

SAŁABUN Wojciech¹

Zastosowanie metody COMET w zarządzaniu łańcuchem dostaw i logistyce

WSTĘP

Metody wielokryterialnego wspomaganie podejmowania decyzji powszechnie stosowane są w zarządzaniu łańcuchami dostaw oraz w rozwiązywaniu złożonych problemów powiązanych z szeroko rozumianą logistyką [1-11, 16-18]. Sprzyja temu przede wszystkim złożoność zarówno samych procesów, jak i całych systemów transportowych oraz logistycznych. W rozważanej problematyce występuje bowiem bardzo duża liczba parametrów, ale również i miar ocen, w których można wyszczególnić między innymi miary: ekonomiczne, techniczne, środowiskowe oraz społeczne [20, 21]. Miary te zazwyczaj uwzględniają przeciwstawne, a często sprzeczne interesy, czego dobrym przykładem może być ocena ekonomiczna oraz ocena środowiskowa, które zazwyczaj mają przeciwstawne cele.

W artykule został przedstawiony zwięzły przegląd literatury pod względem używanych metod oraz poruszanej problematyki badawczej w zakresie zarządzania łańcuchami dostaw oraz logistyki. Następnie przedstawiane jest nowe podejście we wspomaganie decyzji, jakim jest metoda COMET [12-15]. Jest to metoda nie posiadająca wielu wad zidentyfikowanych w wielokryterialnych metodach analizy decyzyjnej, a przede wszystkim odporna na zjawisko *rank reversal*, czyli odwracanie rankingów przy dodaniu nowej alternatywy lub w momencie usunięcia alternatywy ze zbioru rozpatrywanych obiektów [15]. W artykule zamieszczony jest również prosty przykład mający na celu lepsze zobrazowanie działania metody COMET.

1. PRZEGLĄD LITERATURY

Sekcja ta prezentuje wybrane prace naukowe związane z wielokryterialnym wspomaganie decyzji w zarządzaniu łańcuchem dostaw oraz logistyce. Prace te są przedstawione w aspekcie zastosowanej metody oraz tematyki problemu badawczego. Artykuły te zostały przedstawione w skróconym zarysie w tabeli 1. Pokazuje to dużą różnorodność problemów, które są rozwiązywane za pomocą metod wielokryterialnej analizy decyzyjnej, a jednocześnie przedstawia problem doboru odpowiedniej metody. Mnogość metod oraz ich modyfikacji prowadzi do pojawienia się kolejnego problemu, jaką metodę zastosować. W artykule tym przedstawiona jest nowa rozmyta metoda COMET, która eliminuje przede wszystkim problem rank reversal, a dodatkowo w dotychczasowych badaniach wykazuje większą dokładność od pozostałych metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji [12-15].

W literaturze problemu najczęściej poruszonymi problemami są zadania związane przede wszystkim z: wyborem lokalizacji [1, 5, 6, 7, 9, 16, 17], wyborem dostawcy [4, 10], wyborem strategii (scenariusza) [11, 18] lub oceną wydajności (użyteczności) [2, 3, 8]. W celu ich rozwiązania autorzy sięgają po metody klasyczne lub ich rozmyte rozszerzenia. Są to przede wszystkim takie metody jak: Analytic Hierarchy Process (AHP) [6, 11], fuzzy AHP (fAHP) [4, 16], Analytic Network Process (ANP) [17, 18], fuzzy ANP (fANP) [10], Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) [7], fuzzy TOPSIS (fTOPSIS) [3, 6, 8, 10], ELimination and Choice Expressing REality (ELECTRE) [2] oraz fuzzy Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (fPROMETHEE) [9].

¹ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Informatyki, Katedra Metod Sztucznej Inteligencji i Matematyki Stosowanej

Tab. 1. Zestawienie przykładowych zastosowań oraz metod wielokryterialnego wspomaganie podejmowania decyzji w zarządzaniu łańcuchem dostaw i logistyce (opracowanie własne)

Zastosowanie	Metoda	Referencja
Wybór lokalizacji obiektów uciążliwych	ANP	[17]
Wybór lokalizacji do budowy nowego obiektu dla firmy	fAHP	[16]
Wybór lokalizacji nowego obiektu dla kompani włókienniczej	AHP + fTOPSIS	[6]
Wybór lokalizacji dworca autobusowego	fPROMETHEE	[9]
Wybór lokalizacji do budowy fabryki	fTOPSIS	[5]
Wybór lokalizacji magazynów wojskowych	TOPSIS	[7]
Wybór lokalizacji dla miejskich centrów dystrybucyjnych	fTOPSIS	[1]
Wybór globalnego dostawcy dla firmy produkcyjnej	fAHP	[4]
Wybór nowego dostawcy produktów dla kompanii telekomunikacyjnej	fANP + fTOPSIS	[10]
Ocena klienta przez dostawcę	fTOPSIS	[3]
Wybór scenariusza w zakresie zmian wykorzystywanego paliwa dla transportu	AHP	[11]
Wybór scenariusza rozwoju infrastruktury transportowej	ANP	[18]
Ocena zrównoważonej wydajności dostawców (Green SCM)	fTOPSIS	[8]
Ocena wydajności krajowych systemów transportowych pod względem wpływu na gospodarkę, środowisko i społeczeństwo	ELECTRE	[2]

2. METODA COMET

W niniejszym opracowaniu do rozwiązywania problemów w logistyce proponowana jest metoda COMET, która jest całkowicie odporna na zjawisko rank reversal, ponieważ raz zidentyfikowany model stale zwraca te same wartości ocen dla wszystkich ocenianych obiektów [12]. Metoda ta bazuje na mechanizmach zbiorów rozmytych [19], które wielokrotnie były stosowane do opracowania modeli eksperckich [13, 14]. Podejście to zakłada przeprowadzenie pięciu etapów postępowania [15]:

Etap 1. Zdefiniowanie przestrzeni problemu. Pierwszym krokiem jest określenie wymiarowości problemu poprzez wskazanie liczby r kryteriów C_1, C_2, \dots, C_r . Następnie, należy wskazać zbiór trójkątnych liczb rozmytych dla każdego pojedynczego kryterium C_i w następującej postaci: $\tilde{C}_{i1}, \tilde{C}_{i2}, \dots, \tilde{C}_{ic_i}$. W ten sposób otrzymujemy przestrzeń rozważanego problemu o następującej postaci (1):

$$\begin{aligned}
 C_1 &= \{ \tilde{C}_{11}, \tilde{C}_{12}, \dots, \tilde{C}_{1c_1} \} \\
 C_2 &= \{ \tilde{C}_{21}, \tilde{C}_{22}, \dots, \tilde{C}_{2c_2} \} \\
 &\dots\dots\dots \\
 C_r &= \{ \tilde{C}_{r1}, \tilde{C}_{r2}, \dots, \tilde{C}_{rc_r} \}
 \end{aligned} \tag{1}$$

gdzie c_1, c_2, \dots, c_r oznaczają liczbę zbiorów rozmytych (trójkątnych liczb rozmytych) odpowiednio dla wszystkich kryteriów C_1, C_2, \dots, C_r .

Etap 2. Wygenerowanie obiektów charakterystycznych. Obiekty charakterystyczne są otrzymywane poprzez zastosowanie iloczynu kartezjańskiego na zbiorach jąder trójkątnych liczb rozmytych wszystkich wskazanych kryteriów (2):

$$CO = C(C_1) \times C(C_2) \times \dots \times C(C_r) \tag{2}$$

W rezultacie otrzymuje się uporządkowany zbiór wszystkich obiektów charakterystycznych w postaci (3), gdzie wartość t oznacza liczbę uzyskanych obiektów charakterystycznych (4).

$$\begin{aligned}
 CO_1 &= \{ C(\tilde{C}_{11}), C(\tilde{C}_{21}), \dots, C(\tilde{C}_{r1}) \} \\
 CO_2 &= \{ C(\tilde{C}_{11}), C(\tilde{C}_{21}), \dots, C(\tilde{C}_{r2}) \} \\
 &\dots\dots\dots \\
 CO_t &= \{ C(\tilde{C}_{1c_1}), C(\tilde{C}_{2c_2}), \dots, C(\tilde{C}_{rc_r}) \}
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$t = \prod_{i=1}^r c_i \quad (4)$$

Etap 3. Rankingowanie i ocena obiektów charakterystycznych. Należy wyznaczyć macierz ocen eksperckich (MEJ – Matrix of Expert Judgment), która powstaje poprzez porównanie parami wszystkich obiektów charakterystycznych. W rezultacie struktura macierzy MEJ przyjmuje formę (5):

$$MEJ = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1t} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2t} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{t1} & \alpha_{t2} & \dots & \alpha_{tt} \end{pmatrix} \begin{matrix} CO_1 \\ CO_2 \\ \dots \\ CO_t \end{matrix}, \quad (5)$$

$$CO_1 \quad CO_2 \quad \dots \quad CO_t$$

gdzie α_{ij} jest wartością wynikającą z porównania obiektów charakterystycznych CO_i oraz CO_j dokonanej przez eksperta. Silniej preferowany obiekt, w porównywanej parze, otrzymuje jeden punkt, a drugi obiekt zero punktów. Jeżeli preferencje obu obiektów są w przybliżeniu równe to wówczas każdy z nich otrzymuje po połowie punktu. Proces oceniania jest uzależniony wyłącznie od wiedzy eksperta i może zostać przedstawiony formalnie jako (6):

$$\alpha_{ij} = f(CO_i, CO_j) = \begin{cases} 0,0, f_{\text{exp}}(CO_i) < f_{\text{exp}}(CO_j) \\ 0,5, f_{\text{exp}}(CO_i) = f_{\text{exp}}(CO_j) \\ 1,0, f_{\text{exp}}(CO_i) > f_{\text{exp}}(CO_j) \end{cases}, \quad (6)$$

gdzie f_{exp} jest funkcją mentalną oceny eksperta. Funkcja ta nie jest znana w sposób jawny oraz zależy od wiedzy i doświadczenia konkretnego eksperta. Ważną właściwością f_{exp} jest to, że porównanie $\alpha_{ii} = f(CO_i, CO_i)$ nie wnosi żadnych istotnych informacji. Może być zatem automatycznie uzupełnione zerem punktów. Liczba porównań niezbędnych do powstania macierzy MEJ nie wynosi t^2 ze względu na zależność $\alpha_{ji} = 1 - \alpha_{ij}$, która redukuje liczbę niezbędnych porównań do p zapytań (7):

$$p = \binom{t}{2} = \frac{t(t-1)}{2} \quad (7)$$

Następnie wyznaczany jest pionowy wektor SJ , który sumuje liczbę uzyskanych punktów przez każdy obiekt charakterystyczny. Dokonuje się tego poprzez zsumowanie każdego wiersza macierzy MEJ (8):

$$SJ_i = \sum_{j=1}^t \alpha_{ij} \quad (8)$$

Ostatnim krokiem, w tym etapie, jest przypisanie dla każdego obiektu charakterystycznego aproksymowanej wartości preferencji. W wyniku powstaje pionowy wektor P , gdzie wartość z i -tego wiersza oznacza wartość preferencji przybliżoną za pomocą reguły nierozróżnialności Laplace'a dla i -tego obiektu charakterystycznego. Dokładny algorytm jest zaprezentowany poniżej jako fragment kodu w języku programowania pakietu obliczeniowego Matlab:

```
1: k = length(unique(SJ));
2: P = zeros(t,1);
3: for i = 1:k
4:     ind = find(SJ == max(SJ));
5:     P(ind) = (k - i) / (k - 1);
6:     SJ(ind) = 0;
7: end
```

W linii numer 1 obliczana jest ilość niepowtarzalnych wartości należących do wektora SJ . W linii numer 2 tworzony jest wektor P o identycznej wymiarowości jak wektor SJ , ale wypełniony samymi zerami. Linia numer 3 rozpoczyna pętlę, której ciało zostanie wywołane k -krotnie. W linii numer 4 wyszukiwany jest indeks z największą wartością z wektora SJ . W linii numer 5 indeks ten jest

wykorzystywany do wyznaczenia preferencji na podstawie reguły nierozróżnialności Laplace'a. W linii numer 6 zerowana jest maksymalna wartość wektora SJ .

Etap 4. Tworzenie bazy reguł. Każdy obiekt charakterystyczny wraz z jego aproksymowaną wartością preferencji przekształcany jest w regułę rozmytą zgodnie z tautologią Uogólniony Modus Ponens (9) co można przedstawić w formie szczegółowej jako (10):

$$IF CO_i THEN P_i \quad (9)$$

$$IF C(\tilde{C}_{1i}) AND C(\tilde{C}_{2i}) AND... THEN P_i \quad (10)$$

Kompletna baza reguł powstaje po przekształceniu wszystkich dostępnych obiektów charakterystycznych i można ją zapisać jako (11):

$$\begin{aligned} &IF CO_1 THEN P_1 \\ &IF CO_2 THEN P_2 \\ &..... \\ &IF CO_i THEN P_i \end{aligned} \quad (11)$$

Etap 5. Wnioskowanie rozmyte i otrzymanie końcowego rankingu. Każda alternatywa jest zdefiniowana jako zbiór ostrych wartości, które odpowiadają poszczególnym kryteriom modelu C_1, C_2, \dots, C_r . Przykładowo i -ta alternatywa może zostać zapisana jako (18):

$$A_i = \{a_{1i}, a_{2i}, \dots, a_{ri}\}, \quad (18)$$

pod warunkiem spełnienia następujących warunków (19):

$$\begin{aligned} a_{1i} &\in [C(\tilde{C}_{11}), C(\tilde{C}_{1c_1})] \\ a_{2i} &\in [C(\tilde{C}_{21}), C(\tilde{C}_{2c_2})] \\ &..... \\ a_{ri} &\in [C(\tilde{C}_{r1}), C(\tilde{C}_{rc_r})] \end{aligned} \quad (19)$$

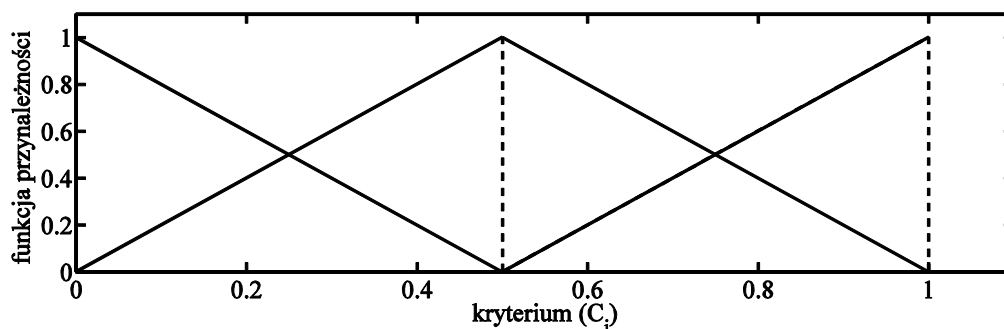
Każda alternatywa aktywuje określoną ilość reguł, dla których określa się stopień aktywacji jako iloczyn stopnia przynależności wszystkich przesłanek. Suma wszystkich stopni aktywacji reguł rozmytych wynosi jeden. Wartość preferencji każdej alternatywy jest natomiast wyliczana jako suma produktu stopnia aktywacji wszystkich aktywowanych reguł oraz ich aproksymowanej wartości preferencji. Ostateczny ranking alternatyw uzyskuje się poprzez sortowanie uzyskanych stopni preferencji.

3. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA

Do zaprezentowania działania metody posłuży prosty przykład wyboru dostawcy. W celu łatwiejszego zobrazowania działania metody w prezentowanym problemie wystąpią zaledwie dwa kryteriami ($r = 2$). Kryteriami tymi będą koszt (C_1) oraz jakość (C_2) usługodawcy. Wartości dla obu kryteriów będą znormalizowane w przedziale od 0 do 1, co przedstawia wraz z wartościami lingwistycznymi rys.1. Definiując kryteria w ten sposób otrzymywane jest 9 obiektów charakterystycznych, które przedstawione są w tabeli 2. Następnie ekspert dokonuje porównań parami zgodnie z formułą (6) tworząc przez to macierz MEJ , a następnie dokonywana jest agregacja tej wiedzy do wektora SJ . Wektor SJ oraz macierz MEJ dla prezentowanego problemu przedstawione są jako (20). Stworzenie macierzy wymagało zaledwie 36 porównań parami, co pozwoliło na zidentyfikowanie preferencji decydenta i zbudowanie rozmytego modelu. Ocenianie kolejnych alternatyw odbywa się w sposób automatyczny z wykorzystaniem bazy reguł rozmytych.

Tab. 2. Zestawienie 9 obiektów charakterystycznych OC_i

OC_i	OC_1	OC_2	OC_3	OC_4	OC_5	OC_6	OC_7	OC_8	OC_9
C_1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0
C_2	0,0	0,5	1,0	0,0	0,5	1,0	0,0	0,5	1,0



Rys 1. Funkcje przynależności dla wartości niski (około 0), przeciętny (około 0,5) oraz wysoki (około 1) dla i-tego kryterium.

$$MEJ = \begin{pmatrix} 0,5 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0,5 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0,5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0 & 0 & 1 & 0,5 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0,5 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0,5 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0,5 & 0 & 0 & 1 & 0,5 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0,5 \end{pmatrix}; SJ = \begin{pmatrix} 2,5 \\ 6,5 \\ 8,5 \\ 2,0 \\ 5,5 \\ 7,5 \\ 0,5 \\ 3,0 \\ 4,5 \end{pmatrix} \quad (20)$$

Poniżej przedstawiony został otrzymany model za pomocą 9 reguł rozmytych

R_1 : JEŻELI $C_1 \sim 0,0$ I $C_2 \sim 0,0$ TO 0,250

R_2 : JEŻELI $C_1 \sim 0,0$ I $C_2 \sim 0,5$ TO 0,750

R_3 : JEŻELI $C_1 \sim 0,0$ I $C_2 \sim 1,0$ TO 1,000

R_4 : JEŻELI $C_1 \sim 0,5$ I $C_2 \sim 0,0$ TO 0,125

R_5 : JEŻELI $C_1 \sim 0,5$ I $C_2 \sim 0,5$ TO 0,625

R_6 : JEŻELI $C_1 \sim 0,5$ I $C_2 \sim 1,0$ TO 0,875

R_7 : JEŻELI $C_1 \sim 1,0$ I $C_2 \sim 0,0$ TO 0,000

R_8 : JEŻELI $C_1 \sim 1,0$ I $C_2 \sim 0,5$ TO 0,375

R_9 : JEŻELI $C_1 \sim 1,0$ I $C_2 \sim 1,0$ TO 0,500

WNIOSKI

Prezentowana metoda COMET posiada szereg zalet, które pozwalają na jej zastosowanie w problematyce związanej z logistyką i zarządzaniem łańcuchami dostaw. Zidentyfikowany model jest w pełni odporny na zjawisko *rank reversal*, a wykorzystane w niej porównanie parami są znacznie bardziej odporne na ludzką pomyłkę niż stosowana w AHP skala Satty'ego. Ekspert decyduje tutaj bowiem tylko o przewyższeniu jednego obiektu charakterystycznego względem drugiego, a nie o sile tego przewyższenia, co ma miejsce przykładowo w metodzie AHP. Upraszcza to dodatkowo proces wspomaganie decyzji.

Zastosowanie metody COMET zapewnia powtarzalność wyników i ich niezmiennosc w odniesieniu do konkretnego eksperta w przestrzeni stanu problemu. Metoda ta w wielu przypadkach umożliwia dokonanie dokładniejszej oceny alternatyw niż pozostałe metody wielokryterialnego wspomaganie podejmowania decyzji

Streszczenie

Artykuł prezentuje nową rozmytą metodę wielokryterialnego wspomaganie podejmowania decyzji. Metoda COMET jest alternatywnym wyborem dla metody AHP, TOPSIS, ELECTRE oraz PROMETHEE. Artykuł

