

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego z wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych

ISTOTNE ELEMENTY PREZENTACJI:

- wprowadzenie,
- wspomaganie podejmowanie wybranych decyzji planistycznych w zarządzaniu przedsięwzięciem budowlanym,
- określenie poziomu zagrożenia parametrów planistycznych przedsięwzięcia oraz rozmyte modelowanie czasów wykonania robót budowlanych,
- wybrane elementy harmonogramowania procesów budowlanych wraz z metodami planowania sieciowego z wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych,
- planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytymi węzłami decyzyjnym.

Dr hab. inż. Nabi Ibadov, Prof. uczelni
Wydział Inżynierii Lądowej PW

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego z wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych

WPROWADZENIE:

- **Problem badawczy** dotyczy wybranych *elementów planowania przedsięwzięć budowlanych w zakresie ulepszenia metod i modeli wspomagających podejmowania racjonalnych decyzji planistycznych oraz harmonogramowania wraz z metodami planowania sieciowego,*
- **Głównym celem** jest *rozwinięcie istniejących metod podejmowania decyzji planistycznych oraz harmonogramowania wraz z modelami planowania sieciowego przez wykorzystanie elementów teorii zbiorów rozmytych w warunkach niestatystycznej niepewności.*

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego z wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych

WPROWADZENIE:

▪ **Myślą przewodnią** jest fundamentalne podejście opierające się na teoretycznych podstawach planowania stosowanych w przedsiębiorstwach, z którego wynika, że plan jest zbiorem decyzji, które tworzą wybory dotyczące przedmiotu, podmiotu, okresu, elementów i charakterystyk planu oraz, że kompleksowy proces planowania jest sekwencyjny, cykliczny (powtarzalny) i obejmuje: prognozowanie, programowanie i tworzenie planu. Ponadto, że planowanie przedsięwzięć budowlanych najczęściej jest realizowane w środowisku o wysokim poziomie niepewności i parametry planistyczne są zakłócone w skutek wpływu różnych czynników zewnętrznych i wewnętrznych, powodujących rozbieżność między projektowanymi planowymi parametrami oraz parametrami rzeczywistymi przedsięwzięcia. W związku z tym należy dążyć do ulepszenia metod i modeli podejmowania decyzji planistycznych wykorzystując **adekwatne do problemu narzędzia matematyczne** oraz proponować nowe podejście integrujące podejmowanie decyzji z metodami planowania sieciowego.

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego z wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych

WPROWADZENIE:

Sformułowano następujące **pytania badawcze**:

- *Jaka jest specyfika i znaczenie funkcji planowania w zarządzaniu przedsięwzięciem?*
- *Jakie decyzje planistyczne, które prowadzą do wyboru elementów planowania mają kluczowy charakter?*
- *Jaka jest istota niepewności w planowaniu i realizacji przedsięwzięć budowlanych?*
- *Jakie są główne czynniki zakłócające parametry planistyczne przedsięwzięcia budowlanego i jak je uwzględnić w modelowaniu parametrów planistycznych przedsięwzięcia?*
- *Jak ulepszyć wybrane elementy metod harmonogramowania i modeli sieciowych, w których można będzie zastosować adekwatne do rodzajów niepewności narzędzia matematyczne oraz stworzyć kompleksowy model sieciowy, w którym planowanie uwzględniać będzie wybrane decyzje planistyczne?*

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego z wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych

WPROWADZENIE:

Teoretyczne i metodologiczne podstawy *stanowiły publikacje naukowe krajowych i zagranicznych autorów w zakresie zarządzania przedsięwzięciem budowlanym. W tym kontekście warto wymienić wybrane prace: w zakresie planowania, projektowania i zarządzania realizacją budowy; w zakresie realizacji przedsięwzięcia w warunkach ryzyka i niepewności; w zakresie ogólnej teorii planowania; w zakresie teorii zbiorów rozmytych i ich zastosowanie; w zakresie harmonogramowania rozmytego i modelowania sieciowego.*

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego z wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych

WPROWADZENIE:

Zastosowany aparat matematyczny odnosi się do teorii zbiorów rozmytych, ale w niektórych przypadkach teorię tę zastosowano w połączeniu z elementami teorii możliwości, teorii prawdopodobieństwa, teorii podejmowania decyzji, teorii porządkowania i teorii grafów.

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego z wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych



Rys.1. Konceptualny model odzwierciedlający rozwiązanych zadań w zakresie planowania przedsięwzięcia budowlanego.

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego z wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych

Wspomaganie podejmowanie wybranych decyzji planistycznych w zarządzaniu przedsięwzięciem budowlanym

Podejście koncepcyjne w tym zakresie polega na wytypowaniu decyzji planistycznych, które mają kluczowy charakter w zakresie planowania, przygotowania i realizacji przedsięwzięć budowlanych. Są to **decyzje w zakresie wyboru: wariantu (rodzaju) przedsięwzięcia budowlanego, technologii i wykonawcy robót budowlanych**. Inaczej mówiąc jest to sekwencja decyzji planistycznych od wyboru rodzaju obiektu (inwestycji) poprzez wybór wykonawcy i wariantu technologicznego wykonania obiektu.

Dlaczego akurat te decyzje?

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego z wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych

Wspomaganie podejmowanie wybranych decyzji planistycznych w zarządzaniu przedsięwzięciem budowlanym

Proponowany aparat matematyczny:

- **Rozmyta relacja preferencji** (wybór przedsięwzięcia, wykonawcy i technologii)
- **Wnioskowanie rozmyte z wagami reguł** (wybór przedsięwzięcia)

Wspomaganie podejmowanie wybranych decyzji planistycznych w zarządzaniu przedsięwzięciem budowlanym

Proponowane kryteria oceny:

W kontekście **wyboru przedsięwzięcia** wykazano, że ocena inwestycji budowlanych oprócz ekonomicznej efektywności powinna uwzględnić także ***złożoność techniczno-technologiczną, organizacyjną i możliwości finansowania***. Z praktycznego punktu widzenia kryteria te mają fundamentalne znaczenia w czasie realizacji przedsięwzięcia budowlanego.

W kontekście **wyboru wykonawcy** zgrupowane kryteria oceny: *kompetencja techniczna i możliwości finansowe*.

W kontekście **wyboru rozwiązania technologicznego** : oprócz kryteriów czasowo-kosztowych należy jeszcze uwzględnić ogólnie sformułowane **kryterium złożoności technologicznej**

Wspomaganie podejmowanie wybranych decyzji planistycznych w zarządzaniu przedsięwzięciem budowlanym

Założmy, że na zbiorze alternatyw (wariantów przedsięwzięcia) $X = \{x_i\}$, ustalone są rozmyte relacje preferencji $R_1, R_2, \dots, R_m$ z odpowiednimi funkcjami przynależności $\mu_R(x_i, x_j)$ oraz wagi w_k odpowiednich relacji, wynikające z ważności kryteriów oceny. Należy wybrać najlepszą alternatywę ze zbioru $\{X, R_k\}$.

Rozwiązania takiego zadania dokonujemy według poniższego postępowania:

1. Tworzymy $n \times n$ wymiarowe macierze poszczególnych relacji $R_1, R_2, \dots, R_m$ z odpowiednimi funkcjami przynależności $\mu_R(x_i, x_j)$ za pomocą wzoru

$$\mu_R(x_i, x_j) = \begin{cases} 1, & \text{jeśli } x_i \geq x_j \text{ lub } x_i \approx x_j \\ 0, & \text{jeśli } x_i \prec x_j \end{cases}$$

2. Tworzymy rozmytą relację $P_1 = R_1 \cap R_2 \cap \dots \cap R_m$. Jest to macierz o wymiarach $n \times n$, której poszczególne elementy $\mu_{P_1}(x_i, x_j)$ określa się wzorem

$$\mu_{P_1}(x_i, x_j) = \min\{\mu_1(x_i, x_j), \dots, \mu_m(x_i, x_j)\}$$

Wspomaganie podejmowanie wybranych decyzji planistycznych w zarządzaniu przedsiębiorstwem budowlanym

3. Określamy podzbiór niezdominowanych alternatyw x_i w zbiorze $\{X, P_1\}$ według wzoru

$$\mu_{P_1}^{nd}(x_i) = 1 - \sup_{x_j} [\mu_{P_1}(x_j, x_i) - \mu_{P_1}(x_i, x_j)]$$

4. Tworzymy $n \times n$ wymiarową macierz rozmytej relacji P_2 z uwzględnieniem wag kryteriów w_k , której elementy określamy wzorem

$$\mu_{P_2}(x_i, x_j) = \sum_{k=1}^m w_k \mu_k(x_i, x_j)$$

5. Określamy podzbiór niezdominowanych alternatyw x_i w zbiorze $\{X, P_2\}$ według wzoru

$$\mu_{P_2}^{nd}(x_i) = 1 - \sup_{x_j} [\mu_{P_2}(x_j, x_i) - \mu_{P_2}(x_i, x_j)]$$

Funkcja ta porządkuje alternatywy według stopnia ich niezdominowalności.

Wspomaganie podejmowanie wybranych decyzji planistycznych w zarządzaniu przedsięwzięciem budowlanym

6. Znajdujemy przecięcie funkcji przynależności $\mu_{P_1}^{nd}$ oraz $\mu_{P_2}^{nd}$ według wzoru

$$\mu^{nd}(x_i) = \min\{\mu_{P_1}^{nd}(x_i), \mu_{P_2}^{nd}(x_i)\}$$

gdzie:

$\mu^{nd}(x_i)$ – określa stopień niezdominowalności alternatywy x_i . Oznacza to, że im wyższa wartość $\mu^{nd}(x_i)$, tym alternatywa x_i jest „lepsza”.

7. Wyboru najlepszej alternatywy ze zbioru X_{nd} (najbardziej racjonalnego według przyjętej zasady oceny i ważności kryteriów) dokonujemy za pomocą wzoru

$$\mu^{nd}(x) = \sup_{x \in X} \{\mu^{nd}(x_i)\}$$

Wspomaganie podejmowanie wybranych decyzji planistycznych w zarządzaniu przedsięwzięciem budowlanym

Przedstawiony algorytm zastosowano do przykładu wyboru przedsięwzięcia, wykonawcy i technologii.

Tworzenie rozmytej relacji preferencji pozwala także na uszeregowanie wszystkich alternatyw od najlepszego do najgorszego. Pozwala to też stworzyć szczegółowy pogląd co do całego zbioru rozpatrywanych alternatyw.

Opracowane podejście daje możliwość uwzględnienia i lepszej formalizacji kryteriów oceny w stosunku do klasycznych metod oceny wielokryterialnej.

Wspomaganie podejmowanie wybranych decyzji planistycznych w zarządzaniu przedsięwzięciem budowlanym

Ibadov N.: „Construction project selection with the use of fuzzy preference relation”; AIP Conf. Proc. 1738, 200005 (2016); DOI: 10.1063/1.4951977.

Ibadov N.: „Contractor selection for construction project, with the use of fuzzy preference relation”; XXIV Polish–Russian–Slovak Seminar “Theoretical Foundation of Civil Engineering”, Published by Elsevier Ltd., Procedia Engineering, Volume: 111, Pages: 317-323, DOI: 10.1016/j.proeng.2015.07.095.

Ibadov N., Rosłon J.: “Technology selection for construction project, with the use of fuzzy preference relation”, Archives of Civil Engineering. Vol. 61, Issue 3 (2015), pp.105-118. DOI: 10.1515/ace-2015-0028

Wspomaganie podejmowanie wybranych decyzji planistycznych w zarządzaniu przedsięwzięciem budowlanym

Wnioskowanie rozmyte z wagami reguł (wybór przedsięwzięcia)

W autorskim podejściu metodologicznym istotne znaczenie ma przedstawienie kryteriów oceny przedsięwzięcia budowlanego w notacji zbiorów rozmytych modelujących je odpowiednimi funkcjami przynależności oraz zmiennymi lingwistycznym.

W tym celu zastosowano typowe funkcje przynależności klasy L , t i γ oraz zmienne lingwistyczne, których dziedzinę stanowi zbiór pojęć wyrażonych nieprecyzyjnie za pomocą języka naturalnego, na przykład w postaci "niskie", "średnie", "wysokie".

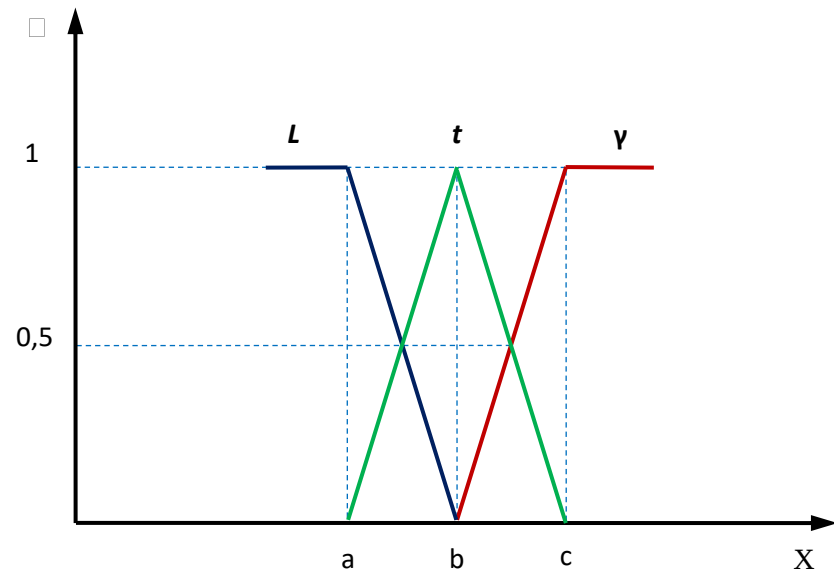
Wspomaganie podejmowanie wybranych decyzji planistycznych w zarządzaniu przedsiębiorstwem budowlanym

Wnioskowanie rozmyte z wagami reguł

$$L = (x; a, b) = \begin{cases} 1 & \text{dla } x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a} & \text{dla } a \leq x \leq b \\ 0 & \text{dla } x \geq b \end{cases}$$

$$t = (x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{dla } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{dla } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{dla } x \geq c \end{cases}$$

$$\gamma = (x, a, b) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq b \\ \frac{x-b}{c-b} & \text{dla } b \leq x \leq c \\ 1 & \text{dla } x \geq c \end{cases}$$



Rys. . Funkcje przynależności klasy L , t i γ .

Wspomaganie podejmowanie wybranych decyzji planistycznych w zarządzaniu przedsięwzięciem budowlanym

Wnioskowanie rozmyte z wagami reguł (wybór przedsięwzięcia)

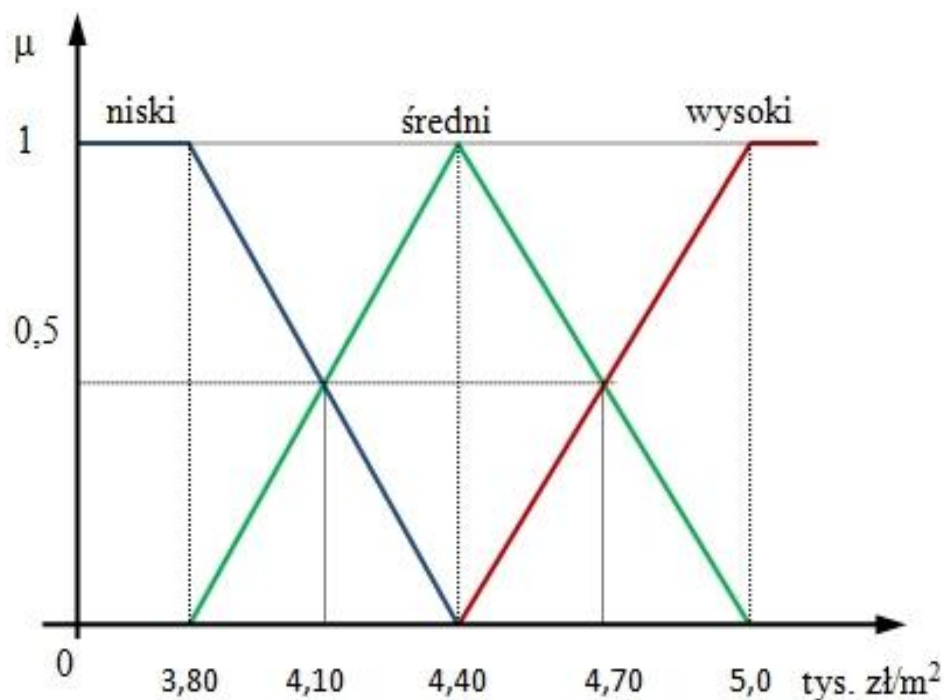
Metodologiczne podejście proponowanej metody wybory przedsięwzięcia budowlanego przedstawiano dla następującego przykładu:

Tab. Wartości kryteriów wyboru przedsięwzięcia budowlanego

Przedsięwzięcie budowlane	Koszt wykonania 1m^2 [tys. zł/ 1m^2]	Pracochłonność 1m^2 [r-g/ 1m^2]	Ryzyko technologiczno organizacyjne
	K_{koszt}	K_{pr}	K_r
P_1	4,6	2,3	niskie
P_2	4,2	2,0	średnie
P_3	4,0	2,7	wysokie
Waga kryteriów	bardzo ważne = 0,43	ważne=0,34	średnio ważne=0,23

Rozwiązanie powyższego zadania z zastosowaniem teorii zbiorów rozmytych możemy przeprowadzić w następujący sposób:

Przedstawienie ocenianych kryteriów poszczególnych procesów budowlanych w kategoriach zbiorów rozmytych określając je następującymi zmiennymi lingwistycznymi "niskie", "średnie", "wysokie";



Funkcje przynależności zbiorów rozmytych kosztu wykonania.

Wnioskowanie rozmyte z wagami reguł (wybór przedsięwzięcia)

Tab. Wartości funkcji przynależności kosztu wykonania dla poszczególnych przedsięwzięć budowlanych

Przedsięwzięcie budowlane	Wartości kosztów [zł/1m ²]	Obliczenie funkcje przynależności	Etykieta
P ₁	4,6	$\mu(d_2) = \frac{5 - 4,6}{5 - 4,4} = 0,67$	średni ^P
P ₂	4,2	$\mu(d_3) = \frac{4,2 - 3,8}{4,4 - 3,8} = 0,67$	średni ^L
P ₃	4,0	$\mu(d_5) = \frac{4,4 - 4,0}{4,4 - 3,8} = 0,67$	niskie

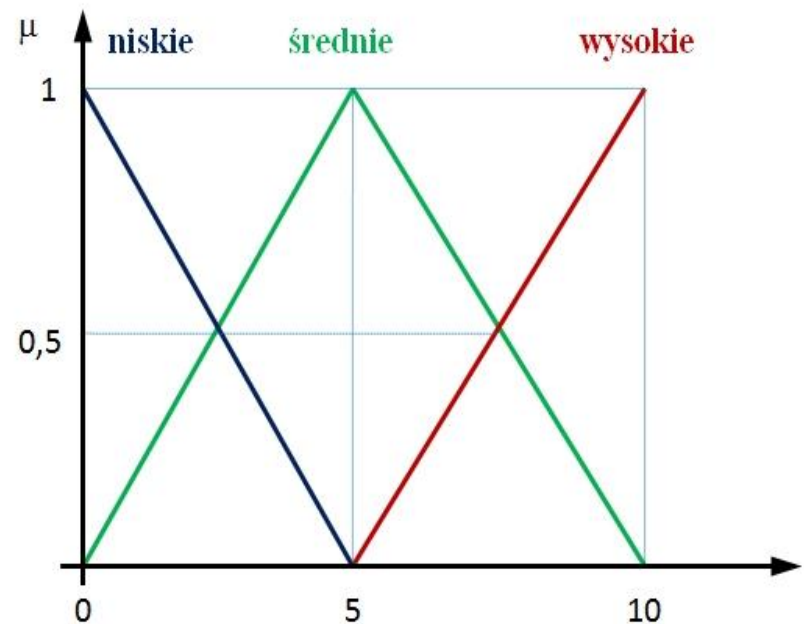
Wnioskowanie rozmyte z wagami reguł (wybór przedsięwzięcia)

Zmienne lingwistyczne opisujące ryzyko techniczno-organizacyjne przedstawiamy w skali (0,10). Przy czym poszczególne podzbiory rozmyte opisujemy następujący sposób: „niskie ryzyko” = $[1/0,0 + 0,5/2,5]$; „średnie ryzyko” = $[0,5/2,5 + 1/5 + 0,5/7,5]$; „wysokie ryzyko” = $[0,5/7,5 + 1/10]$.

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

Odpowiednie wartości ryzyka po przeliczeniu wynoszą:

$$r_{\text{niskie}} = 0,83; r_{\text{średnie}} = 5; r_{\text{wysokie}} = 9,2.$$

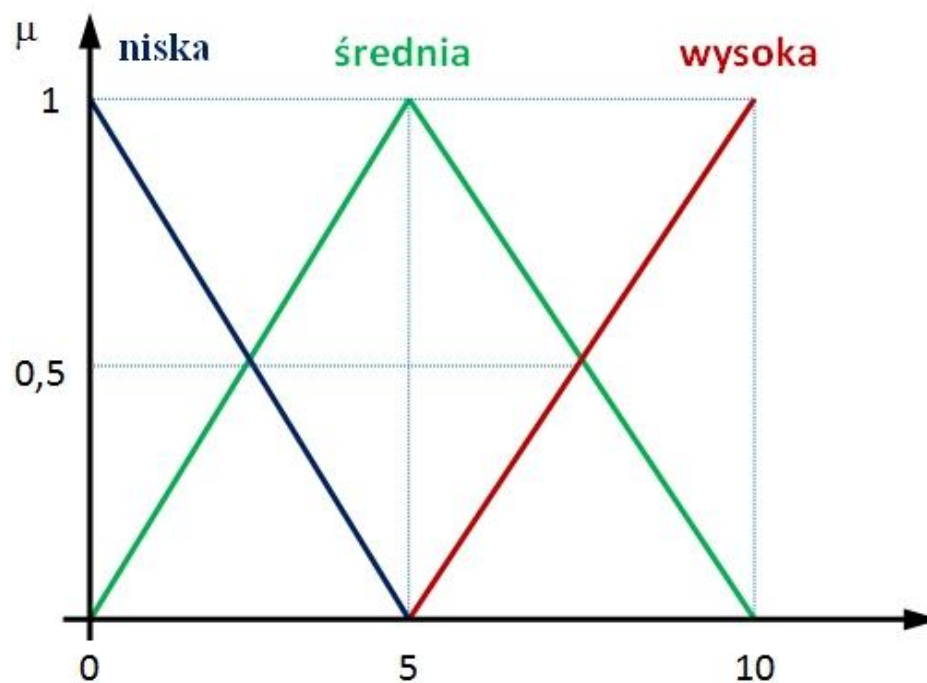


Rys. Funkcja przynależności poszczególnych ryzyk

Wnioskowanie rozmyte z wagami reguł (wybór przedsięwzięcia)

Rozmyta ocena poszczególnych wartości kryteriów wprowadza się w sposób następujący:

Ocena = {niska, średnia, wysoka}.



Rys. Funkcja przynależności zmiennych lingwistycznych ocen.

Wnioskowanie rozmyte z wagami reguł

Dla poszczególnych kryteriów ocen tworzy się reguły rozmyte w następujący sposób:

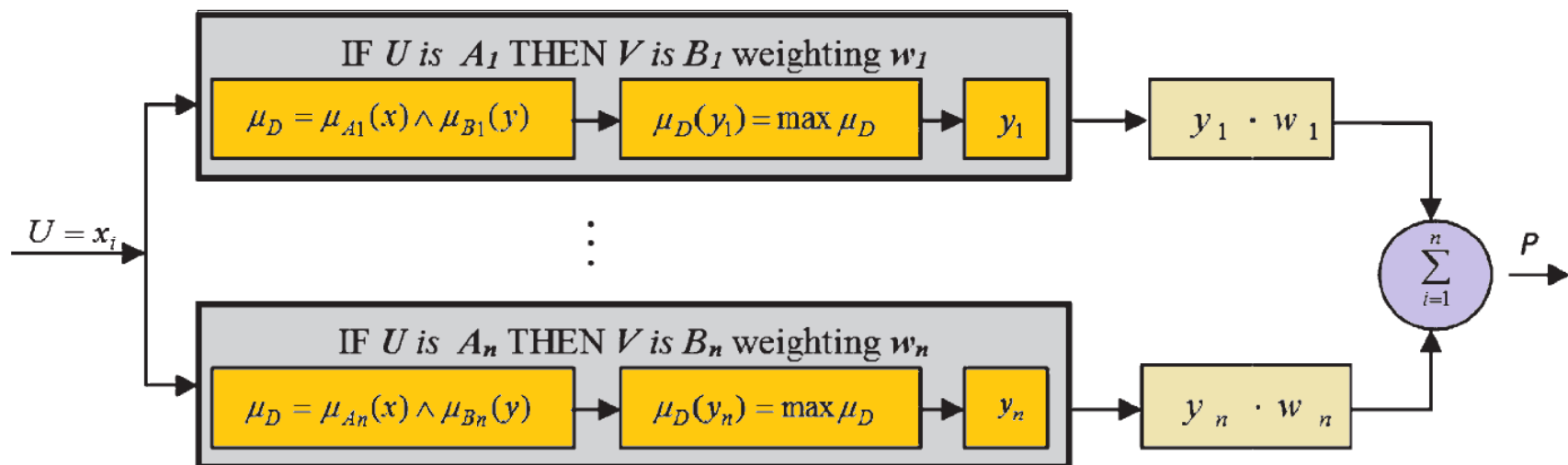
„Jeżeli U jest A , To V jest B waga W ”.

Reguły ocen kosztów wykonania:

- R-1: Jeśli koszty są „wysokie” To ocena jest „niska” z wagą „0,43”,
- R-2: Jeśli koszty są „średnie^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”,

Wnioskowanie rozmyte z wagami reguł (wybór przedsięwzięcia)

Rysunek . Przedstawia schemat obliczeniowy opisanej metody.



Wnioskowanie rozmyte z wagami reguł

Mając obliczone wartości y_i

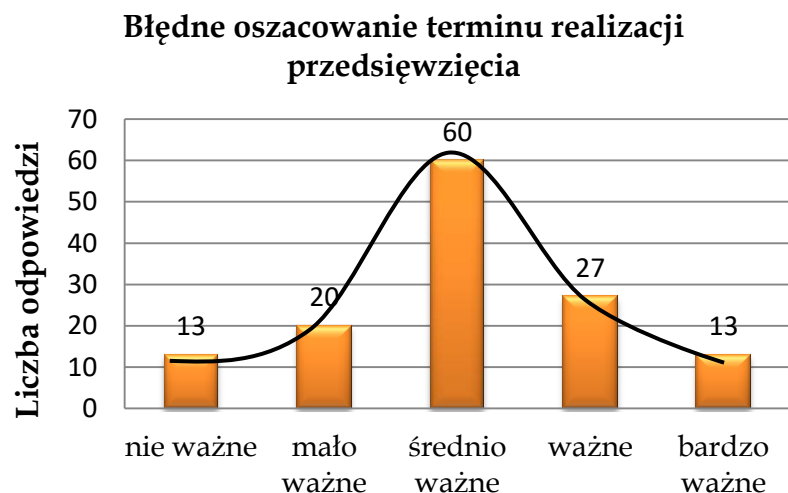
Tab. Obliczone wartości y_i

Przedsięwzięci e budowlane	Koszt wykonania 1m ² [tys. zł/1m ²]	Pracochłonność 1m ² [r-g/1m ²]	Ryzyko technologiczno- organizacyjne
P ₁	3,35	4,65	9,2
P ₂	6,65	6,65	5,0
P ₃	8,35	2,0	0,8

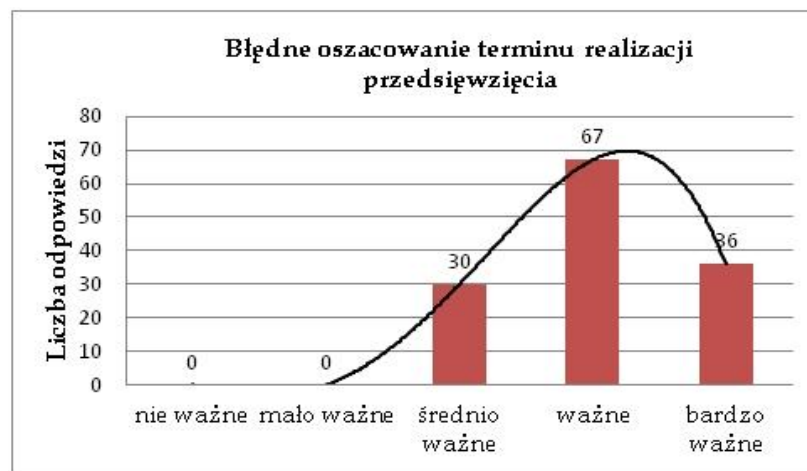
Mając obliczone wartości i wagi poszczególnych kryteriów, obliczamy ważone oceny poszczególnych przedsięwzięć budowlanych, które odpowiednio wynoszą: $P_1=5,14$; $P_2=6,27$; $P_3=4,45$. Stąd lepszym przedsięwzięciem jest P_2 .

Określenie poziomu zagrożenia parametrów planistycznych przedsięwzięcia oraz rozmyte modelowania czasów wykonania robót budowlanych

Przykładowe wykresy zmienności odpowiedzi dla wybranego czynnika „*Błędne oszacowanie terminu realizacji przedsięwzięcia*” wpływającego na czas i koszt realizacji przedsięwzięcia przedstawia się odpowiednio jak na rys.



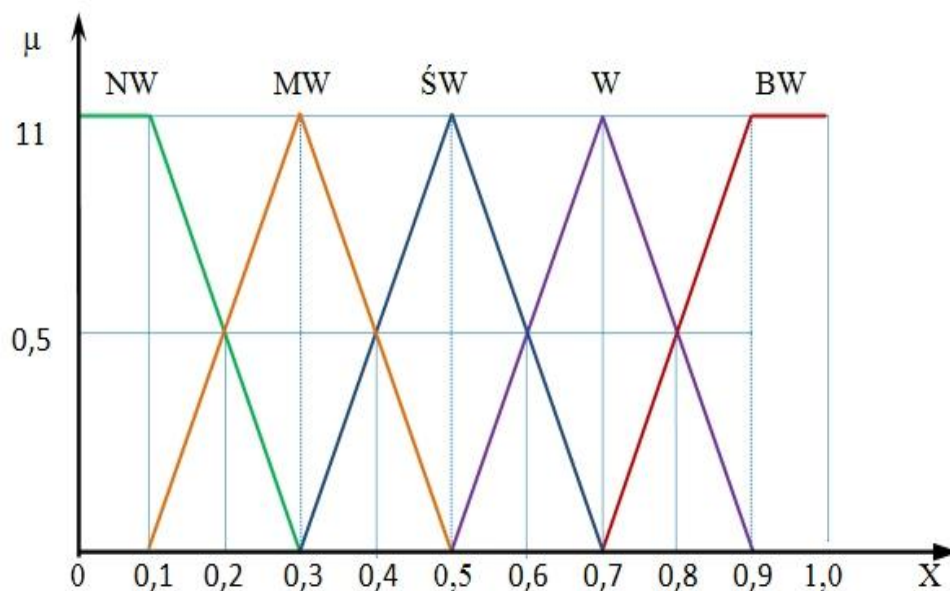
Czynnik „*Błędne oszacowanie terminu realizacji przedsięwzięcia*” w zmiennych lingwistycznych dla kosztu realizacji



Czynnik „*Błędne oszacowanie terminu realizacji przedsięwzięcia*” w zmiennych lingwistycznych dla czasu realizacji.

Określenie poziomu zagrożenia parametrów planistycznych przedsięwzięcia oraz rozmyte modelowania czasów wykonania robót budowlanych

Mając na uwadze definicję zbioru rozmytego do modelowania i konstruowania funkcji przynależności zmiennych lingwistycznych opisujących stopnie ważności (istotności) czynników autor kierował się następującym rozumowaniem: „W jakim stopniu czynnik X należy do zbioru rozmytego A ?” lub/ oraz „Czynnik X jest bardziej A niż czynnik Y ”. Funkcje przynależności poszczególnych czynników w skali $[0,0-1,0]$ pokazuje poniżej rysunek.



Po zebraniu i przeanalizowaniu danych z kwestionariuszy, stopień istotności (ważności) dla każdego czynnika określono zgodnie ze wzorem:

$$W_f = \sum w_i \cdot \left(\frac{n_i}{N} \right)$$

Gdzie:

W_f - wartość obliczeniowa ważności czynnika w skali od 0 do 1,

w_i - współczynnik ważności i-tej zmiennej lingwistycznej mierzona jako maksymalna wartość jej funkcji przynależności (na przykład dla zmiennej lingwistycznej: „mało ważne” - $w_i=0,3$, patrz rys.

n_i - liczba głosów oddanych na i-tą zmienną lingwistyczną,

N - ogólna liczba głosów (w naszym przypadku wynosi 133).

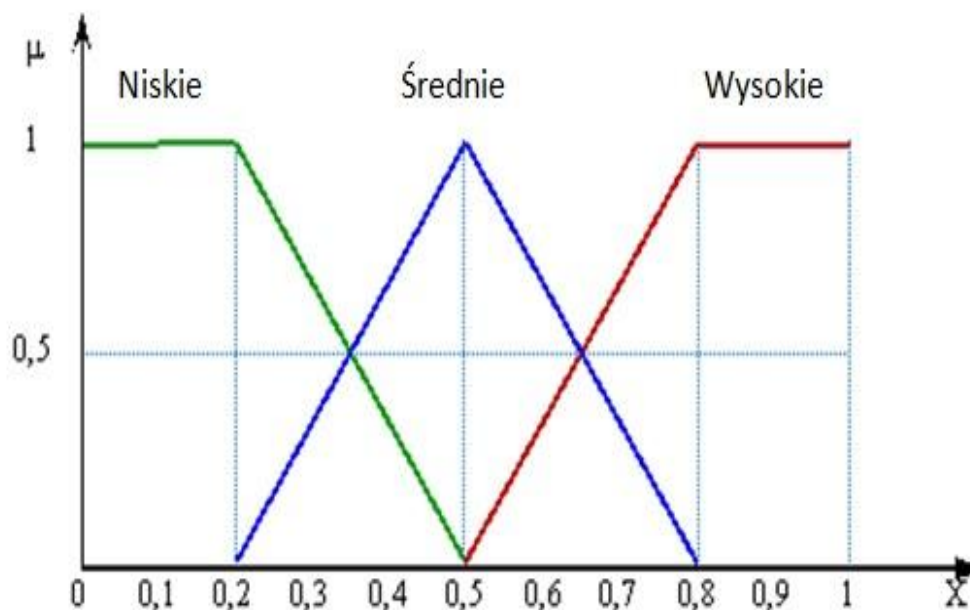
Przykładowe obliczenie względnej ważności wybranego czynnika wpływającego na czas realizacji przedsięwzięcia przedstawiono poniżej:

- *Błędne oszacowanie terminu realizacji przedsięwzięcia:*

$$W_f = \sum w_i \cdot \left(\frac{n_i}{N} \right) = \frac{(0,1 \cdot 0 + 0,3 \cdot 0 + 0,5 \cdot 30 + 0,7 \cdot 67 + 0,9 \cdot 36)}{133} = 0,71$$

Określenie poziomu zagrożenia parametrów planistycznych przedsięwzięcia oraz rozmyte modelowania czasów wykonania robót budowlanych

Założmy, że planista dla swojej sytuacji projektowej określa stopień zaistnienia danego zagrożenia liczbami rozmytymi w postaci następujących zmiennych lingwistycznych: $Niskie = (1/0,0; 1/0,2; 0/0,5)$; $Średnie = (0/0,2 + 1/0,5 + 0/0,8)$; $Wysokie = (0/0,5 + 1/0,8 + 1/1,0)$.



Funkcje przynależności stopnia zaistnienia (stan) czynników zagrożeń.

Określenie poziomu zagrożenia parametrów planistycznych przedsięwzięcia oraz rozmyte modelowania czasów wykonania robót budowlanych

Obliczenie poziomu zagrożenia parametrów realizacyjnych przedsięwzięcia budowlanego, jaka wiąże się z danym czynnikiem dokonujemy z zastosowaniem poniższego wzoru. Wynik obliczenia też jest liczbą rozmytą. (patrz tabela).

$$\mu_{A*B}(z) = \sup_{z=x*y} [\min(\mu_A(x), \mu_B(y))], \forall x, y, z \in R$$

W celu oszacowania poziomu poszczególnych rodzajów zagrożeń wyznaczamy dla każdego czynnika rzeczywistą liczbę przez defuzyfikację za pomocą wzoru:

$$y_c = \frac{\int y\mu(y)dy}{\int \mu(y)dy}.$$

Gdzie: y_c - jest liczbą rzeczywistą; y - wartość zmiennej bazowej; $\mu(y)$ - stopień przynależności wartości y do zbioru rozmytego.

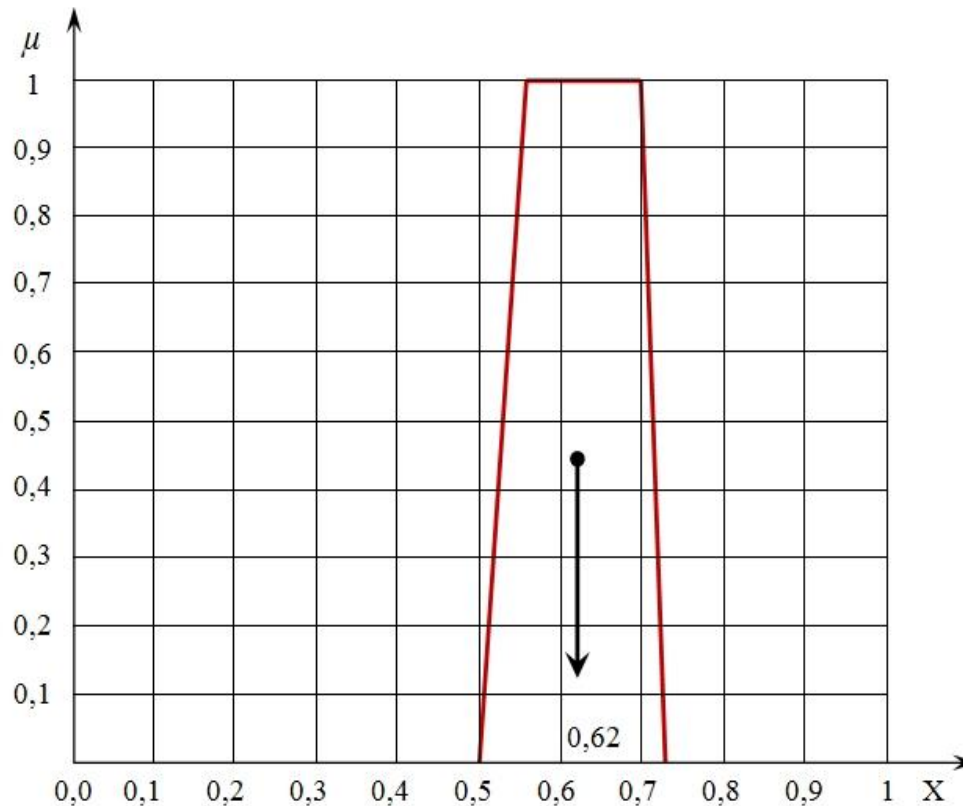
Na tym poziomie można jednoznacznie określić, z którym czynnikiem wiąże się największe (najmniejszy) zagrożenie i uwzględnić (nie uwzględnić) w planowaniu przedsięwzięcia.

Określenie poziomu zagrożenia parametrów planistycznych przedsięwzięcia oraz rozmyte modelowania czasów wykonania robót budowlanych

Czynniki	Stopień zaistnienia czynnika	Stopień ważności (istotności) czynnika	Iloczyn liczb rozmytych	Defuzyfikacja
Czynniki wpływające na czas realizacji przedsięwzięcia				
Napięty harmonogram przedsięwzięcia	Wysokie (0/0,5+1/0,8+1/1,0)	Ważne (0/0,5+1/0,7+0/0,9)	(0/0,5+1/0,56+1/0,7+0/0,72)	0,62
Błędne oszacowanie zakresu robót	Średnie (0/0,2+1/0,5+0/0,8)	Ważne (0/0,5+1/0,7+0/0,9)	(0/0,25+1/0,35+0/0,40)	0,334
Błędne oszacowanie terminu realizacji przedsięwzięcia	Niskie (1/0,0+1/0,2+0/0,5)	Ważne (0/0,5+1/0,7+0/0,9)	(1/0+0/0,1+1/0,14+0/0,18)	0,073
Czynniki wpływające na koszt realizacji przedsięwzięcia				
Napięty harmonogram przedsięwzięcia	Wysokie (0/0,5+1/0,8+1/1,0)	Ważne (0/0,5+1/0,7+0/0,9)	(0/0,5+1/0,56+1/0,7+0/0,72)	0,62
Błędne oszacowanie zakresu robót	Średnie (0/0,2+1/0,5+0/0,8)	Średnio ważne (0/0,3+1/0,5+0/0,7)	(0/0,24+1/0,25+0/0,35)	0,28
Błędne oszacowanie terminu realizacji przedsięwzięcia	Niskie (1/0,0+1/0,2+0/0,5)	Średnio ważne (0/0,3+1/0,5+0/0,7)	(1/0+0/0,06+1/0,1+0/0,14)	0,06

Określenie poziomu zagrożenia parametrów planistycznych przedsięwzięcia oraz rozmyte modelowania czasów wykonania robót budowlanych

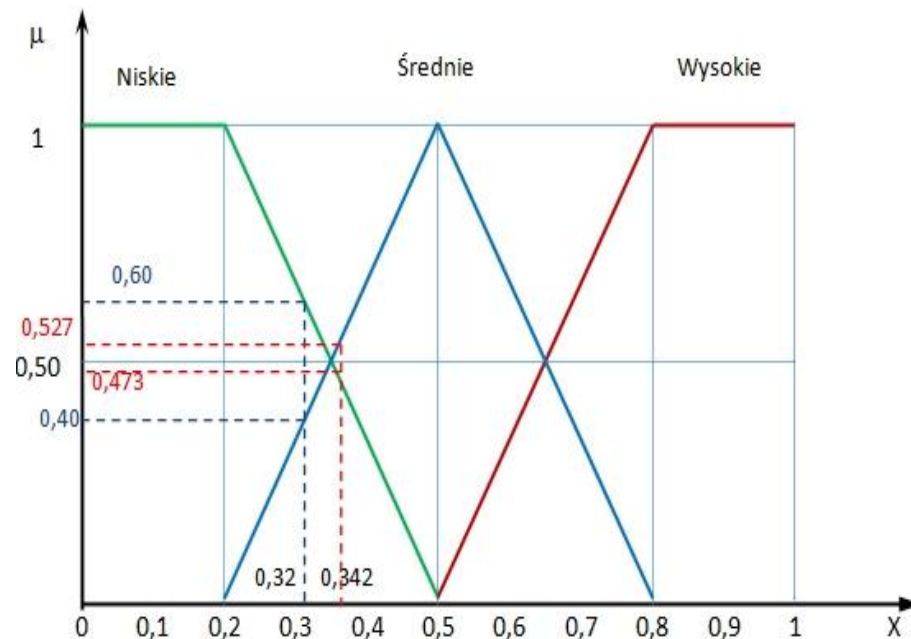
Graficzne interpretacje defuzyfikowanych wartości dla wybranych operacji przedstawia rysunek



Defuzyfikacja wg środka ciężkości iloczynu „wysokie” i „ważne”

Określenie poziomu zagrożenia parametrów planistycznych przedsięwzięcia oraz rozmyte modelowania czasów wykonania robót budowlanych

Zatem średnie arytmetyczne wartości zagrożenia czynników wpływających na czas i koszt realizacji odpowiednio wynoszą 0,342 i 0,320. Na podstawie tych wartości otrzymujemy wielkości zagrożeń wpływające na czas realizacji opisane zbiorem rozmytym **(0,473/Niskie; 0,527/Średnie)**, na koszt realizacji opisane ze zbiorem rozmytym **(0,6/Niskie; 0,4/Średnie)**.



Obliczenie poziomów zagrożenia

Określenie poziomu zagrożenia parametrów planistycznych przedsięwzięcia oraz rozmyte modelowania czasów wykonania robót budowlanych

Opracowana procedura pozwala menedżerowi (planiście) na wytypowanie czynników z najwyższym poziomem zagrożenia (lub z takim poziomem jaki ma istotne znaczenie dla jego projektu), a także modelować ich wspólny poziom zagrożenia oraz uwzględniać tej wiedzy w planowaniu.

Ibadov N.: „Determination of the Risk Factors Impact on the Construction Projects Implementation Using Fuzzy Sets Theory”; Acta Physica Polonica A, Vol. 130(2016), No. 1, pp. 107 – 111. DOI: 10.12693/APhysPolA.130.107.

Rozmyte modelowania czasów wykonania robót budowlanych

Ibadov N.: “Fuzzy estimation of activities duration in construction projects”, Archives of Civil Engineering. Volume 61, Issue 2 (2015), Pages 23–34. DOI: 10.1515/ace-2015-0012.

Opracowaną metodykę można ***praktyczne zastosować*** do analizy sieciowej (na przykład modelując czas trwania jako liczby rozmyte o rozrzucie nośnika równej czasowi oczekiwaniu), sporządzenia rozmytego harmonogramu budowy na etapie projektowania budowy, a także przy modelowaniu czasu zakończenia całego przedsięwzięcia oraz przy aktualizacji harmonogramu w czasie realizacji budowy.

Ibadov N.: „ Construction project planning under fuzzy time constraint”; International Journal of Environmental Science and Technology (2018). <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1695-x>.

Co z powyższych wynika?

W konsekwencji wyżej opracowanych trzech zakresów można stwierdzić, że w celu realizacji przedsięwzięcia budowlanego bez zakłóceń i osiągnięcia celu z jak najmniejszym odchyleniem od projektowanych (planowanych) parametrów na etapie planowania, konieczne jest:

- zastosowanie właściwego podejścia i narzędzie matematycznego – adekwatnego do rodzaju niepewności i lepiej opisującego sytuację decyzyjną,
- zapewnienie integralności decyzji planistycznych z narzędziami i modelami planowania. To poprawi widoczność zmienności parametrów planowanych.

Mając powyższe na uwadze autor opracował nowy **alternatywny model sieciowy z rozmytym węzłem decyzyjnym**.

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytym węzłami decyzyjnym

Istota i podejście metodologiczne

Model sieciowy jednego tego samego przedsięwzięcia może mieć różną topologię i strukturę. Alternatywny model sieciowy z rozmytym węzłem decyzyjnym pozwala ocenić różne topologie modeli sieciowych, porównywać je i wybrać model sieciowy najbardziej odpowiadający celowi przedsięwzięcia w warunkach nieprecyzyjności i niepewności.

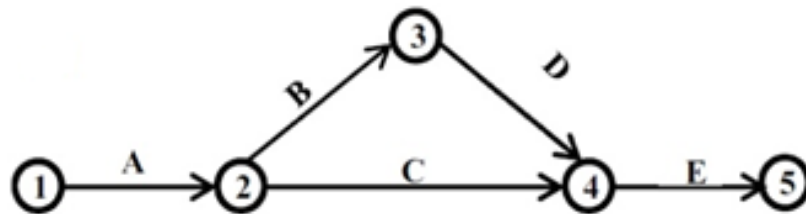
Alternatywny model sieciowy z rozmytym węzłem decyzyjnym jest to, acykliczny multi-graf, gdzie niektóre (lub wybrane) węzły (zdarzenia) są ze sobą powiązane wielokrotnymi (multi) strzałkami. Strzałki te odpowiadają poszczególnym alternatywom wykonaniom robót.

Poziom preferencji opisany przez wskaźniki (wartości) funkcji przynależności zmiennych lingwistycznych (lub zbioru rozmytego) w stosunku do istotnych charakterystyk przedsięwzięcia, określa się na podstawie rozmytego modelu decyzyjnego w węźle decyzyjnym.

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytym węzłami decyzyjnym

Do każdej roboty (czynności) modelu sieciowego (i,j) , $i = 1, \dots, n-1, j = 2, \dots, n, i < j$, oprócz podstawowych cech: czasy trwania, koszty, liczba wykonawców można dodatkowo uwzględniać złożoność technologiczno-organizacyjną informująca o realnej wykonalności danej roboty. Wskutek oceny alternatyw każda alternatywna czynność uzyskuje stopień (wskaźnik) preferencji danej roboty w postaci wartości funkcji przynależności „większe-równie” $\mu_{\geq}$. Najbardziej preferowalna robota w określonej sytuacji decyzyjnej będzie robota z najwyższym wskaźnikiem preferencji.

Rozpatrzmy dwupunktowy model sieciowy. Konceptualny model alternatywnego modelu sieciowego z rozmytym węzłem decyzyjnym w stosunku do tradycyjnej sieci dwupunktowej przedstawia poniższy rysunek.

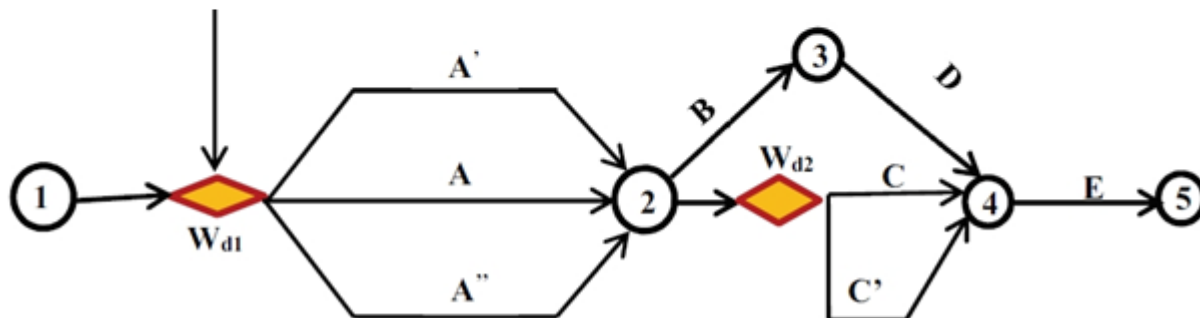


Rozmyty węzeł decyzyjny:

$$W_d = \{1, 2, \dots, m\}$$

Określenie poziomu preferencji:

$$\mu_{\geq}(i, j) \in [0, 1]$$



Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytym węzłami decyzyjnym

Niech $G = (X, A, S, W_d)$ będzie acykliczny multigraf jako alternatywny model sieciowe, który posiada $X = \{1, 2, \dots, k\}$ zbiór wierzchołków zwanych w modelu sieciowym zdarzeniami; zbiór zorientowanych łuków modelujących wszystkie alternatywne warianty robót $A = \{a_1, \dots, a_i, \dots, a_n\}$ (w rozpatrywanym przypadku zbiór alternatywnych robót czynności A i C) i zbiór zorientowanych łuków modelujących wszystkie pojedyncze roboty $S = \{s_1, \dots, s_i, \dots, s_u\}$ oraz zbiór węzłów decyzyjnych $W_d = \{1, 2, \dots, m\}$ pozwalających dokonać na podstawie określonego modelu decyzyjnego wyboru najbardziej preferowanego wariantu robót.

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytym węzłami decyzyjnym

Poziom preferencji $\mu_{\geq}(i, j) \in [0, 1]$ roboty (i, j) w r alternatywach określa się w węźle decyzyjnym za pomocą kryteriów oceny oraz modelu decyzyjnego.

Pojawienie się węzła decyzyjnego zapowiada pojawienie się zbioru możliwych dróg alternatywnych. Po wyborze najbardziej preferowanej drogi, dalsza część sieci rozwiązuje się w tradycyjny sposób.

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytym węzłami decyzyjnym

Taki element wspomagający decyzje połączony z modelem sieciowym daje możliwości specjalistom dokonania bieżącej analizy sieciowej, sprawdzenia skutków wybranej alternatywnej drogi (czynności w sieci).

Informacja o stopniach preferencji $\mu_{\geq}$ na poszczególnych alternatywnych drogach (czynnościach) stwarza dodatkową bazę informacyjną na wypadek rezygnacji z wybranego rozwiązania lub też wprowadzać inne dodatkowe istotne cechy w skutek zmiany sytuacji decyzyjnej (zmiana warunków realizacji w różnym zakresie).

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytym węzłami decyzyjnym

Kolejnym istotnym elementem metodologicznym jest rozmyta ocena rozpatrywanych alternatyw za pomocą zmiennej lingwistycznej, jak „lepsze”, „gorsze”, „duży”, „mały” i itp.

Zapewnia to także możliwość zaoferowania pewnego sposobu formalizacji wstępnych danych i sposobu podejmowania decyzji, który umożliwia porównanie alternatyw poprzez obliczenie wartości liczbowych preferencji i tworzenie szeregu preferencyjnego (porządkowanie alternatyw).

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytym węzłami decyzyjnym

Podejście takie jest uzasadnione tym, że na etapie planowania dane potrzebne do podejmowanie decyzji w większości przypadków są niedokładne i mają rozmytą naturę, co znajduje odzwierciedlenie w ocenach jakościowych wyrażonych w języku naturalnym. Niedokładność danych początkowych może być (lub jest) konsekwencją błędów obserwacyjnych, niewiedzy o dokładnych wartościach istotnych parametrów przedsięwzięcia (lub warunków realizacji przedsięwzięcia). Taką niepewność danych wstępnych można formalizować i opisać przede wszystkim za pomocą języka naturalnego

Podstawę matematyczną wyboru alternatywnych robót w modelu sieciowym stanowi **rozmyta relacja porządku na podstawie lingwistycznych ocen wraz z metodami obliczeniowymi stosowanymi w teorii prawdopodobieństwa.**

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytymi węzłami decyzyjnym

Niech alternatywne roboty charakteryzują się lingwistycznymi ocenami w odniesieniu do kryteriów ocen. Oceny te mają charakter jakościowy (w odpowiednich skalach zarówno dla cech ilościowych jak i jakościowych) i są wyrażone jako liczby rozmyte.

Niech $A = \{a_1, \dots, a_i, \dots, a_n\}$ – będzie zbiorem alternatywnych robot; $X = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ – zbiór wartości, przy czym wartość x_i odpowiada alternatywie a_i , gdzie $i = 1, \dots, n$;

$K(x_i) = (K_1(x_i), \dots, K_r(x_i), \dots, K_m(x_i))$ – lingwistyczna wektorowa ocena wartości x_i ,
 $K_r(x_i)$ – lingwistyczna wektorowa ocena (liczba rozmyta) wartości x_i według r -tego kryterium, gdzie $r = 1, \dots, m$.

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytymi węzłami decyzyjnym

Relację rozmytego porządku dla rozmytych ocen określa się poprzez probabilistyczne oceny dla ich ostrych (nierozmytych) ekwiwalentów. Wprowadźmy rozmytą relację porządku typu „większe-równe” ($\geq$) w zbiorze lingwistycznych ocen $\mathbf{K} = (K(x_1), \dots, K(x_i), \dots, K(x_n))$. Funkcję przynależności rozmytej relacji określimy jako: $\mu_{\geq}: \mathbf{K} \times \mathbf{X} \rightarrow [0, 1]$. Wprowadźmy oznaczenie $\mu_{\geq}(K_r(x_i), K_r(x_j))$ jako $\mu_{\geq}^r(x_i, x_j)$. Wartość tej funkcji dla liczb rozmytych $K_r(x_i)$ i $K_r(x_j)$ można obliczyć za pomocą wzoru:

$$\mu_{\geq}(A, B) = 1 - \mu_{<}(A, B)$$

gdzie: A i B – są liczbami rozmytymi, $\mu_{<}$ - jest rozmyta relacja porządku typu „mniejsze” w zbiorze liczb rozmytych.

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytymi węzłami decyzyjnym

Stopień prawdy $\mu_{<}(A, B)$ wypowiedzi rozmytej ($A < B$) jest zdefiniowany jako prawdopodobieństwo, że dokładna (nierozmyta) wartość liczby rozmytej A będzie mniejsza od dokładnej wartości liczby rozmytej B :

$$\mu_{<}(A, B) = P(nf(A) < nf(B))$$

gdzie $nf(A)$ – jest ostrą wartością liczby rozmytej A .

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytymi węzłami decyzyjnym

Funkcję $\mu_{\geq}$ określamy jak we wzorze

$$\mu_{\geq}(K(x_i), K(x_j)) = \bigcup_{r \in (1, \dots, m)} \mu_{\geq}^r(x_i, x_j)$$

gdzie $\bigcup$ jest operacja uogólnienia dla wszystkich kryteriów r .

Z uwagi na to, że między alternatywami i ich ocenami istnieją wzajemna jednoznaczna zgodność, rozmyta relacja preferencji na zbiorze alternatyw jest określona przez funkcję przynależność jak we wzorze

$$\mu_{\geq}^F : A \times A \rightarrow [0, 1]$$

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytym węzłami decyzyjnym

Tą funkcję możemy obliczyć za pomocą wzoru

$$\mu_{\geq}^F(a_i, a_j) = \mu_{\geq}(K(x_i, x_j))$$

Należy podkreślić, że w przypadku ostrych (nierozmytych) wartości wektora kryteriów relacje przedstawia się jak we wzorze

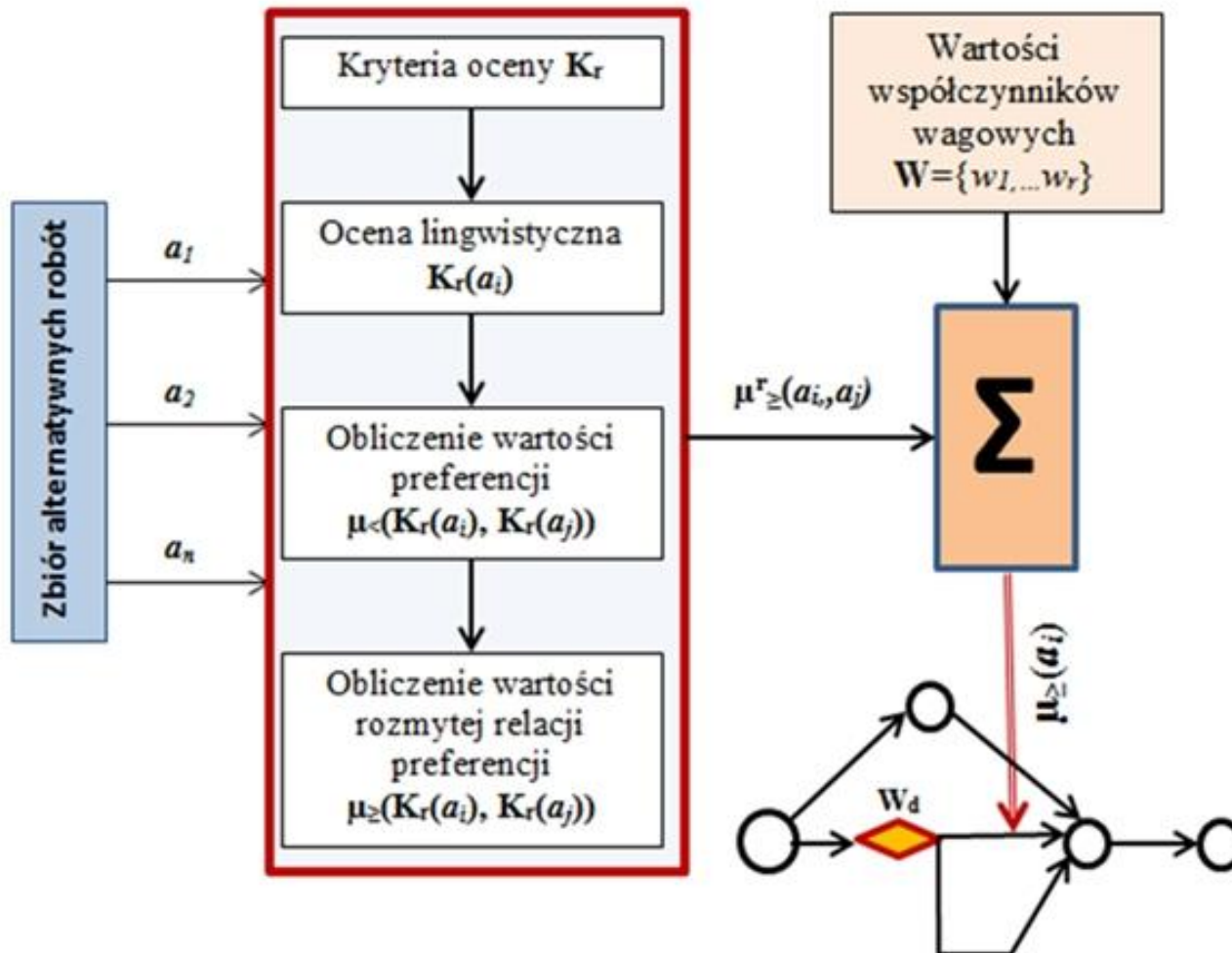
$$\begin{aligned} K(a_i) \geq K(a_j) &\Leftrightarrow (\forall r \in (1, \dots, m))(K_r(x_i) \geq K_r(x_j)); \\ a_i \geq a_j &\Leftrightarrow K(a_i) \geq K(a_j) \end{aligned}$$

Wyrażenie $\mu_{\geq}^F$ pozwala nam stworzyć macierz porównań parami dla alternatyw zgodnie z preferencjami $F = \|\mu_{ij}\|_{n \times n}$, gdzie $\mu_{ij} = \mu_{\geq}^F(a_i, a_j)$. Na podstawie macierzy porównań parami możliwe jest uszeregowanie (rangowanie) alternatyw.

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytymi węzłami decyzyjnym

Procedurę postępowania powyższej metody przedstawia się jak następuje:

1. Obliczanie wartości funkcji przynależności relacji rozmytej „mniejsze” $\mu_{<}$ dla każdej pary porównywanych alternatyw dla każdego r -tego kryterium $\mu_{<}(K_r(x_i), K_r(x_j))$.
2. Obliczanie odpowiednich wartości funkcji przynależności relacji typu „większe-równe” $\mu_{\geq}$ dla każdej alternatywy.
3. Obliczanie stopnia preferencji dla każdej alternatywy poprzez agregacji wartości funkcji przynależności według kryteriów z uwzględnieniem określonej struktury preferencji (na przykład poprzez uwzględnienie współczynników wagowych).
4. Tworzenie szeregu preferencyjnego porównanych alternatyw.
5. Rozwiązania modelu sieciowego według ścieżki preferowanej



Konceptualny model procedury obliczenia według proponowanej metody

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytym węzłami decyzyjnym

Poniżej przedstawiono przykład liczbowy zastosowania proponowanej metody.

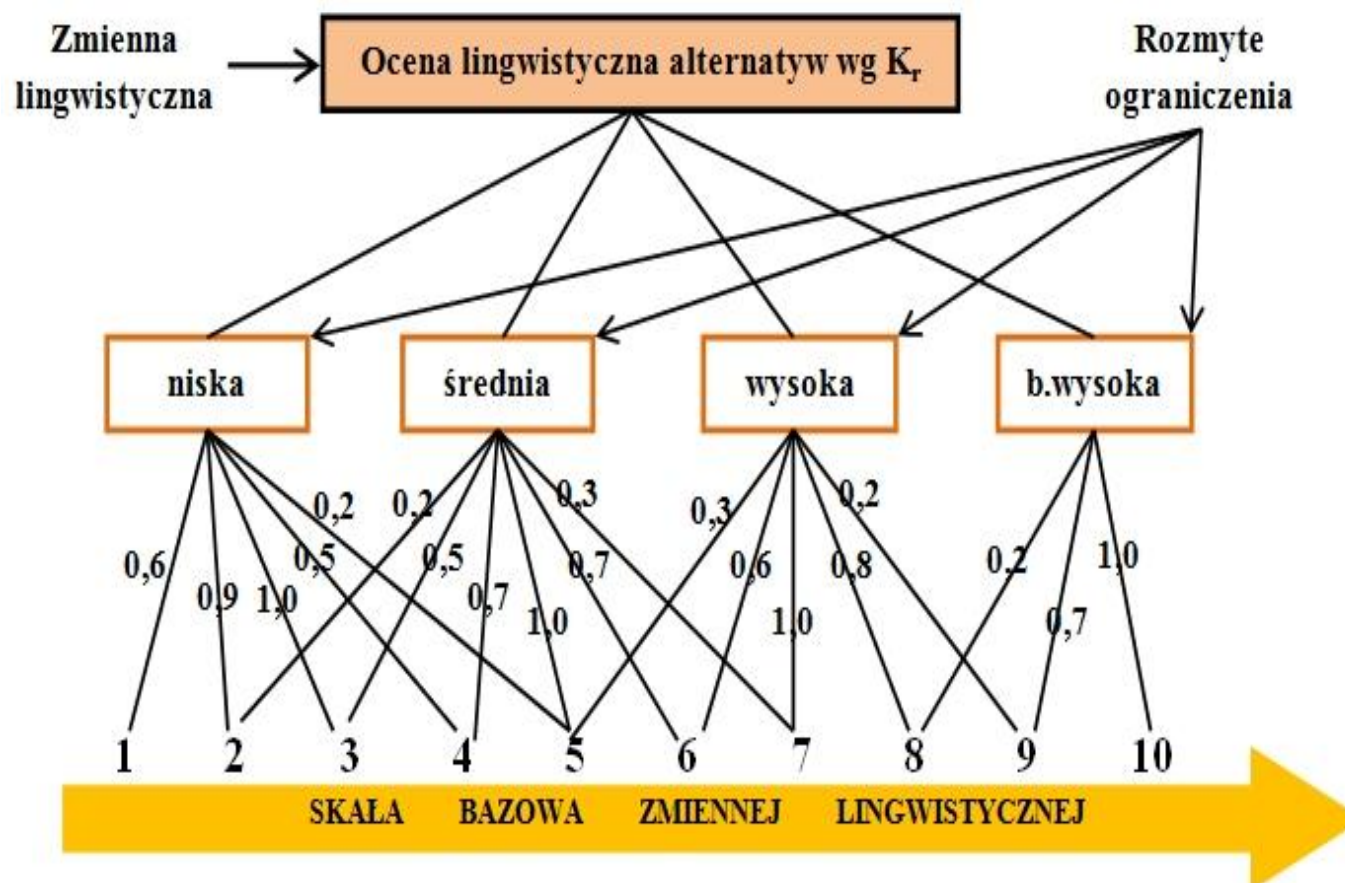
Założmy, że model sieciowy z rozmytym węzłem decyzyjnym planowanych zadań ma postać jak na rysunku 1. Rozważmy tylko jeden węzeł decyzyjny, niech to będzie węzeł decyzyjny W_{d2} . Widać, że z węzła decyzyjnego wychodzą dwie alternatywne roboty C i C' które oznaczamy odpowiednio a_1, a_2 i wtedy zbiór alternatyw opiszemy jako $A = \{a_1, a_2\}$. Niech $K = \{K_1, K_2, K_3\}$ będzie wektorem kryteriów oceny. Przy czym poszczególnymi kryteriami K_r są: koszt wykonania, czas trwania i złożoność technologiczno-organizacyjna. Zadaniem jest znalezienie alternatywy o najwyższym współczynniku preferencji $K(a_i) = \max_i \sum_r w_r \mu_{\geq}^r(x_i, x_j)$. Gdzie $W = \{w_1, w_2, w_3, w_4\}$, jest wektorem współczynników wagowych które charakteryzują znaczenie odpowiedniego kryterium z punktu widzenia planisty (podejmującego decyzję).

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytym węzłami decyzyjnym

Założmy, że rozmyta ocena poszczególnych wariantów robót modelowane są poprzez zmienne lingwistyczne z uwzględnieniem rodzajów kryteriów i przekształceniem na skale liczbową $Y = \{1, 2, \dots, 10\}$ (jest to uniwersalny zbiór na którym definiowane są liczby rozmyte) w taki sposób, że niezależnie od rodzaju kryteriów zawsze wartość 1 będzie oznaczać ocenę gorszą, a wartość 10 będzie oznaczać ocenę najlepszą

Założmy, że ocena lingwistyczna ma następujące stany: {niska (N), średnia (S), wysoka (W), bardzo wysoka (BW)}.

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytymi węzłami decyzyjnym



Model konceptualny rozmytej oceny lingwistycznie alternatywnych robót

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytym węzłami decyzyjnym

Każda zmienna lingwistyczna ocen jest modelowana poprzez liczby rozmyte o odpowiedniej funkcji przynależności: $N = \left\{ \frac{0,6}{1} + \frac{0,9}{2} + \frac{1}{3} + \frac{0,5}{4} + \frac{0,2}{5} \right\}$; $S = \left\{ \frac{0,2}{2} + \frac{0,5}{3} + \frac{0,7}{4} + \frac{1}{5} + \frac{0,7}{6} + \frac{0,3}{7} \right\}$; $W = \left\{ \frac{0,3}{5} + \frac{0,6}{6} + \frac{1}{7} + \frac{0,8}{8} + \frac{0,2}{9} \right\}$; $BW = \left\{ \frac{0,2}{8} + \frac{0,7}{9} + \frac{1}{10} \right\}$.

Rozmyta ocena poszczególnych alternatywnych robót a_i w postaci macierzy przedstawia się jak niżej:

$$K = \begin{array}{cc} & \begin{array}{ccc} K_1 & K_2 & K_3 \end{array} \\ \begin{array}{c} a_1 \\ a_2 \end{array} & \begin{array}{ccc} W & N & BW \\ S & S & W \end{array} \end{array}$$

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytym węzłami decyzyjnym

Założmy, że definiujemy preferencje projektanta w postaci wektora współczynników wagowych jak: $W = \{0,4; 0,3; 0,3\}$.

Obliczanie wartości funkcji przynależności $\mu_{<}(K_r(a_1), K_r(a_2))$ przedstawia wzór

$$\mu_{<}(K_r(a_1), K_r(a_2)) = \sum_{s=1}^n p_{K_r(a_1)}(y_s) (1 - \sum_{j=1}^s p_{K_r(a_2)}(y_j))$$

Obliczenia prawdopodobieństwa dla różnych alternatyw, otrzymujemy:

$$p_{K_r(a_i)}(y_s) = \frac{\mu_{K_r(a_i)}(y_s)}{\sum_{y \in S_{K_r(a_i)}} \mu_{K_r(a_i)}(y)}$$

Gdzie $r = 1, \dots, 4; i = 1, 2$.

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytymi węzłami decyzyjnym

Każdej alternatywie a_i odpowiada ocena według poszczególnych kryteriów K_r należąca do zbiorów $\{N, S, W, BW\}$; na przykład $K_1(a_1) = W$, $K_1(a_2) = S$ itd. Każdej ocenie odpowiada liczba rozmyta ze własną funkcją przynależności jak $\mu_{K_1(a_1)}(y_1) = 0,3$; $\mu_{K_1(a_1)}(y_2) = 0,6$; $\mu_{K_1(a_1)}(y_3) = 1$ itd.

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytymi węzłami decyzyjnym

Wobec powyższego suma ocen dla poszczególnych alternatyw wynoszą:

$$\sum_{y \in S_{K_1(a_1)}} \mu_{K_1(a_1)}(y) = 0,3 + 0,6 + 1,0 + 0,8 + 0,2 = 2,9$$

$$\sum_{y \in S_{K_1(a_2)}} \mu_{K_1(a_2)}(y) = 0,2 + 0,5 + 0,7 + 1,0 + 0,7 = 3,4$$

$$\sum_{y \in S_{K_2(a_1)}} \mu_{K_2(a_1)}(y) = 0,6 + 0,9 + 1,0 + 0,5 + 0,2 = 3,2$$

$$\sum_{y \in S_{K_2(a_2)}} \mu_{K_2(a_2)}(y) = 0,2 + 0,5 + 0,7 + 1,0 + 0,7 = 3,4$$

$$\sum_{y \in S_{K_3(a_1)}} \mu_{K_3(a_1)}(y) = 0,2 + 0,7 + 1,0 = 1,9$$

$$\sum_{y \in S_{K_3(a_2)}} \mu_{K_3(a_2)}(y) = 0,3 + 0,6 + 1,0 + 0,8 + 0,2 = 2,9$$

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytym węzłami decyzyjnym

Wtedy:

$$\begin{aligned}\mu_{<}(K_1(a_1), K_1(a_2)) = \mu_{<}(W, S) &= \frac{0,3}{2,9} \left(1 - \frac{(0,2+0,5+0,7)}{3,4}\right) + \frac{0,6}{2,9} \left(1 - \frac{(0,2+0,5+0,7+1)}{3,4}\right) + \\ &+ \frac{1}{2,9} \left(1 - \frac{(0,2+0,5+0,7+1+0,7)}{3,4}\right) = 0,143\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{<}(K_2(a_1), K_2(a_2)) = \mu_{<}(N, S) &= \frac{0,6}{3,2} (1 - 0) + \frac{0,9}{3,2} (1 - 0) + \frac{1}{3,2} \left(1 - \frac{(0,2)}{3,4}\right) + \frac{0,5}{3,2} \left(1 - \right. \\ &\left. - \frac{(0,2+0,5)}{3,4}\right) + \frac{0,2}{3,2} \left(1 - \frac{(0,2+0,5+0,7)}{3,4}\right) = 0,925\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{<}(K_3(a_1), K_3(a_2)) = \mu_{<}(BW, W) &= \frac{0,2}{1,9} \left(1 - \frac{(0,3+0,6+1)}{2,9}\right) + \frac{0,7}{1,9} \left(1 - \frac{(0,3+0,6+1+0,8)}{2,9}\right) = \\ &0,062\end{aligned}$$

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytym węzłami decyzyjnym

Obliczenie rozmytej relacji $\mu_{\geq}(K_r(a_1), K_r(a_2))$ dokonujemy za pomocą wzoru

$$\mu_{\geq}(K_r(a_1), K_r(a_2)) = 1 - \mu_{<}(K_r(a_1), K_r(a_2))$$

Odpowiednie wartości wynoszą:

$$\mu_{\geq}(K_1(a_1), K_1(a_2)) = 1 - \mu_{<}(K_1(a_1), K_1(a_2)) = 1 - 0,143 = 0,857$$

$$\mu_{\geq}(K_2(a_1), K_2(a_2)) = 1 - \mu_{<}(K_2(a_1), K_2(a_2)) = 1 - 0,925 = 0,075$$

$$\mu_{\geq}(K_3(a_1), K_3(a_2)) = 1 - \mu_{<}(K_3(a_1), K_3(a_2)) = 1 - 0,062 = 0,938$$

Obliczenie stopnia preferencji alternatywy a_1 w stosunku do alternatywy a_2 z uwzględnieniem współczynników wagowych dokonujemy za pomocą wzoru

$$\mu_{\geq}(a_1, a_2) = \sum_r w_r \mu_{\geq}^r(a_1, a_2) = 0,4 \times 0,857 + 0,3 \times 0,075 + 0,3 \times 0,938 = 0,647$$

Stopień preferencji alternatywy a_1 wynosi $\mu_{\geq}(a_1) = 0,647$.

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytym węzłami decyzyjnym

Powyższą procedurę przeprowadzamy dla alternatywy a_2 .

Obliczenie rozmytej relacji $\mu_{\geq}(K_r(a_2), K_r(a_1))$:

$$\mu_{\geq}(K_1(a_2), K_1(a_1)) = 1 - \mu_{<}(K_1(a_2), K_1(a_1)) = 1 - 0,952 = 0,048$$

$$\mu_{\geq}(K_2(a_2), K_2(a_1)) = 1 - \mu_{<}(K_2(a_2), K_2(a_1)) = 1 - 0,191 = 0,809$$

$$\mu_{\geq}(K_3(a_2), K_3(a_1)) = 1 - \mu_{<}(K_3(a_2), K_3(a_1)) = 1 - 0,993 = 0,007$$

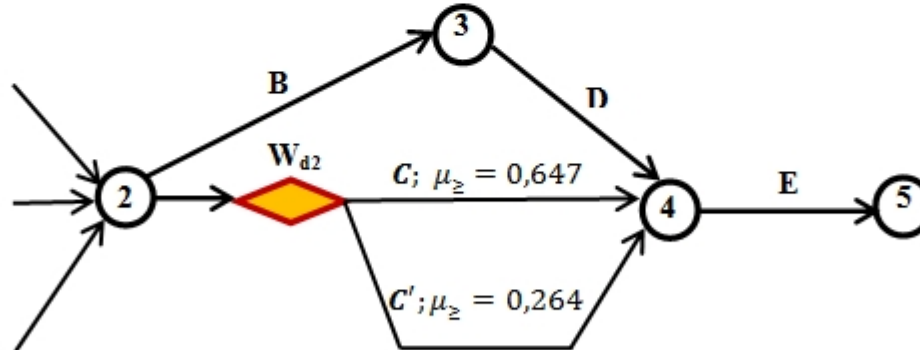
Obliczenie stopnia preferencji alternatywy a_2 w stosunku do alternatywy a_1 z uwzględnieniem współczynników wagowych dokonujemy za pomocą wzoru

$$\mu_{\geq}(a_2, a_1) = \sum_r w_r \mu_{\geq}^r(a_2, a_1) = 0,4 \times 0,048 + 0,3 \times 0,809 + 0,3 \times 0,007 = 0,264$$

Stopień preferencji alternatywy a_2 wynosi $\mu_{\geq}(a_2) = 0,264$.

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytymi węzłami decyzyjnymi

Porównując stopnie preferencji alternatyw widzimy, że alternatywa a_1 jest lepsza (bardziej preferowana) od alternatywy a_2 , ponieważ $\mu_{\geq}(a_1) > \mu_{\geq}(a_2)$. W związku z czym analizę sieciową przeprowadza się uwzględniając parametry charakterystyczne alternatywy a_1 , czyli roboty C. Graficzną interpretację obliczonej preferencji robót w fragmencie modelu sieciowego odwzorowuje rys.



Fragment modelu sieciowego z obliczonymi stopniami preferencji alternatywnych robót.

Dalszą część analizy sieciowej przeprowadza się dowolną metodą

Planowanie przedsięwzięcia budowlanego za pomocą alternatywnego modelu sieciowego z rozmytym węzłami decyzyjnym

Przedstawiony przykład obliczeniowy wykazuje możliwość szybkiego wyboru najlepszego wariantu na podstawie przyjętych kryteriów oceny i pozwala szeregować warianty robót, co daje dodatkową informację w czynnościach alternatywnych modelu sieciowego w postaci stopnia preferencji.

Połączenie modelu decyzyjnego w postaci węzła decyzyjnego z siecią zależności może być przydatne zarówno w strategicznym, taktycznym jak i operatywnym planowaniu realizacji przedsięwzięć budowlanych.

Opracowana metoda poszerza obszar wiedzy i możliwości informacyjne, obliczeniowe i decyzyjne w zakresie modeli sieciowych w praktyce planowania przedsięwzięć budowlanych.

Zaproponowana metoda jest uniwersalna i można stosować ją do harmonogramowania przedsięwzięć budowlanych zarówno w podejściu klasycznym jak i probabilistycznie rozmytym.

Dziękuję!

Ibadov N.: “The Alternative Network Model with The Fuzzy Decision Node for the Construction Projects Planning”, Archives of Civil Engineering (2018). Vol. 64 , Issue 2, pp. 3-20. DOI:10.2478/ace-2018-0013

Ibadov N., Kulejewski J.: „ Construction projects planning using network model with the fuzzy decision node”; International Journal of Environmental Science and Technology (2019). <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02259-w>.

