them to the conditions of concrete production. In this article influence of concrete quality evaluation on the risk has been determined with the use of the authors' algorithms and procedures. The proposed algorithms for estimation of the risk, in the case of the compliance criteria for the sample size $n=3$, are the application of the theory of fuzzy sets. A numerical example with use of the fuzzy risk model has been presented. Fuzzy function of input parameter for concrete class C25/30 and defined base of rules for the risk analysis has been shown and the inference has been conducted.

Keywords: concrete, risk, conformity control, fuzzy function

Przesłano do redakcji: 10.06.2014 r.

Przyjęto do druku: 30.10.2015 r.

DOI:10.7862/rb.2015.124