ISSN 1509-5878
Nr 3 3/2013
AUTOBUSY
Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe

Nabi IBADOV

WIELOKRYTERIALNA OCENA PROCESÓW BUDOWLANYCH Z UWZGLĘDNIENIEM ROZMYTEGO MODELOWANIA NIEPEWNOŚCI ASPEKTÓW TECHNOLOGICZNYCH

Streszczenie

W artykule opisana została problematyka oceny wielokryterialnej procesów budowlanych, z uwzględnieniem modelowania rozmytego niepewności aspektów technologicznych. Kwestie niepewności (towarzyszące aspektom technologicznym) w artykule uwzględniono jako ryzyko procesów technologicznych i przyjęto jako dodatkowe kryterium oceny. Wszystkie kryteria oceny modelowano i oceniano stosując teorię zbiorów rozmytych. W artykule została zaproponowana procedura oceny (optymalizacji) wielokryterialnej wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych i wnioskowania rozmytego z liczbowymi wagami kryteriów.

WSTĘP

W realizacji przedsięwzięć budowlanych (procesów budowlanych) stałe trzeba podejmować decyzję uwzględniając przeróżne czynniki wpływające zarówno na przygotowanie jak i prowadzenie procesów budowlanych. Wpływy tych czynników w większości przypadków nie są określone ściśle. Zmusza to przygotowanie i planowanie przedsięwzięć budowlanych na podstawie rozmytych informacji. Sprowadza się to, do podejmowania decyzji wielokryterialnej (i optymalizacji wielokryterialnej) procesów budowlanych w warunkach rozmytych.

W artykule, przedstawiono przykład zastosowania teorii zbiorów rozmytych do rozwiązywania zadań optymalizacji wielokryterialnej procesów budowlanych z uwzględnieniem niepewności wynikających z aspektów technologicznych.

1. PODSTAWOWE POJĘCIA TEORII ZBIORÓW ROZMYTYCH PRZYDATNYCH W PODEJMOWANIU WIELOKRYTERIALNEJ DECYZJI

Pojęcie zbioru rozmytego wprowadził po raz pierwszy L. A. Zadeh [14] jako uogólnienie pojęcia zbioru zwykłego lub nierozmytego. Obszarem rozważań w teorii zbiorów rozmytych jest pewna przestrzeń lub zbiór X, która jest zbiorem nierozmytym. Zbiór rozmyty A w przestrzeni X zapisujemy jako zbiór par [9];

$$A = \{(x, \mu_A(x)); x \in X\} \tag{1}$$

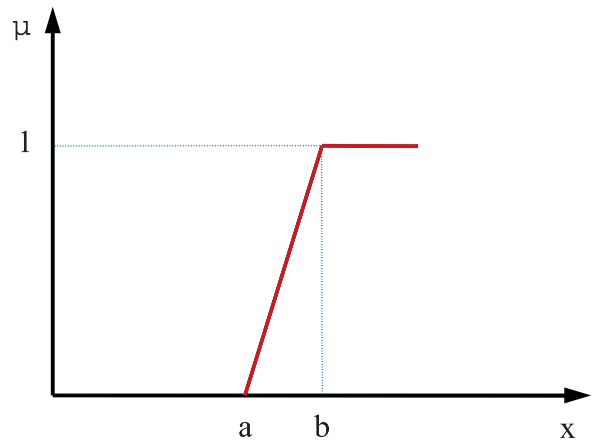
gdzie:

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1] \tag{2}$$

jest funkcją przynależności zbioru rozmytego A. Funkcja ta każdemu elementowi $x \in X$ przypisuje jego stopień przynależności do zbioru rozmytego A. Na rysunkach nr 1, 2 i 3 przedstawiane są typowe funkcje przynależności klasy γ, t i L [8], [9], [10].

Funkcję klasy γ opisuje wzór (3) i przedstawia rysunek 1.

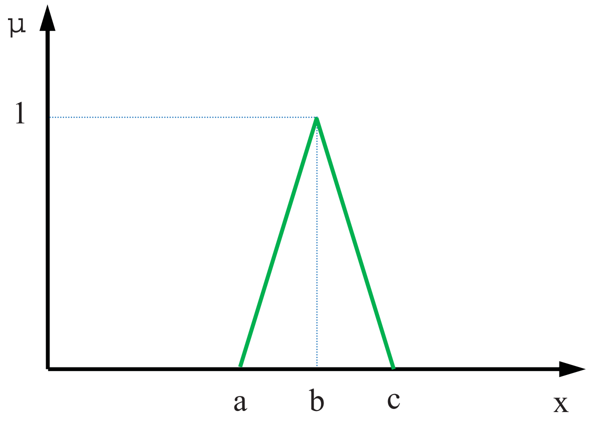
$$\gamma = (x, a, b) = \begin{cases} 0 & dla \quad x \le a \\ \frac{x-a}{b-a} & dla \quad a \le x \le b \\ 1 & dla \quad x \ge b \end{cases} \tag{3}$$



Rys. 1. Funkcja przynależności klasy γ

Funkcję klasy t opisuje wzór (4) i przedstawia rysunek 2.

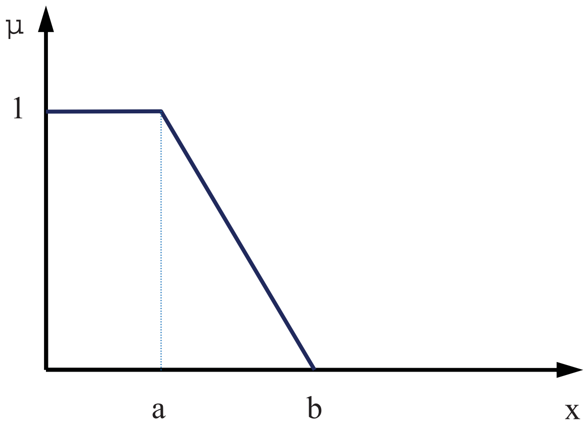
$$t = (x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & dla \quad x \le a \\ \frac{x-a}{b-a} & dla \quad a \le x \le b \\ \frac{c-x}{c-b} & dla \quad b \le x \le c \\ 0 & dla \quad x \ge c \end{cases} \tag{4}$$



Rys. 2. Funkcja przynależności klasy t

Funkcję klasy L opisuje wzór (5) i przedstawia rysunek 3.

$$L = (x; a, b) = \begin{cases} 1 & dla \quad x \le a \\ \dfrac{b-x}{b-a} & dla \quad a \le x \le b \\ 0 & dla \quad x \ge b \end{cases} \tag{5}$$



Rys. 3. Funkcja przynależności klasy L

W podejmowaniu decyzji wielokryterialnej mają też ogromne znaczenie przybliżone wnioskowanie na podstawie wiedzy eksperta. Uogólnioną rozmytą regułę wnioskowania modus ponens określa następujący schemat wnioskowania [10]:

Przesłanka *Implikacja*	*x jest A'* ***Jeśli** x jest A **TO** y jest B*
Wniosek	*y jest B'*

Gdzie A, A' $\subseteq$ X oraz B, B' $\subseteq$ Y są zbiorami rozmytymi, natomiast x i y są tzw. zmiennymi lingwistycznymi. Należy podkreślić że zmienne lingwistyczne oprócz wartości słownych mogą także przyjmować wartości liczbowe, jak zwykłe zmienne matematyczne.

Wniosek reguły rozmytej odnosi się do pewnego zbioru rozmytego B', który jest określony przez złożenie zbioru rozmytego A' i rozmytej implikacji $A \to B$, tzn. $B' = A' \circ (A \to B)$.

Rozmyta implikacja $A \to B$ jest równoważna pewnej relacji rozmytej $R \subseteq X \times Y$ o funkcji przynależności $\mu_R(x, y)$. Zatem funkcję przynależności zbioru rozmytego B' można wyznaczyć za pomocą następującego wzoru:

$$\mu_{B'}(y) = \sup_{x \in X} \{ \mu_{A'}(x) \overset{T}{*} \mu_{A \to B}(x, y) \} \tag{6}$$

przy czym $\mu_{A \to B}(x, y) = \mu_R(x, y)$. W szczególnym przypadku, dla operacji przecięcia zbiorów, wzór (6) przyjmuje następującą postać [20]:

$$\mu_{B'}(y) = \sup_{x \in X} \{ \min[\mu_{A'}(x), \mu_{A \to B}(x, y)] \} \tag{7}$$

2. OPIS OCENY (OPTYMALIZACJI) WIELOKRYTERIALNEJ W NOTACJI TEORII ZBIORÓW ROZMYTYCH

W tradycyjnym rozumieniu optymalizacji wielokryterialnej zakłada się, że wartości ocen kryteriów optymalizacji są ściśle określone i mają charakter deterministyczny. W praktyce to założenie nie zawsze jest prawdziwe. Często informacje o ocenach z założenia mają charakter przybliżony, subiektywny, nieostry. W metodzie rozmytym zarówno oceny kryteriów K_i, jak i ważności kryteriów w_i są (mogą być) rozmytymi. Optymalizację wielokryterialną w postaci rozmytej można przedstawić w następujący sposób:

$$\tilde{Z} = \sum_{i=1}^{M} \left(\tilde{w}_i \cdot \tilde{K}_i(x) \right) \to MAX \tag{8}$$

Metoda ta jest (może być) wykorzystywana przy wyborze rozwiązania optymalnego ze skończonego zbioru A rozwiązań dopuszczalnych (np. w naszym przypadku wariantów procesu budowlanego).

3. PRZYKŁAD

Dla przykładu załóżmy, że przedsiębiorstwo ma możliwości realizacji konkretnej budowy w 3 różnych technologiach wykonania. Z technologicznego punktu widzenia każdy proces budowlany musi być realizowany w odpowiednich warunkach techniczno-technologicznych. Czasy i koszty realizacji każdego procesu budowlanego w przeliczeniu na $1m^2$ danego obiektu są określone w postaci konkretnych wielkości (tys.zł/$1m^2$ i r-g/$1m^2$). Z każdym sposobem realizacji procesów budowlanych związane są odpowiednie ryzyka techniczno-technologiczne wynikające z niepewności warunków realizacji. Zakładamy, że przedsiębiorstwo potrafi modelować te ryzyka w postaci zmiennych lingwistycznych w następujący sposób: {niskie, średnie, wysokie}. Tablica nr 1 przedstawia poszczególne procesy budowlane odpowiednimi wielkościami czasowo-kosztowymi i przypisanym ryzykiem. I tak, $K = \{K_{koszt}, K_{pr}, K_r\}$ będzie zbiorem kryteriów. Ważność tych kryteriów przedsiębiorstwo określa w następujący sposób: {w_{koszt}=„0,43” , w_{pr}=„0,34” , w_r=„0,23”}.

Tab. 1. Kryteria wyboru optymalnego wariantu realizacji

Proces budowlany	Koszt wykonania 1m^2 [tys. zł/1m^2]	Pracochłonność 1m^2 [r-g/1m^2]	Ryzyko techniczno-technologiczne [jednostka lingwistyczna]
	$\mathbf{K_{koszt}}$	$\mathbf{K_{pr}}$	$\mathbf{K_r}$
P_1	4,5	1,9	średnie
P_2	4,6	2,3	niskie
P_3	4,0	2,7	wysokie

Należy podjąć decyzję który proces budowlany wybierać. W tym celu ocenie poddano trzy procesy: P = {P_1, P_2, P_3} względem kryteriów: K(P) = {K_{koszt} , K_{pr} , K_r} z odpowiednimi wagami w_i. Zadanie polioptymalizacji polegać będzie na osiągnięciu maksymalnej wartości funkcji Z i przyjmuje postać rozmytą jak we wzorze (8).

Wielokryterialną optymalizację decyzji powyższego zadania z zastosowaniem teorii zbiorów rozmytych i wiedzy eksperta (decydenta) przeprowadzamy w następujący sposób:

a) przedstawienie ocenianych kryteriów poszczególnych procesów budowlanych w kategoriach zbiorów rozmytych etykietując je następującymi zmiennymi lingwistycznymi "niskie", "średnie", "wysokie";

b) dla wyżej wymienionych zbiorów rozmytych (zmiennych lingwistycznych) określamy ich funkcje przynależności. Przy czym funkcją klasy γ określać będziemy zmienną lingwistyczną "wysokie"; funkcją klasy t zmienną lingwistyczną "średnie" a funkcją klasy L zmienną lingwistyczną "niskie" przyjmując rozrzut rozmytości dla poszczególnych kryteriów kosztu, czasu i ryzyka odpowiednio w przedziałach [3,8-5,0]; [1,5-3,0] oraz [0-10]. Określone wartości funkcji przynależności poszczególnych kryteriów przedstawiają tab. nr 2 i 3.

Tab. 2. Określenie wartości funkcji przynależności kosztu wykonania dla poszczególnych procesów budowlanych

Procesy budowlane	Decyzja	Wartości kosztów [zł/1m^2]	Obliczenie funkcje przynależności	Etykieta
P_1	d_1	4,5	$\mu(d_1)\dfrac{5{,}0-4{,}5}{5-4{,}4}=0{,}83$	średni ^{P}
P_2	d_2	4,6	$\mu(d_2)=\dfrac{5-4{,}6}{5-4{,}4}=0{,}67$	średni ^{P}
P_3	d_3	4,0	$\mu(d_5)=\dfrac{4{,}4-4{,}0}{4{,}4-3{,}8}=0{,}67$	niskie

Tab. 3. Określenie wartości funkcji przynależności pracochłonności wykonania dla poszczególnych procesów budowlanych

Procesy budowlane	Decyzja	Wartości pracochłonności 1m^2 ściany	Obliczenie funkcji przynależności	Etykieta
P_1	d_1	1,9	$\mu(d_1)=\dfrac{1{,}9-1{,}5}{2{,}25-1{,}5}=0{,}53$	średnia^L
P_2	d_2	2,3	$\mu(d_2)=\dfrac{3-2{,}3}{3-2{,}25}=0{,}93$	średnia^P
P_3	d_3	2,7	$\mu(d_5)=\dfrac{2{,}7-2{,}25}{3{,}0-2{,}25}=0{,}6$	wysoka

Kryterium ryzyka zaś z uwagi na lingwistyczne zmienne przedstawiamy w skali (0,10). Przy czym poszczególne podzbioru rozmyte opisujemy następujący sposób: „niskie ryzyko ” = [1/0,0+0,5/2,5]; „średnio ryzyko” = [0,5/2,5 + 1/5 + 0,5/7,5]; „wysokie ryzyko” = [0,5/7,5 + 1/10]. Konkretną wartość kryterium ryzyka dla poszczególnych podzbiorów rozmytych uzyskujemy po defuzyfikacji powyższych zbiorów rozmytych. Do tego celu używamy następujący wzór:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mu(r_i) r_i}{\sum_{i=1}^{n} \mu(r_i)} \tag{9}$$

gdzie: $\mu(r_i)$- jest konkretną wartością funkcji przynależności odpowiednich wartości r_i.

Odpowiednie wartości poszczególnych ryzyk wynoszą:

$$r_{niskie} = \frac{0,5 \cdot 2,5 + 1 \cdot 0,0}{0,5 + 1} = 0,83 \tag{10}$$

$$r_{srednie} = \frac{0,5 \cdot 2,5 + 1 \cdot 5 + 0,5 \cdot 7,5}{0,5 + 1 + 0,5} = 5 \tag{11}$$

$$r_{wysokie} = \frac{0,5 \cdot 7,5 + 1 \cdot 10}{0,5 + 1} = 9,2 \tag{12}$$

Należy tu podkreślić, że z uwagi na różne jednostki poszczególnych kryteriów na etapie agregacji dwie pozostałe kryteria będą też przedstawiane w skali (0,10) zgodnie z ich wyliczonymi wartościami funkcji przynależności i etykietami. A więc rozmyta ocena poszczególnych wartości kryteriów prowadza się w sposób następujące: Ocena = {niska, średnia, wysoka}. Zbiór rozmyty oceny składa się z trzech podzbiorów rozmytych charakteryzowanych przez ich wartości funkcje przynależności w sposób następujący: niska = [1; 0,8; 0,6; 0,5]; średnia = [0,5; 0,6; 0,8; 1; 0,8; 0,6; 0,5]; wysoka = [0,5; 0,6; 0,8; 1]. Przy czym ocena średnia jest podzielona na dwie części: średnia^L = [0,5; 0,6; 0,8; 1] oraz średnia^P = [1; 0,8; 0,6; 0,5], gdzie: średnia^L i średnia^P - charakteryzują odpowiednie lewą i prawą część oceny średniej.

c) dla poszczególnych kryteriów ocen tworzymy następujące reguły ocen:

Reguły ocen kosztów wykonania
R-1: Jeśli koszty są „wysokie” To ocena jest „niska” z wagą „0,43”,
R-2: Jeśli koszty są „średie^L” To ocena jest „średnia^P” z wagą „0,43”,
R-3: Jeśli koszty są „średnie^P” To ocena jest „średnia^L” z wagą „0,43”,
R-4: Jeśli koszty są „niskie” To ocena jest „wysoka” z wagą „0,43”,

Reguły oceny pracochłonności wykonania:
R-1. Jeśli pracochłonność jest „wysoka” To ocena jest „niska” z wagą „0,34”,
R-2. Jeśli pracochłonność jest „średnio^L” To ocena jest „średnio^P” z wagą „0,34”,

R-3. Jeśli pracochłonność jest „średnio^{P}” To ocena jest „średnio^{L}” z wagą „0,34”,
R-4. Jeśli pracochłonność jest „niska” To ocena jest „wysoka” z wagą „0,34”,

Reguły oceny ryzyka:
R-1: Jeśli ryzyko jest „wysokie” To ocena jest „niska” z wagą „0,23”,
R-2: Jeśli ryzyko jest „średnie” To ocena jest „średnio” z wagą „0,23”,
R-3: Jeśli ryzyko jest „niskie” To ocena jest „wysoka” z wagą „0,23”,

d) ostateczny wynik z powyższych wzorów przedstawia się ogólnym wzorem:

$$\mu_{D'}(y_i) = \max\{\min[\mu_A(x), \mu_B(y)]\} = \vee[\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)] \tag{13}$$

e) następnie z otrzymanej wartości $\mu_D(y_i)$ znajdujemy konkretną wartość y_i i agregujemy poszczególne wyniki po przez $\sum_{i=1}^{n} y_i \cdot w_i$ i wybieramy maksimum.

Zgodnie z wyżej przedstawianą procedurą oceniamy poszczególne procesy budowlane.

Ocena procesów budowlanych według kryterium kosztu:

$$\begin{aligned}
&\mu(\mathrm{d}_1) = \vee\{\mu(4{,}5) \wedge \mu(\mathrm{o.sr.L})\} = 0{,}83 \\
&\mu(\mathrm{d}_2) = \vee\{\mu(4{,}6) \wedge \mu(\mathrm{o.sr.L})\} = 0{,}67 \\
&\mu(\mathrm{d}_3) = \vee\{\mu(4{,}0) \wedge \mu(\mathrm{o.w.})\} = 0{,}67
\end{aligned} \tag{14}$$

Ocena procesów budowlanych według kryterium pracochłonności:

$$\begin{aligned}
&\mu(\mathrm{d}_1) = \vee\{\mu(1{,}9) \wedge \mu(\mathrm{o.sr.P})\} = 0{,}53 \\
&\mu(\mathrm{d}_2) = \vee\{\mu(2{,}3) \wedge \mu(\mathrm{o.sr.L})\} = 0{,}93 \\
&\mu(\mathrm{d}_3) = \vee\{\mu(2{,}7) \wedge \mu(\mathrm{o.n.})\} = 0{,}60
\end{aligned} \tag{15}$$

Ocena procesów budowlanych według kryterium ryzyka:

$$\begin{aligned}
&\mu(\mathrm{d}_1) = \vee\{\mu(\mathrm{sr}) \wedge \mu(\mathrm{o.sr.})\} = 1{,}0 \\
&\mu(\mathrm{d}_2) = \vee\{\mu(\mathrm{n}) \wedge \mu(\mathrm{o.w.})\} = 0{,}83 \\
&\mu(\mathrm{d}_3) = \vee\{\mu(\mathrm{w}) \wedge \mu(\mathrm{o.n.})\} = 0{,}84
\end{aligned} \tag{16}$$

Mając poszczególne wartości funkcji przynależności (μ) obliczamy wartości ocen (yi) dla różnych kryteriów na podstawie następujących wzorów:

- dla oceny niskiej: $y_i = 5 - \mu \cdot (5 - 0)$
- dla oceny średnio^{L}: $y_i = \mu \cdot (5 - 0) + 0$
- dla oceny średnio^{P}: $y_i = 10 - \mu \cdot (10 - 5)$ (17)
- dla oceny wysokiej: $y_i = \mu \cdot (10 - 5) + 5$

Tabela nr 4 przedstawia wartości poszczególnych ocen (y_i) obliczanych na podstawi wartosci (μ).

Tab. 4. Obliczone wartości (y_i)

Proces budowlany	Decyzja	Koszt wykonania $1m^2$ [tys. zł/$1m^2$]	Pracochłonność $1m^2$ [r-g/$1m^2$]	Ryzyko techniczno-technologiczne
		$\mathbf{K_{koszt}}$	$\mathbf{K_{pr}}$	$\mathbf{K_r}$
P_1	d_1	4,15	7,35	5,0
P_2	d_2	3,35	4,65	9,2
P_3	d_3	8,35	2,0	0,8

Mając obliczone wartości y_i i wagi poszczególnych kryteriów obliczamy poszczególne procesy (decyzje) budowlane:

$$\begin{aligned} d_1 &= 4{,}15x0{,}43 + 7{,}35x0{,}34 + 5x0{,}23 = 5{,}43 \\ d_2 &= 3{,}35x0{,}43 + 4{,}65x0{,}34 + 9{,}2x0{,}23 = 5{,}14 \\ d_3 &= 8{,}35x0{,}43 + 2{,}0x0{,}34 + 0{,}8x0{,}23 = 4{,}45 \end{aligned} \tag{18}$$

stąd optymalny wariant realizacji jest:

$$\tilde{Z} = \max\left\{\sum_{i=1}^{M}\left(\tilde{w}_i \cdot \tilde{K}_i(x)\right)\right\} = \max\{d_i\} = \max\{5{,}43;5{,}14;4{,}45\} = 5{,}43 \tag{19}$$

Optymalnym wariantem procesów budowlanych przy określonych warunkach realizacji jest wariant P_1 (patrz tab.1).

PODSUMOWANIE

Rozpatrując sytuacje decyzyjną w zakresie wykonawstwa budowlanego widzimy, że procesy budowlane zakłócane są pod wpływem różnych czynników. Czynniki te mają charakter niepewny, nieprecyzyjny i nieścisły. I zawsze powstaje problem jak je opisać? W tym celu zastosowanie w tych zagadnieniach elementów teorii zbiorów rozmytych ułatwia podejmowanie optymalnej decyzji.

Z drugiej strony uwzględnienie wiele czynników oraz ich wpływy na cechy charakterystyczne lub właściwości procesu budowlanego (np. na koszt, czas, itd.) powoduje, że w rzeczywistości zawsze mamy do czynienia z analizą wielokryterialną. W celu podejmowania właściwych (optymalnych) decyzji trzeba przeprowadzać optymalizację wielokryterialną.

Z przedstawionego zadania można zauważyć, że według naszej preferencji kryteriów oraz sposobu ich wartościowania, optymalnym wariantem jest wariant pierwszy (P_1-proces budowlany nr 1). Natomiast wcale ten wariant, patrząc na poszczególne kryteria osobno (optymalizacja jednokryterialna), nie zawsze jest lepszym wariantem. Gdyż poziom ryzyka przy tym wariancie jest średni. Oznacza to, że przy innych wartościach wag kryteriów ciąg preferencyjny może wyglądać inaczej. Wariat nr 3, z punktu widzenia kosztu, jest najlepszym wariantem, ale z punktu widzenia czasu i poziomu ryzyka jest najgorszym. Z kolei z punktu widzenia ryzyka wariant drugi jest najlepszym wariantem. Natomiast z punktu widzenia kosztów jest wariantem najgorszym. Udowadnia to, że w optymalizacji wielokryterialnej zasadnicze i najważniejsze znaczenie ma tworzenie właściwych wag przyjętych kryteriów.

BIBLIOGRAFIA

1. Baas S.M., Kwakernaak H.: *Rating and Raking of Multiple-Aspects Alternatives Using Fuzzy Sets*. Automatica, vol. 13 (1977), pp. 47-58.

2. Dubois D., Prade H.: *A review of fuzzy sets aggregation connectives*. Information Sciences 36, 85- 121, 1985,
3. Eschenauer H., Koski J., Osyczka A.: *Multicriteria Design Optimization*. Springer-Verlag, Berlin 1990.
4. Fuller R., Carlsson C.: *Fuzzy Multiple Criteria Decision Making*. Fuzzy Sets and Systems, 78(1996), pp. 139-153.
5. Galas Z, Nykowski I, Żółkiewski Z.: *Programowanie wielokryterialne.* PWE, Warszawa 1987r.
6. Ibadov N., Kulejewski J.: *Wykorzystanie zbiorów rozmytych do oceny skuteczności dostawcy materiałów budowlanych w procesie logistycznym*. Logitrans - VIII konferencja naukowo-techniczna. Logistyka, Systemy transportowe, Bezpieczeństwo w transporcie. Str.129, 12-15 kwietnia Szczyrk 2011r.
7. Ibadov N.: *Wykorzystanie teorii zbiorów rozmytych do podejmowania decyzji w budownictwie*. Konferencja naukowo-techniczna: „Sterowanie procesami inwestycyjnymi w budownictwie wodnym i morskim". Szczecin-Międzyzdroje, 17-20 czerwca 1999 r.
8. Kasprzyk J.: *Zbiory rozmyte w analizie systemowej.* PWN, Warszawa 1986r.
9. Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L.: *Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte*. PWN, Warszawa - Łódź 1997 r.
10. Yager R. R., Filev D. P.: *Podstawy modelowania i sterowania rozmytego*. WNT, Warszawa 1995 r.
11. Yager R.R.: *A general approach to criteria aggregation using fuzzy measures*. International Journal of Man-Machine Studies 38, 187-213, 1993,
12. Yager R.R.: *Fuzzy Decision Making Including Unequal Objectives*. Fuzzy Sets and Systems, vol. 1 (1978), pp. 87-95.
13. Zadeh L.A.: *A computational approach to fuzzy quantizers in natural languages*. Computing and Mathematics with Applications 9, 149-184, 1983,
14. Zadeh L.A.: *Fuzzy Sets, Information and Control*, 1965, vol. 8.

MULTICRITERIAL RATING OF CONSTRUCTION PROCESSES INCLUDING FUZZY MODELING OF TECHNOLOGICAL UNCERTAINTY ASPECTS

Abstract

The paper discusses the problem of multi-criteria evaluation of construction processes based on the fuzzy modeling of the technological uncertainty. Issues of uncertainty associated with the technological aspects are treated as the technological risk of a given process and adopted as an additional criterion of assessment. All of the evaluation criteria are modeled and evaluated on the basis of the fuzzy sets theory. The paper also proposes the assessment (optimization) procedure based on the fuzzy sets and fuzzy reasoning theory with the numerical weights of the criteria of assessment. Finally, the paper presents a numerical example.

Autor:
dr inż. Nabi IBADOV– Politechnika Warszawska