

Dorota GAWROŃSKA
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
dorota.gawronska@interia.pl

WIELOKRYTERIALNY MODEL WYBORU INWESTYCJI DROGOWEJ

Streszczenie. W pracy przedstawiono model, który wspomaga określenie optymalnych inwestycji drogowych na podstawie kryteriów mających wpływ na funkcjonowanie danego przedsięwzięcia. W artykule zaprezentowano strukturę hierarchiczną kryteriów, które mają zasadniczy wpływ na inwestycje drogowe. Ze względu na możliwość pojawienia się niepewności w ocenie względem poszczególnych kryteriów zaproponowano rozwiązanie uwzględniające tę niepewność w ocenie inwestycji przez wykorzystanie liczb rozmytych jako reprezentacji ocen. W artykule uwzględniono również stopień wpływu poszczególnych kryteriów na ocenę inwestycji drogowej, wprowadzając zmienną określającą ważność poszczególnych kryteriów. Zaprezentowano dodatkowo przykład obrazujący zaproponowany model na podstawie dwóch inwestycji drogowych.

Słowa kluczowe: inwestycja drogowa, programowanie wielokryterialne, liczby rozmyte, niepewność.

MULTICRITERIAL MODEL OF SELECTION INVESTMENT ROAD

Summary. The paper presents a model that helps to determine the optimal road investments on the basis of criteria affecting the operation of the project. The article presents a hierarchical structure of criteria, which have a major impact on road investments. Due to the possibility of the appearance of uncertainty in the assessment in relation to individual criteria, it presented a solution taking into account the uncertainty in the assessment of investment through the use of fuzzy numbers as representations ratings. The study also takes into account the degree of influence of individual criteria for the evaluation of road investment to introduce a variable determining the validity criteria. Presented further example illustrating the proposed model based on two road projects.

Keywords: road investment, multi-criteria programming, fuzzy numbers, uncertainty.

1. Wprowadzenie

Transport drogowy ma największy i stale rosnący udział w dziedzinie przewozów pasażerskich i towarowych. GDDKiA opracowała program Budowy dróg krajowych na lata 2014-2023, w którym określono kierunki działań i priorytety inwestycyjne, oraz zakłada budowę i dokończenie aktualnie realizowanych dróg ekspresowych i autostrad oraz budowę 35 obwodnic miejskich w ciągach dróg krajowych. Planowo mają powstać drogi krajowe o długości ok. 2220 km. Określone też zostały projekty z budową odcinków dróg ekspresowych i autostrad o długości 630 km i 13 dróg obwodowych o łącznej długości ok. 150 km [7]. W ramach środków UE dostępnych z Programu Infrastruktura i Środowisko transport otrzymał 19 423, 27 mln euro, co stanowi 71% wszystkich środków [3].

Ze względu na stale rosnące natężenie ruchu istnieje konieczność modernizacji i rozwoju infrastruktury dróg. W początkowej fazie przygotowywane są projekty planów finansowania budowy, utrzymania, ochrony dróg oraz obiektów mostowych. Istnieje konieczność współpracy z jednostkami samorządu terytorialnego przy opracowywaniu miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego. Sieć drogowa i pozostałe elementy przestrzennego zagospodarowania pozostają ze sobą w ścisłych zależnościach. O przestrzennym rozmieszczeniu dróg decydują różne czynniki: ruchotwórcze (charakter zagospodarowania terenu oraz rozmieszczenie elementów zagospodarowania), ograniczające swobodę tyczenia trasy drogowej (topograficzne i geologiczne cechy terenu) i geopolityczne (podziały administracyjne, umowy międzynarodowe) [8]. Zasadne wydaje się stworzenie modelu umożliwiającego wybór optymalnej inwestycji drogowej, która w najlepszy możliwy sposób wpisuje się w potrzeby danego rejonu. Podstawą takiego modelu jest wielokryterialna struktura, która obejmuje różne aspekty zamierzonego przedsięwzięcia. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie struktury hierarchicznej kryteriów oraz opierającego się na niej modelu umożliwiającego wybór optymalnej opcji inwestycji drogowych.

2. Struktura hierarchiczna kryteriów oceny inwestycji drogowej

Do oceny inwestycji drogowych zostały wybrane kryteria, które reprezentują cele takich przedsięwzięć. Zostały one zgrupowane w 7 grup kryteriów (poziom 1. kryteriów: techniczne, ekonomiczne, funkcjonalne, przyrodnicze, ruchowe, społeczne i bezpieczeństwa). W ramach poszczególnych grup kryteriów wyszczególniono kryteria szczegółowe (poziom 2. kryteriów).

W przedstawianym algorytmie zakłada się analizę inwestycji drogowych ze skończonego zbioru D rozważanych inwestycji:

$$D = \{D_1, D_2, \dots, D_n, \dots, D_N\}, \quad n = 1, \dots, N, \quad (1)$$

na podstawie zbioru kryteriów 1. poziomu, oznaczonych jako K_l , oraz kryteriów 2. poziomu K_{lm} , gdzie: l – określa numer kryterium *poziomu 1* ($l = 1, \dots, L$), m – numer kryterium *poziomu 2* ($m = 1, \dots, M$).

Decydent ocenia poszczególne inwestycje ze względu na kryteria poziomu 1. Na podstawie określonych ważności kryteriów 1. poziomu i ich podkryteriów (kryteria poziomu 2.) oraz ocen inwestycji drogowych względem tych kryteriów, określa się oceny łączne inwestycji drogowych. Kierując się maksymalizacją ocen, poszukuje się wartości maksymalnej, która wskazuje na inwestycję drogową w największym stopniu spełniającą oczekiwania decydentów.

Ważność grup kryteriów (kryteria *poziomu 1*), określona przez decydenta, dana jest w postaci zmiennej W_l (l – kryterium *poziomu 1*). Zakłada się, że ważności kryteriów są określone na przedziale $[0,1]$, co jest związane z warunkiem, że suma wag kryteriów wyrażona przez decydenta musi wynosić 1.

$$\sum_{l=1}^L W_l = 1. \quad (2)$$

Ważność kryteriów poziomu 2 (określana przez decydenta) dana jest w postaci zmiennej W_{lm} (l – kryterium *poziomu 1*, m – kryterium *poziomu 2*). Ważności kryteriów są określone na przedziale $[0,1]$ i suma wag kryteriów wyrażona przez decydenta musi wynosić 1.

$$\sum_{m=1}^M W_{lm} = 1. \quad (3)$$

3. Modelowanie ocen inwestycji drogowych za pomocą zmiennych rozmytych

Oceny inwestycji drogowych na podstawie określonej struktury hierarchicznej kryteriów zostaną opisane jako zmienne O_d . Jeśli oceny inwestycji względem poszczególnych kryteriów nie będą budziły wątpliwości, będą to liczby rzeczywiste. W przypadku gdy decydent uzna niepewność oceny, do reprezentacji tych ocen zostaną wykorzystane liczby rozmyte typu LR [4].

Poniżej przedstawione są ogólnie zasady opisu inwestycji względem poszczególnych kryteriów za pomocą liczby rozmytej typu LR O_d . Liczby te są określone charakterystyczną

trójką $(m_{o_d}, \alpha_{o_d}, \beta_{o_d})$, gdzie $\alpha_{o_d}, \beta_{o_d} > 0$ to ustalone rozrzuty lewo- i prawostronne. Decydent oceny o_d traktuje jako „około m_{o_d} ”, przy czym swoją niepewność co do precyzyjnego określenia wyraża w postaci przedziału $[m_{o_d} - \alpha_{o_d}, m_{o_d} + \beta_{o_d}]$, gdzie m_{o_d} to ustalona wartość – najbardziej prawdopodobna bądź średnia liczona zgodnie ze wzorem:

$$m_{o_d} = \frac{2 \cdot m_{o_d} + \alpha_{o_d} + \beta_{o_d}}{2}. \quad (4)$$

W przypadku kryteriów jakościowych oceny inwestycji drogowych będą określone punktowo, gdzie decydent określa maksymalną liczbę punktów w ramach danego kryterium oraz przypisuje wartość punktową najbardziej prawdopodobną lub przedział wartości – w przypadku niepewności.

Funkcje L i R [6] to ustalone funkcje bazowe opisane wzorem (5):

$$L(o_d) = R(o_d) = \begin{cases} 0 & \text{dla } o_d < m_{o_d} - \alpha_{o_d} \\ 1 - |o_d| & \text{dla } m_{o_d} + \beta_{o_d} \geq o_d \geq m_{o_d} - \alpha_{o_d}, \\ 0 & \text{dla } o_d > m_{o_d} + \beta_{o_d} \end{cases} \quad (5)$$

Operacje na liczbach rozmytych typu LR będą określane jako operacje na tych trzech parametrach (m, α, β) [5].

Ponieważ wartości ocen inwestycji drogowej o_d traktowane są jako stopień spełnienia przez n -tą inwestycję drogową pewnego stanu idealnego w ramach danego kryterium, normuje się wartości tych ocen zgodnie z poniższymi wzorami:

$$\hat{\alpha}_{o_d} = \frac{\alpha_{o_d}}{\max(o_d^{\max})}, \quad (6)$$

$$\hat{m}_{o_d} = \frac{m_{o_d}}{\max(o_d^{\max})}, \quad (7)$$

$$\hat{\beta}_{o_d} = \frac{\beta_{o_d}}{\max(o_d^{\max})}, \quad (8)$$

gdzie $\max(o_d^{\max})$ to największa wartość spośród prawych granic wartości ocen inwestycji drogowych w ramach danego kryterium $(m_{o_d} + \beta_{o_d})$. Jeśli wartość oceny względem rozpatrywanego kryterium powinna być minimalizowana, to normowanie należy przeprowadzić zgodnie z następującymi wzorami:

$$\hat{\alpha}_{o_d} = 1 - \frac{\alpha_{o_d}}{\max(o_d^{\max})}, \quad (9)$$

$$\hat{m}_{o_d} = 1 - \frac{m_{o_d}}{\max(o_d^{\max})}, \quad (10)$$

$$\hat{\beta}_{o_d} = 1 - \frac{\beta_{o_d}}{\max(o_d^{\max})}, \quad (11)$$

Funkcja przynależności ocen inwestycji drogowych względem danego kryterium przedstawiona jest za pomocą wzoru:

$$\mu_{o_d}(o_d) = \begin{cases} L\left(\frac{m_{o_d} - o_d}{\alpha_{o_d}}\right) & \text{dla } o_d < m_{o_d} \\ 1 & \text{dla } o_d = m_{o_d} \\ R\left(\frac{o_d - m_{o_d}}{\beta_{o_d}}\right) & \text{dla } o_d > m_{o_d} \end{cases}. \quad (12)$$

Na podstawie określonych unormowanych wartości ocen względem kryteriów *poziomu 2.* w dalszej kolejności określone są oceny inwestycji drogowych względem kryterium wyższego poziomu (*poziom 1.*) jako suma ważona ocen z poszczególnych kryteriów niższego poziomu (w ramach poszczególnych grup).

Przy założeniu że \hat{O}_{d-nlm} to unormowana ocena n inwestycji drogowej względem m kryterium *poziomu 2.* i l kryterium *poziomu 1.*, określona charakterystyczną trójką ($\hat{m}_{o_{d-nlm}}, \hat{\alpha}_{o_{d-nlm}}, \hat{\beta}_{o_{d-nlm}}$), ostateczna ocena względem kryterium *poziomu 1* O_{d-nl} przedstawia się następująco:

$$O_{d-nl} = \frac{\sum_{m=1}^M W_{lm} \cdot \hat{O}_{d-nlm}}{\sum_{m=1}^M W_{lm}}. \quad (13)$$

Po określeniu ocen ważonych względem kryteriów poziomu 1. należy unormować te oceny zgodnie ze wzorami (6)-(8) i otrzymać unormowane wartości ocen poziomu 1. \hat{O}_{d-nl} . W dalszej kolejności można przystąpić do wyznaczenia oceny względem kryterium globalnego (poziom 0), jako sumy ważonej zgodnie ze wzorem:

$$O_{d-n} = \frac{\sum_{l=1}^L W_l \cdot \hat{O}_{d-nl}}{\sum_{l=1}^L W_l}. \quad (14)$$

Takie postępowanie każdej inwestycji drogowej przyporządkowuje ocenę rozmytą względem kryterium globalnego O_{d-n} . Kolejnym krokiem jest określenie wartości

rzeczywistej oceny inwestycji drogowych, stąd należy dokonać defuzyfikacji (wyostrzenia). Wykorzystano metodę środka ciężkości, która przypisuje funkcji przynależności liczbę rzeczywistą:

$$o_d(n) = \frac{3 \cdot m_{o_{d-n}} - \alpha_{o_{d-n}} + \beta_{o_{d-n}}}{3}. \quad (15)$$

Na podstawie określonych rzeczywistych ocen inwestycji drogowych można dokonać interpretacji i wytypować inwestycje, które są najbliższe przyjętym przez decydenta założeniom, dążąc do maksymalizacji oceny, stąd:

$$o_d(n) \rightarrow \max. \quad (16)$$

4. Przykład

W przykładzie zaprezentowano analizę oceny dwóch inwestycji drogowych, z uwzględnieniem ważności poszczególnych kryteriów poziomu 1. i poziomu 2. Poniżej, w tabeli 1 oraz tabeli 2, przedstawione są wartości ocen względem poszczególnych kryteriów poziomu 2. Oceny te zostały przedstawione jako liczby rozmyte typu LR, czyli przez trzy parametry $(m_{o_d}, \alpha_{o_d}, \beta_{o_d})$. Wartości ocen względem kryteriów, dla których zostały określone przez parametry α oraz β różne od 0, oznaczają niepewność oceny, a wartość tych parametrów wyraża wartość tej niepewności jako odchylenie od wartości najbardziej prawdopodobnej m .

Tabela 1

Wartości ocen decydenta inwestycji drogowej nr I

Wartości ocen	Kryterium 1			Kryterium 2			Kryterium 3			Kryterium 4			Kryterium 5			Kryterium 6			Kryterium 7		
	m	α	β	m	α	β	m	α	β	m	α	β	m	α	β	m	α	β	m	α	β
1	350	2	1,5	38,4	4	5	9	1	1,5	6	1	2	9	0,5	0,5	10000	0	0	16	2	2
2	7	1	1,5	17040	35	20	150	0	0	8	0,5	0,5	8	1	1,5	3	0,2	0,2	25	5	5
3	6	1,5	2	1,7	0,1	0,15	7	1	1,5	5	1	0,5	120	0	0	120	0	0	5	0	0
4	7	0,5	0,5	0,4	0,05	0,04	5	1	1,5	6	0,5	0,5	7	1	1,5	40	0	0	0,8	0,1	0,1
5	5250	16	15	1,6	0,5	1	9	0,5	1	7	1	1,5				80	0	0			
6	0,105	0,04	0,04	8	0,5	1	7	1	1,5	7	0,5	1				6	0	0			
7	7200	120	120				8	1	0,5	8	1	1									
8	7	1	1,5				9	1,5	1	6	0,5	0,5									
9	8	0,5	1				8,5	1	1,5	7	1	1,5									
10	5	1	2				7	1	0,5	8	1	1,5									
11	7	2	1																		
12	9	0,5	0,5																		
13	8	1	1,5																		

Źródło: Opracowane własne.

Tabela 2

Wartości ocen decydena inwestycji drogowej nr II

Wartości ocen	Kryterium 1			Kryterium 2			Kryterium 3			Kryterium 4			Kryterium 5			Kryterium 6			Kryterium 7					
	m	α	β	m	α	β	m	α	β	m	α	β	m	α	β	m	α	β	m	α	β			
1	290	3	2,5	36	4	4,5	8,5	0,5	1	5	1	1,5	9	0,5	0,5	8000	0	0	10	2	2			
2	6	1,5	2	13240	20	30	120	0	0	7	1	1	7,5	0,5	0,5	2,5	0,3	0,4	28	4	4			
3	8	1	0,5	1,6	0,2	0,25	7,5	1,5	1	6	0,5	0,5	115	0	0	90	0	0	3	0	0			
4	6	1	1,5	0,35	0,04	0,03	6	1	1	6,5	1	0,5	6	1	1	20	0	0	0,7	0,15	0,15			
5	4350	16	17	1,5	0,5	0,5	8	1	0,5	8	1	1				60	0	0						
6	0,087	0,04	0,05	7,5	1	1,5	6	1	0,5	7	0,5	0,5				8	0	0						
7	5600	90	90				7	1	0,5	7,5	1	0,5												
8	8	1,5	2				7,5	0,5	1	6	1	0,5												
9	7	0,5	1				7	1	1	6	0,5	0,5												
10	4	1,5	2				6	1	1	7	1,5	1,5												
11	6,5	1,5	1,5																					
12	9	1	1																					
13	9	1,5	1																					

Źródło: Opracowane własne.

Przed określeniem oceny łącznej względem danego kryterium wyższego poziomu następuje normowanie ocen zgodnie ze wzorami (6)-(8). Wyniki tego procesu przedstawiono w tabeli 3 oraz tabeli 4.

Tabela 3

Unormowane wartości ocen inwestycji drogowej nr I

Wartości ocen	Kryterium 1			Kryterium 2			Kryterium 3			Kryterium 4			Kryterium 5			Kryterium 6			Kryterium 7					
	m	α	β	m	α	β	m	α	β	m	α	β	m	α	β	m	α	β	m	α	β			
1	0,996	0,006	0,004	0,885	0,092	0,115	0,857	0,095	0,143	0,75	0,125	0,25	0,947	0,053	0,053	1	0	0	0,889	0,111	0,111			
2	0,824	0,118	0,176	0,999	0,002	0,001	1	0	0	0,941	0,059	0,059	0,842	0,105	0,158	0,938	0,063	0,063	0,781	0,156	0,156			
3	0,706	0,176	0,235	0,919	0,054	0,081	0,824	0,118	0,176	0,769	0,154	0,077	1	0	0	1	0	0	1	0	0			
4	0,933	0,067	0,067	0,909	0,114	0,091	0,714	0,143	0,214	0,857	0,071	0,071	0,824	0,118	0,176	1	0	0	0,889	0,111	0,111			
5	0,997	0,003	0,003	0,615	0,192	0,385	0,9	0,05	0,1	0,778	0,111	0,167				1	0	0						
6	0,724	0,276	0,276	0,889	0,056	0,111	0,824	0,118	0,176	0,875	0,063	0,125				0,75	0	0						
7	0,984	0,016	0,016				0,941	0,118	0,059	0,889	0,111	0,111												
8	0,7	0,1	0,15				0,9	0,15	0,1	0,923	0,077	0,077												
9	0,889	0,056	0,111				0,85	0,1	0,15	0,824	0,118	0,176												
10	0,714	0,143	0,286				0,933	0,133	0,067	0,842	0,105	0,158												
11	0,875	0,25	0,125																					
12	0,9	0,05	0,05																					
13	0,8	0,1	0,15																					

Źródło: Opracowane własne.

Tabela 4

Unormowane wartości ocen inwestycji drogowej nr II

Wartości ocen	Kryterium 1			Kryterium 2			Kryterium 3			Kryterium 4			Kryterium 5			Kryterium 6			Kryterium 7		
	m	α	β	m	α	β	m	α	β	m	α	β	m	α	β	m	α	β	m	α	β
1	0,825	0,009	0,007	0,829	0,092	0,104	0,81	0,048	0,095	0,625	0,125	0,188	0,947	0,053	0,053	0,8	0	0	0,556	0,111	0,111
2	0,706	0,176	0,235	0,776	0,001	0,002	0,8	0	0	0,824	0,118	0,118	0,789	0,053	0,053	0,781	0,094	0,125	0,875	0,125	0,125
3	0,941	0,118	0,059	0,865	0,108	0,135	0,882	0,176	0,118	0,923	0,077	0,077	0,958	0	0	0,75	0	0	0,6	0	0
4	0,8	0,133	0,2	0,795	0,091	0,068	0,857	0,143	0,143	0,929	0,143	0,071	0,706	0,118	0,118	0,5	0	0	0,778	0,167	0,167
5	0,826	0,003	0,003	0,577	0,192	0,192	0,8	0,1	0,05	0,889	0,111	0,111				0,75	0	0			
6	0,6	0,276	0,345	0,833	0,111	0,167	0,706	0,118	0,059	0,875	0,063	0,063				1	0	0			
7	0,765	0,012	0,012				0,824	0,118	0,059	0,833	0,111	0,056									
8	0,8	0,15	0,2				0,75	0,05	0,1	0,923	0,154	0,077									
9	0,778	0,056	0,111				0,7	0,1	0,1	0,706	0,059	0,059									
10	0,571	0,214	0,286				0,8	0,133	0,133	0,737	0,158	0,158									
11	0,813	0,188	0,188																		
12	0,9	0,1	0,1																		
13	0,9	0,15	0,1																		

Źródło: Opracowane własne.

Ze względu na fakt uwzględniania różnego wpływu poszczególnych kryteriów na ocenę inwestycji drogowej w tabeli 5 przedstawiono ważności poszczególnych kryteriów poziomu 1. i poziomu 2.

Tabela 5

Ważności kryteriów poziomu 1. i poziomu 2.

Kryterium poziomu 1.	Kryterium 1	Kryterium 2	Kryterium 3	Kryterium 4	Kryterium 5	Kryterium 6	Kryterium 7
Ważność Kryteriów	0,2	0,2	0,15	0,05	0,1	0,1	0,2
	Ważność kryteriów Poziomu 2						
1	0,07	0,2	0,1	0,05	0,25	0,15	0,3
2	0,07	0,2	0,15	0,1	0,2	0,25	0,25
3	0,05	0,25	0,2	0,15	0,3	0,15	0,2
4	0,06	0,15	0,05	0,1	0,25	0,2	0,25
5	0,07	0,15	0,15	0,1		0,15	
6	0,08	0,05	0,05	0,15		0,1	
7	0,09		0,05	0,1			
8	0,1		0,1	0,15			
9	0,09		0,05	0,05			
10	0,07		0,1	0,05			
11	0,08						
12	0,07						
13	0,1						

Źródło: Opracowane własne.

Na podstawie unormowanych ocen inwestycji drogowych (tabele 3 i 4) oraz ważności poszczególnych kryteriów poziomu 2. (tabela 5) określono łączne oceny zgodnie ze wzorem (13). Wyniki zaprezentowano w tabeli 6.

Tabela 6

Oceny łączne względem kryterium poziomu 1.

Inwestycje drogowe	Inwestycja 1			Inwestycja 2		
	m	α	β	m	α	β
Kryterium 1	0,8479	0,1037	0,1257	0,7849	0,1222	0,1428
Kryterium 2	0,8796	0,081	0,1204	0,7849	0,0937	0,1023
Kryterium 3	0,8852	0,0928	0,1112	0,8068	0,0973	0,0819
Kryterium 4	0,8524	0,0966	0,0361	0,859	0,1093	0,0882
Kryterium 5	0,9111	0,0636	0,0889	0,8587	0,0531	0,0531
Kryterium 6	0,9594	0,0156	0,0156	0,7403	0,0234	0,0313
Kryterium 7	0,6999	0,1002	0,1002	0,6999	0,1063	0,1002

Źródło: Opracowane własne.

Zgodnie z algorytmem następuje w dalszej kolejności normowanie ocen (wzory (6)-(8)). W tabeli 7 przedstawiono wyniki normowania ocen łącznych poziomu 1.

Tabela 7

Unormowane oceny łączne względem kryterium poziomu 1.

Inwestycje drogowe	Inwestycja 1			Inwestycja 2		
	m	α	β	m	α	β
Kryterium 1	0,8709	0,1065	0,1291	0,8062	0,1255	0,1467
Kryterium 2	0,8796	0,081	0,1204	0,7849	0,0937	0,1023
Kryterium 3	0,8884	0,0931	0,1116	0,8096	0,0976	0,0822
Kryterium 4	0,8999	0,102	0,0381	0,9068	0,1154	0,0932
Kryterium 5	0,9111	0,0636	0,0889	0,8587	0,0531	0,0531
Kryterium 6	0,984	0,016	0,016	0,7593	0,024	0,0321
Kryterium 7	0,8748	0,1252	0,1252	0,8748	0,1328	0,1252

Źródło: Opracowane własne.

Na podstawie wzoru (14), uwzględniając ważności kryteriów poziomu 1 (tabela 5), określono oceny łączne względem kryterium globalnego (poziom 0). Wyniki przedstawiono w tabeli 8.

Tabela 8

Oceny łączne względem kryterium globalnego – poziomu 0

Inwestycje drogowe	Inwestycja 1			Inwestycja 2		
	m	α	β	m	α	β
Ocena łączna	0,8928	0,0896	0,1041	0,8218	0,0985	0,1003
Ocena rzeczywista	0,897648557			0,8223614		

Źródło: Opracowane własne.

Na podstawie otrzymanych wyników (tabela 1) można wyciągnąć wnioski, że optymalną inwestycją drogową jest inwestycja 1, która otrzymała wyższą ocenę – w przybliżeniu 0,89, natomiast inwestycja 2 jest inwestycją w mniejszym stopniu realizującą cele przedsięwzięcia.

5. Podsumowanie

W niniejszym artykule zaprezentowano hierarchiczną strukturę kryteriów, na podstawie której oceniane są inwestycje drogowe. Zaproponowano model, który wspomaga określenie optymalnych inwestycji przy uwzględnieniu przyjętych kryteriów oceny. Przedstawiono również możliwość uwzględnienia niepewności informacyjnej związanej z ocenami wobec przyjętych kryteriów. Oceny inwestycji mogą przyjmować wartości zarówno rzeczywiste, zgodne z faktycznym odzwierciedleniem danego kryterium, jak i wartości punktowe. Ze względu na zastosowanie procesu normowania można przeprowadzić analizę porównawczą kryteriów wyrażających się różnym rodzajem wartości ocen. W artykule przedstawiono również przykład oceny dwóch inwestycji drogowych, w którym opisano kolejne kroki algorytmu wraz z wartościami ocen na poszczególnych poziomach struktury hierarchicznej. Przykład ten odwzorowuje możliwości zaproponowanego modelu oceny inwestycji drogowych. Zaprezentowany model może wspomagać podejmowanie decyzji w kwestii wyboru inwestycji drogowej, zwłaszcza w obecnych czasach – szybko rozwijającej się infrastruktury dróg oraz ich modernizacji.

Bibliografia

1. Acocella N.: Zasady polityki gospodarczej. PWN, Warszawa 2002.
2. Budzyński M., Kaszubowski D., Kustra W., Ryś A., Świtajski S., Marciniak M.: Analiza wielokryterialna i ocena ekspercka wariantów lokalizacji projektowanego nowego przebiegu drogi krajowej nr 91. Politechnika Gdańska, Gdańsk 2014.

3. Departament Koordynacji Programów Infrastrukturalnych MRR: Program operacyjny Infrastruktura i Środowisko 200-2013 – podstawowe informacje. Ministerstwo Rozwoju regionalnego, Warszawa.
4. Dubois D., Prade H.: Fuzzy set and systems – theory and applications. Academic Press, New York 1980.
5. Piegat A.: Modelowanie i sterowanie rozmyte. Exit, Warszawa 1999.
6. Rutkowski L.: Metody i techniki sztucznej inteligencji. PWN, Warszawa 2009.
7. Surowiecki A., Zamiar Z.: Infrastruktura transportu lądowego a bezpieczeństwo przewozów. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych, Wrocław 2015.
8. Towpik K., Gołaszewski A., Kukulski J.: Infrastruktura transportu samochodowego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2013.
9. Wojewódzka-Król K. (red.): Rozwój infrastruktury transportu. Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2002.

Abstract

This paper presents a hierarchical structure of criteria, based on its assessment of road investments. It presented an algorithm that helps determine the optimal investment taking into account the adopted assessment criteria. Also proposed the possibility of taking into account the uncertainty associated with the assessments of information in relation to the criteria adopted. To describe the uncertainty used fuzzy numbers of type LR. The paper also presents example of the assessment of two road projects, identifying the one that is the most optimal according to the adopted hierarchical structure.