

ZASTOSOWANIE WIELOKRYTERIALNEJ OCENY DO WYBORU WARIANTU MODERNIZACJI ELEMENTÓW INFRASTRUKTURY KOLEJOWEJ

SPIS TREŚCI

1. Kształtowanie kolejowego systemu transportowego
2. Główne cele realizacji kolejowych projektów infrastrukturalnych
3. Metoda wielokryterialnej oceny wariantów kolejowych inwestycji infrastrukturalnych
4. Wnioski

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono ogólne podejście do oceny wariantów realizacji inwestycji infrastrukturalnych w transporcie kolejowym. Nie zawsze studia wykonalności umożliwiają wybór wariantu najlepszego, tym bardziej, że należy uwzględnić punkty widzenia wielu użytkowników infrastruktury, mających najczęściej sprzeczne interesy. Decydent powinien mieć zatem możliwość uwolnienia się od subiektywnych ocen uzyskiwanych za pomocą niektórych kryteriów branych pod uwagę przy ocenie poszczególnych wariantów inwestycyjnych.

1. KSZTAŁTOWANIE KOLEJOWEGO SYSTEMU TRANSPORTOWEGO

Odpowiedzialność państwa w zakresie polityki transportowej dotyczy kształtowania infrastruktury transportu. Ponieważ usługi świadczone za pomocą infrastruktury transportu nie mogą być importowane, więc muszą być wytwarzane i świadczone tam, gdzie jest na nie popyt. Na szczególną uwagę zasługuje infrastruktura transportu drogowego oraz infrastruktura transportu kolejowego, gdyż te dwie gałęzie transportu zaspokajają potrzeby większości nabywców usług transportowych.

Transport towarzyszy każdej działalności gospodarczej i społecznej oraz umożliwia zaspokajanie naturalnej potrzeby mobilności ludzi. Ze względu na uniwersalną rolę

transportu, jego funkcjonowanie i rozwój muszą być podporządkowane celom i zasadom polityki społeczno-gospodarczej państwa.

Rozwój gospodarki rynkowej powoduje, że technologie przemieszczania pasażerów i ładunków oraz rola poszczególnych gałęzi transportu systematycznie się zmieniają. W dobie walki o klienta, kluczową cechą nowoczesnego rynku transportowego jest świadczenie usług o wysokim standardzie.

Nie ulega wątpliwości, że w pracach nad rozwojem infrastruktury transportowej powinno się preferować te formy transportu, które są przyjazne środowisku naturalnemu i jednocześnie umożliwiają lepsze wykorzystanie posiadanych zasobów. Dlatego szczególną uwagę należy zwrócić na zwiększenie udziału transportu kolejowego w krajowym systemie transportowym. Jednym z podstawowych dylematów współczesnej polityki transportowej każdego państwa jest kwestia relacji funkcjonujących pomiędzy transportem samochodowym a innymi gałęziami transportu, a szczególnie — transportem kolejowym. To konsekwencja prężnego rozwoju transportu samochodowego i znacznego niedoinwestowania transportu kolejowego.

Kształtowanie kolejowego systemu transportowego w Polsce jest oparte na prognozach potrzeb przewozowych oraz wynika z konieczności dostosowania infrastruktury systemu do standardów i wymagań Unii Europejskiej. Problem ten jest niezwykle istotny, przede wszystkim w kontekście wstąpienia Polski do struktur europejskich. Współpraca międzynarodowa wymaga tworzenia kolejowej sieci transportowej, spełniającej rosnące oczekiwania nabywców kolejowych usług transportowych. Zatem, rozwój kolejowego systemu transportowego powinien polegać nie tylko na ustaleniu zależności między przewidywaną wielkością zadań, wyposażeniem systemu a kosztem realizacji tychże zadań, ale także na zwiększeniu bezpieczeństwa jazdy i poprawie ochrony środowiska naturalnego [3, 4].

Nie ulega wątpliwości, że kształtowanie kolejowego systemu transportowego to złożony proces decyzyjny. Do prawidłowej oceny jego rozwoju niezbędne jest uwzględnienie różnych punktów widzenia, które nie zawsze są zgodne, istnieje bowiem potrzeba stworzenia kolejowej sieci transportowej o wysokich parametrach technicznych, która spełni oczekiwania klientów w zakresie jakości świadczonych usług, oraz bezpieczeństwa, przy jednoczesnym uwzględnieniu aspektu ochrony środowiska naturalnego.

Aby dostosować stan polskiej infrastruktury kolejowej do wymagań rynku, już obecnie są realizowane opracowania służące do oceny zasadności podejmowania prac modernizacyjnych na poszczególnych liniach kolejowych. Analiza przeprowadzana w tych opracowaniach musi być za każdym razem wykonana dla wielu wariantów realizacji danej inwestycji. Nie można bowiem *a priori* przyjąć, w jaki sposób powinny być modernizowane poszczególne linie kolejowe i jakie parametry techniczne powinny być uzyskane.

W przypadku potrzeby uzyskania dla danej inwestycji środków z funduszy unijnych, konieczne jest uwzględnienie w analizie wariantów inwestycyjnych nie tylko punktu widzenia właściciela tej inwestycji, lecz także, między innymi, zagadnień związanych z ochroną środowiska. Można zatem stwierdzić, że analiza projektów inwestycyjnych, zwłaszcza infrastrukturalnych w transporcie kolejowym, powinna mieć charakter wielokryterialny.

Niezbędne jest zatem poszukiwanie wielokryterialnych metod rozwiązywania problemów [1, 2, 4, 6, 7, 8, 9], tj. metod, które są pomocne w podejmowaniu właściwych decyzji dotyczących rozwoju kolejowego systemu transportowego (np. modernizacji i rozbudowy kolejowej sieci transportowej) i uwzględniających różne cele użytkowników.

Należy podkreślić, że podejścia stosowane w wielokryterialnej ocenie wariantów inwestycyjnych są niejednokrotnie rozbieżne (choć opierają się na tych samych zasadach). Wynika to z braku podstawowej wiedzy z zakresu optymalizacji wielokryterial-

nej, tj. z braku jednoznacznych zasad postępowania podczas ustalania ważności kryteriów oraz ocen wariantów (częstokroć zdarza się uznaniowe wartościowanie wyników, co jest poważnym błędem), a także normowania wartości ocen wariantów. W konsekwencji mogą być popełniane błędy rzutujące na wybór właściwego wariantu.

2. GŁÓWNE CELE REALIZACJI KOLEJOWYCH PROJEKTÓW INFRASTRUKTURALNYCH

Zasadniczym celem polityki transportowej państwa powinno być podniesienie atrakcyjności transportu kolejowego w zakresie świadczonych usług. Wynika to zarówno z potrzeb dostosowania się do standardów unijnych, jak również z potrzeb zrównoważonego rozwoju systemu transportowego. Zatem realizacja projektów inwestycyjnych w transporcie kolejowym powinna przede wszystkim zapewnić lepszą jakość oferty skierowanej do przewoźników kolejowych, a pośrednio także do klientów kolei. Chodzi głównie o wyeliminowanie wielu ograniczeń prędkości, podwyższenie prędkości maksymalnych dla przewozów pasażerskich oraz — w przypadku transportu ładunków — o odpowiedni poziom dopuszczalnych nacisków osi wagonów kolejowych na tor, zapewnienie większego bezpieczeństwa itp. Wymienione parametry, świadczące o jakości infrastruktury kolejowej, mogą być określone jako cele techniczne (nieekonomiczne) i rozpatrywane z uwzględnieniem punktu widzenia klientów (ich różnych potrzeb), dla których istotny jest m.in. czas przejazdu oraz bezpieczeństwo podróży [3].

Drugim istotnym zagadnieniem w realizacji danej inwestycji infrastrukturalnej jest — rozpatrywany przez właściciela infrastruktury kolejowej — rachunek ekonomiczny. Głównym jego celem jest uzyskanie lepszych wyników ekonomicznych i nie ulega wątpliwości, że cel ten musi być silnie powiązany z przyszłym popytem na usługi. Podjęcie złej decyzji w zakresie wariantu realizacji inwestycji może skutkować w przyszłości ujemnym wynikiem finansowym. Tak zdefiniowany cel jest celem ekonomicznym, natomiast o stopniu jego realizacji świadczą przede wszystkim przewidywane koszty użytkowania infrastruktury kolejowej, nakłady na jej budowę lub modernizację oraz spodziewane przychody z udostępniania modernizowanej infrastruktury, w tym wzrost udziału transportu kolejowego w obsłudze potoku ruchu w danych relacjach przewozowych, wynikający z podniesienia atrakcyjności usług kolejowych.

W obecnej polityce transportowej UE dość dużo uwagi poświęca się problematyce zrównoważonego rozwoju systemu transportowego. Chodzi przede wszystkim o ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko systemu transportowego. Oznacza to, że inwestycje infrastrukturalne nie mogą być oceniane w oderwaniu od ich wpływu na otoczenie, tj. zarówno na środowisko naturalne, zwierzęta, jak i na ludzi. W ocenie wpływu inwestycji na otoczenie powinny być uwzględnione: zajętość terenu, spodziewana emisja hałasu (zarówno podczas prowadzenia prac inwestycyjnych, jak i dalszej eksploatacji), przewidywane zanieczyszczenia wód czy też prawdopodobieństwo występowania wypadków z udziałem ludzi i zwierząt [5].

Można zatem przyjąć, że są trzy główne cele realizacji projektów infrastrukturalnych w transporcie kolejowym, a mianowicie chodzi o osiągnięcie:

- 1) jak najwyższej jakości infrastruktury kolejowej dla przewoźników;
- 2) jak najlepszych wyników finansowych — przez właściciela infrastruktury kolejowej;
- 3) jak najmniejszej uciążliwości projektu dla środowiska naturalnego.

Dodatkowo, w wymienionych celach można i należy wyróżniać wiele mierników świadczących o stopniu osiągnięcia tych celów.

Wykazana wieloaspektowość infrastrukturalnych projektów w transporcie kolejowym świadczy o złożoności i trudności podejmowanych decyzji w zakresie wyboru wariantu realizacji danej inwestycji. W związku z tym, przy szeregowaniu rozpatrywanych wariantów realizacji danej inwestycji należy stosować optymalizację wielokryterialną (cele te są sprzeczne). Niezbędne jest zatem określenie dla danego projektu inwestycyjnego ważności zarówno samych celów, jak i wyodrębnianych w każdym z nich czynników (kryteriów).

Do określenia ważności celów oraz częściowych kryteriów oceny można wykorzystać trzy podstawowe metody [8, 9], tj.:

- 1) analizy par; porównujemy wszystkie kryteria parami, przydzielając punkty 0 i 1, następnie sumujemy punkty dla poszczególnych kryteriów;
- 2) wagowego porównywania parami; porównujemy wszystkie kryteria parami, ustalamy o ile dane kryterium jest ważniejsze oraz przydzielamy punkty od 0 do 1, następnie sumujemy punkty dla poszczególnych kryteriów;
- 3) nadawania punktów poszczególnym kryteriom (tzw. metody punktowej); zbiera się grono ekspertów i każdy z nich przydziela punkty dla kryteriów, a następnie dla poszczególnych kryteriów liczona jest średnia ważona, określająca ich ważność.

Ponadto, w zakresie ważności kryteriów oceny należy zachować przejrzystość. Oznacza to, że wagi muszą być ustalone w porozumieniu z decydem (lub decydentami), w przypadku gdy to nie on wykonuje obliczenia. Natomiast badania ważności kryteriów oceny, oparte na jednej z wymienionych wyżej metod, powinny być za każdym razem wykonywane indywidualnie. Wynika to z potrzeby uwzględnienia interesu decydenta (lub decydentów).

3. METODA WIELOKRYTERIALNEJ OCENY WARIANTÓW KOLEJOWYCH INWESTYCJI INFRASTRUKTURALNYCH

3.1. Przyjęte założenia

Opracowując studium wykonalności w aspekcie modernizacji danej linii kolejowej przeprowadza się analizę kilku wariantów realizacji danej inwestycji, oczywiście uwzględniając różne założenia, takie jak: warunki techniczne, rozwój społeczno-gospodarczy otoczenia lini itp. W celu przybliżenia przyjętego podejścia do wielokryterialnej oceny, w artykule przedstawiono matematyczne sformułowanie problemu oraz przykład inwestycji infrastrukturalnej wybranej linii kolejowej.

Zakładamy więc, że zbiór wariantów realizacji danej inwestycji związanej z infrastrukturą kolejową (modernizacja, przebudowa, budowa nowej linii kolejowej) ma postać:

$$V = \{1, 2, \dots, v, \dots, V\} \quad (1)$$

(należy pamiętać, że aby wykonać wielokryterialną ocenę trzeba mieć zdefiniowane co najmniej dwa warianty realizacji proponowanej inwestycji).

Zgodnie z rozważaniami zawartymi w punkcie 2 przyjmujemy, że dla danej inwestycji znane są cele (sprecyzowane przez ośrodki decyzyjne) oraz kryteria mierzące stopień osiągnięcia tych celów. Znana też jest ważność zarówno celów, jak i kryteriów. Zbiór

celów, które są do osiągnięcia w danym projekcie inwestycyjnym, zdefiniujemy następująco:

$$C = \{1, 2, \dots, c, \dots, C\} \quad (2)$$

Ważność poszczególnych celów oznaczymy jako $q(c)$, przy czym zakładamy, że:

$$\forall c \in C \quad q(c) \geq 0 \wedge q(c) \leq 1 \quad \text{oraz} \quad \sum_{c \in C} q(c) = 1 \quad (3)$$

Dla każdego celu zdefiniowano zbiór kryteriów oceny wariantów infrastrukturalnego projektu inwestycyjnego, tj.:

$$K(c) = \{1, 2, \dots, k(c), \dots, K(c)\} \quad (4)$$

Podobnie jak w przypadku celów przyjmujemy, że znana jest ważność poszczególnych kryteriów $q(c, k(c))$, która spełnia następujące warunki:

$$\begin{aligned} \forall c \in C \quad \forall k(c) \in K(c) \quad q(c, k(c)) \geq 0 \wedge q(c, k(c)) \leq 1 \quad \text{oraz} \\ \forall c \in C \quad \sum_{k(c) \in K(c)} q(c, k(c)) = 1 \end{aligned} \quad (5)$$

Uwzględniając powyższe oznaczenia, wagę poszczególnych kryteriów oceny w całym systemie wartościowania wariantów będą wyrażać iloczyny $q(c) \cdot q(c, k(c))$, spełniające zależność:

$$\sum_{c \in C} \sum_{k(c) \in K(c)} q(c) \cdot q(c, k(c)) = 1 \quad (6)$$

Po zdefiniowaniu celów, kryteriów oraz określeniu ich ważności należy ustalić oceny poszczególnych wariantów realizacji danej inwestycji infrastrukturalnej pod względem kryteriów wyodrębnionych w poszczególnych celach. Mając na uwadze ten etap wielokryterialnej oceny należy zapewnić, by wyspecyfikowane kryteria oceny jakości wariantowych rozwiązań były mierzalne. Ocenę wariantu o numerze v z punktu widzenia wyróżnionego kryterium $k(c)$ w celu c , na potrzeby dalszych rozważań, oznaczymy jako $o(v, c, k(c))$.

Dość istotnym zagadnieniem przy ocenie poszczególnych wariantów ze względu na przyjęte kryteria jest normalizacja ocen wariantów. Oceny wariantów ustalane dla poszczególnych kryteriów mogą być wyrażone w różnych jednostkach oraz mogą dotyczyć zarówno kryteriów maksymalizowanych (wartość największa jest najkorzystniejsza), jak i minimalizowanych (wartość najmniejsza jest najkorzystniejsza). Stąd też, przed przystąpieniem do dalszych obliczeń konieczna jest tzw. normalizacja ocen wariantów, aby mogły one spełniać wymóg porównywalności. Normalizacja ocen wariantów ze względu na poszczególne kryteria powinna być przeprowadzona następująco:

— w przypadku kryteriów maksymalizowanych:

$$f(v, c, k(c)) = \frac{o(v, c, k(c))}{\max_{v \in V} o(v, c, k(c))} \quad (7)$$

— w przypadku kryteriów minimalizowanych:

$$f(v, c, k(c)) = \frac{\min_{v \in V} o(v, c, k(c))}{o(v, c, k(c))} \quad (8)$$

Wyznaczona ze wzoru (7) lub (8) wartość $f(v, c, k(c))$ oznacza unormowaną ocenę wariantu v ze względu na wyróżnione kryterium $k(c)$ w celu c .

Po unormowaniu ocen poszczególnych wariantów można, opierając się na tzw. metodzie punktowej, wyznaczyć zagregowane wskaźniki oceny dla poszczególnych wariantów realizacji infrastrukturalnych projektów inwestycyjnych. Wzór określający te wskaźniki ma postać:

$$F(v) = \sum_{c \in C} q(c) \cdot \left(\sum_{k(c) \in K(c)} q(c, k(c)) \cdot f(v, c, k(c)) \right) \quad (9)$$

przy czym $F(v)$ oznacza zagregowany wskaźnik oceny wariantu v . Oczywiście wariantem wykonania danej inwestycji, najlepszym ze względu na przyjęte kryteria, jest wariant v^* , spełniający następującą zależność:

$$v^* : F(v^*) = \max_{v \in V} F(v) \quad (10)$$

3.2. Ocena wariantów projektu modernizacji wybranej linii kolejowej

W pracach studialnych nad modernizacją pewnej linii kolejowej zdefiniowano trzy warianty różniące się zakresem realizowanych prac modernizacyjnych. W wariacie pierwszym założono odtworzenie badanej linii do wcześniej obowiązującej na niej prędkości projektowej 120 km/h (prace miałyby obejmować usunięcie obowiązujących na linii wielu stałych i czasowych ograniczeń prędkości). Wariant drugi zakłada dostosowanie linii do prędkości maksymalnej 160 km/h, natomiast wariant trzeci — do prędkości maksymalnej 200 km/h.

Dla wszystkich trzech wariantów wykonano wnikliwe analizy branżowe w ramach studium wykonalności. Jednak analiza tego studium nie wskazała jednoznacznie na którykolwiek z rozpatrywanych wariantów. Aby przesądzić ostatecznie o wyborze wariantu modernizacji badanej linii kolejowej było niezbędne wykonanie analizy wielokryterialnej.

Dla potrzeb porównania poszczególnych wariantów modernizacyjnych zdefiniowano trzy cele. A mianowicie:

- cel ekonomiczny, rozpatrywany z punktu widzenia zarządcy infrastruktury,
- cel ogólnospołeczny, rozpatrywany z punktu widzenia interesu państwa oraz użytkowników infrastruktury,
- cel środowiskowy, rozpatrywany ze względu na wymagania ochrony środowiska.

Ważność przyjętych celów, w drodze dyskusji z ośrodkami decyzyjnymi, została ustalona jako: $q(1) = 0,45$; $q(2) = 0,30$; $q(3) = 0,25$. Dla potrzeb kwantyfikacji stopnia realizacji przyjętych celów zdefiniowano następujące kryteria:

- 1) cel ekonomiczny:
- poziom nakładów inwestycyjnych o ważności $q(1,1) = 0,2$,
 - poziom kosztów eksploatacyjnych o ważności $q(1,2) = 0,3$,
 - wskaźnik wewnętrznej stopy zwrotu z inwestycji (IRR) o ważności $q(1,3) = 0,3$,
 - wielkość pracy eksploatacyjnej w pociągokilometrach o ważności $q(1,4) = 0,2$;
- 2) cel ogólnospołeczny:
- bezpieczeństwo o ważności $q(2,1) = 0,3$,
 - wpływ modernizacji na rozwój regionalny i zmniejszenie bezrobocia o ważności $q(2,2) = 0,2$,
 - łatwość realizacji projektu o ważności $q(2,3) = 0,1$,
 - udział kolei w przewozach ogółem w danym ciągu transportowym o ważności $q(2,4) = 0,1$,
 - redukcja czasu przejazdu (wartość średnia ważona dla poszczególnych kategorii pociągów) o ważności $q(2,5) = 0,2$,
 - dostępność czasowa połączeń kolejowych o ważności $q(2,6) = 0,1$;
- 3) cel środowiskowy:
- redukcja kosztów zewnętrznych poprzez przejście pasażerów z transportu drogowego o ważności $q(3,1) = 0,3$,
 - redukcja hałasu o ważności $q(3,2) = 0,1$,
 - spadek liczby wypadków z udziałem zwierząt o ważności $q(3,3) = 0,2$,
 - stopień wpływu na obszary chronione o ważności $q(3,4) = 0,3$,
 - zajętość terenu o ważności $q(3,5) = 0,1$.

Po zdefiniowaniu celów, kryteriów oraz określeniu ich ważności ustalono oceny poszczególnych wariantów realizacji badanej inwestycji infrastrukturalnej w zależności od kryteriów wyodrębnionych w poszczególnych celach. Wartości ocen wariantów zestawiono w tabelicy 1. W tabelicy tej umieszczono także informację dotyczącą preferencji w zakresie wartości uzyskiwanych przez poszczególne kryteria.

Tabela 1

Wartości ocen rozpatrywanych wariantów realizacji inwestycji infrastrukturalnej dla poszczególnych celów oraz kryteriów¹

Numer celu (c)	Kryterium		Ocena wariantów ($o(v,c,k(c))$)			Poszukiwane ekstremum
	nazwa	waga	wariant 1	wariant 2	wariant 3	
1.	Nakłady inwestycyjne	0,2	200	3 300	4 000	min
	Koszty eksploatacyjne	0,3	60	46	50	min
	IRR	0,3	4,5	6,0	5,5	max
	Praca eksploatacyjna	0,2	140	153	162	max
2.	Bezpieczeństwo	0,3	6	9	10	max
	Rozwój regionalny	0,2	1 350	3 910	4 230	max
	Łatwość realizacji projektu	0,1	100	63	41	max
	Udział kolei w przewozach	0,1	14	31	36	max
	Redukcja czasu przejazdu	0,2	23	42	50	max
	Dostępność czasowa kolei	0,1	60	30	28	max
3.	Redukcja kosztów zewnętrznych	0,3	2	20	24	max
	Redukcja hałasu	0,1	2	8	6	max
	Spadek liczby wypadków z udziałem zwierząt	0,2	0	8	8	max
	Wpływ na obszary chronione	0,3	1	3	6	min
	Zajętość terenu	0,1	1	4	6	min

¹ Z powodu niejawności danych rzeczywistych w tabelicy tej nie podano jednostek dla kryteriów oraz zniekształcono uzyskane w studium wykonalności wartości ocen wariantów.

Jak wynika z danych w tabelicy 1 część kryteriów jest minimalizowana, część zaś maksymalizowana. Dodatkowo kryteria te są wyrażone w różnych jednostkach. Zatem, przed przystąpieniem do dalszych obliczeń, jest konieczne unormowanie ocen wariantów. Wyniki normowania ocen wariantów, jak również ustalenie ich ocen według poszczególnych celów, umieszczono w tabelicy 2.

Tablica 2

Wartości unormowanych ocen wariantów według kryteriów oraz oceny wariantów według celów modernizacji wybranej linii kolejowej

Numer celu (c)	Kryterium		Unormowana ocena wariantów ($f(v,c,k(c))$)		
	nazwa	waga	wariant 1	wariant 2	wariant 3
1.	Nakłady inwestycyjne	0,2	1,00	0,06	0,05
	Koszty eksploatacyjne	0,3	0,77	1,00	0,92
	IRR	0,3	0,75	1,00	0,92
	Praca eksploatacyjna	0,2	0,86	0,94	1,00
	Razem	1,0	0,83	0,80	0,76
2.	Bezpieczeństwo	0,3	0,60	0,90	1,00
	Rozwój regionalny	0,2	0,32	0,92	1,00
	Łatwość realizacji projektu	0,1	1,00	0,63	0,41
	Udział kolei w przewozach	0,1	0,39	0,86	1,00
	Redukcja czasu przejazdu	0,2	0,46	0,84	1,00
	Dostępność czasowa kolei	0,1	1,00	0,50	0,47
	Razem	1,0	0,57	0,82	0,89
3.	Redukcja kosztów zewnętrznych	0,3	0,08	0,83	1,00
	Redukcja hałasu	0,1	0,25	1,00	0,75
	Spadek liczby wypadków z udziałem zwierząt	0,2	0,00	1,00	1,00
	Wpływ na obszary chronione	0,3	1,00	0,33	0,17
	Zajętość terenu	0,1	1,00	0,25	0,17
	Razem	1,0	0,45	0,68	0,64

Ostateczne wskaźniki oceny poszczególnych wariantów modernizacji badanej linii kolejowej wyznaczono w tabelicy 3.

Tablica 3

Wyniki wielokryterialnej oceny wariantów modernizacji linii kolejowej

Cel			Unormowana ocena wariantów ($f(v,c)$)		
nu-mer	nazwa	waga	wariant 1	wariant 2	wariant 3
1.	Ekonomiczny	0,45	0,83	0,80	0,76
2.	Ogólnospołeczny	0,30	0,57	0,82	0,89
3.	Środowiskowy	0,25	0,45	0,68	0,64
Ogółem		1,00	0,66	0,78	0,77

Z obliczeń umieszczonych w tablicy 3 wynika, że najlepszym wariantem modernizacji badanej linii kolejowej okazał się wariant 2. Wariant ten zakłada dostosowanie badanej linii do prędkości maksymalnej 160 km/h.

4. WNIOSKI

Przedstawiona metoda wielokryterialnej oceny kolejowych projektów inwestycyjnych może być narzędziem wspomagającym wybór wariantu realizacji projektu inwestycyjnego, uwzględniając różne interesy, najczęściej sprzeczne.

Ważną zaletą proponowanej metody jest jej jednoznaczność, wyrażająca się tym, że intuicja i wiedza ekspercka w analizie wielokryterialnej jest ograniczona jedynie do ustalania ważności poszczególnych celów i kryteriów. Natomiast samo określanie wartości ocen wariantów oraz dalsze obliczenia realizowane są już według precyzyjnie określonej procedury obliczeniowej.

Proponowane podejście do wielokryterialnej oceny wariantów projektów inwestycyjnych w zakresie modernizacji linii kolejowej charakteryzuje się przejrzystością oraz łatwością stosowania w porównaniu z innymi metodami oceny wielokryterialnej, co predysponuje ją do powszechnego stosowania w praktyce.

BIBLIOGRAFIA

1. *Ackoff R. W.*: Decyzje optymalne w badaniach stosowanych. PWN, Warszawa 1968.
2. *Ambroziak T., Jacyna M., Wasiak M.*: The Logistic Services in a hierarchical Distribution System. Transport Science and Technology. ELSEVIER. Chapter 30. ISBN-13: 978-0-08-044707-0 (ISBN-10: 0-08-044707-4) DEC-2006, s. 383—393.
3. *Basiewicz T., Jacyna M., Ambroziak T.*: The Logistical Point of View on Transport Infrastructure Needs Assessment/Corridors: the Baltic Sea—the Adriatic/International Scientific Symposium Traffic connection between the Baltic and the Adriatic/Mediterranean, Croatian Academy of Sciences and Arts, Zagreb, November 22 and 23, 2000.
4. *Jacyna M.*: Modelowanie wielokryterialne w zastosowaniu do oceny systemów transportowych. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej — Transport, z. 47, Oficyna Wyd. PW, Warszawa 2001.
5. *Jacyna M.*: Multicriteria Evaluation of Traffic Flow Distribution in a Multimodal Transport Corridor, Taking into Account Logistics Base Service. Archives of Transport, Polish Academy of Sciences, Com. of Transport, vol. 10 iss. 1—2, Warsaw 1999.
6. *Jacyna M.*: Multicriteria Evaluation of Traffic Flow Distribution in a Transport Corridor. *Railway Engineering*, London 30.04—1.05. 2001.
7. *Wasiak M.*: Optymalizacja obsługi logistycznej w hierarchicznym systemie dystrybucji. Modelowanie elementów i systemów transportowych. Prace naukowe, Transport, z. 56, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2006, s. 5—24.
8. *Wasiak M.*: Wybrane aspekty optymalizacji wielokryterialnej. Badania operacyjne i systemowe 2006. Metody i techniki: Decyzje wielokryterialne pod redakcją *Kacprzyka, J. Budzińskiego R.*, Wyd. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2006.
9. *Zeleny M.*: Multiple criteria decision making. McGraw-Hill, New York 1982.