

DOI: 10.37105/enex.2021.1.06

ENGINEERING EXPERT RZECZOZNAWCA



Wielokryterialny wybór technologii z wykorzystaniem metod Promethee

Grzegorz JAKUBOWSKI¹ (ORCID ID: 0000-0001-9662-5723)

¹ Wojskowa Akademia Techniczna, Zakład Inżynierii i Infrastruktury Wojskowej, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, Polska
Autor do korespondencji: grzegorz.jakubowski@wat.edu.pl

Streszczenie: Celem artykułu jest zaprezentowanie procedur obliczeniowych oraz ogólna ocena przydatności metod z rodziny Promethee w zagadnieniach wielokryterialnego wspomaganie podejmowania decyzji na podstawie rankingów potencjalnych wariantów decyzji. Przeanalizowano źródła oraz genezę rozwoju metod Promethee I oraz Promethee II. Opisano główne założenia oraz zależności stosowane w ramach analizowanych metod. Przeanalizowano zasadnicze sposoby modelowania preferencji decydeny oraz postaci funkcji preferencji. Sklasyfikowano uogólnione typy kryteriów w problemach wielokryterialnego wspomaganie decyzji. Przedstawiono i opisano główne struktury danych oraz tok czynności zmierzających do wielokryterialnego wyboru technologii wykonania procesów roboczych.

Słowa kluczowe: multi-criteria decision analysis, work technology selection.

Oficjalną wersją publikacji jest wersja angielskojęzyczna – posiada DOI. Niniejszy plik jest polskojęzyczną wersją.

Zacytuj ten artykuł w następujący sposób:

Jakubowski G., Promethee methodology for multicriteria technology selection, Engineering Expert, p. 50-57, No. 1, 2021, DOI: 10.37105/enex.2021.1.06

1. Wprowadzenie

Postęp technologiczny oraz rosnąca złożoność realizowanych procesów roboczych, skutkują wzrostem liczby dostępnych technologii ich realizacji (Gomaa, Vaculik i inni 2021) (Gomaa, Jabi i inni 2022) (Hatem Nawar 2021) (Katebi, Homami i Najmeddin 2022) (Liu i inni 2021) (Qiao i inni 2021) (Sojobi i Liew 2022). Wybór optymalnej technologii w wielu przypadkach jest uzależniony od wielu, różnorodnych czynników przez co staje się utrudniony. Stosowane są technologie najbardziej rozpowszechnione (Mohan i inni 2022) (Tiza i inni 2021) (Ushakov, Yarmolinsky i Yarkin 2021) (Knoth, Fufa i Seilskjær 2022), co może eliminować z użycia nowoczesne lub mniej znane technologie (Bieliatynskyi i inni 2021) (Goutam Mukherjee i inni 2021) (Iturralde i inni 2022) (Makul 2020) (Sánchez-Garrido, Navarro i Yepes 2022) (Walker, Venkatarama Reddy i Mani 2020). Wykorzystując wspomaganie oceny i wyboru technologii odpowiednimi metodami obliczeniowymi, można efektywniej dobierać technologie i planować realizację przedsięwzięć.

2. Wielokryterialne metody optymalizacji

Klasyfikacji metod optymalizacji wielokryterialnej można dokonać pod względem szeregu kryteriów klasyfikacyjnych (Dytczak 2010); (Trzaskalik 2014); (Kobryń 2014). Przykładowy podział metod w zależności od celu procesu decyzyjnego pozwala wyróżnić m.in.: 1) metody agregujące preferencje do postaci kryterium syntetycznego, 2) metody wykorzystujące relacje przewyższania wariantów oraz 3) metody pozostałe. Metody pierwszej grupy polegają na podziale modelu rozpatrywanego zagadnienia

na mniej złożone części, a następnie ocenie uzyskanych wariantów względem pojedynczych kryteriów (atrybutów) oraz dokonaniu agregacji tak uzyskanych informacji. Metody tej grupy wywodzą się z wieloatrybutowych teorii: wartości MAVT oraz użyteczności MAUT. Druga grupa metod określa relacje wzajemnego przewyższania poszczególnych wariantów decyzji, na bazie kompletu cech cząstkowych, w tym progów rozróżnialności i dominacji. Trzecia grupa gromadzi metody o podejściach odmiennych niż agregacja preferencji oraz badanie relacji przewyższania, są to m.in. podgrupy metod porównywania parami PCC (Pairwise Criteria Comparison), metody interaktywne, metody odległościowe (TOPSIS, VIKOR), metody rozmyte, metody SMAA i inne.

Zasadniczą strukturą informacji w wielokryterialnej optymalizacji decyzji jest macierz decyzyjna Q , zawierająca dane niezbędne do oceny poszczególnych wariantów decyzji.

$$Q = \begin{bmatrix} Q_{1,1} & Q_{1,2} & \dots & Q_{1,n} \\ Q_{2,1} & Q_{2,2} & \dots & Q_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Q_{m,1} & Q_{m,2} & \dots & Q_{m,n} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Elementami macierzy $Q_{i,j}$, są oceny poszczególnych wariantów decyzyjnych i pod względem określonych kryteriów j . Wiersze macierzy reprezentują warianty decyzyjne, kolumny natomiast są reprezentowane przez kolejne kryteria.

Wybór rozwiązania optymalnego realizuje się w oparciu o syntetyczne oceny poszczególnych rozwiązań U_i , formułowane w drodze agregacji ocen cząstkowych $Q_{i,j}$. Wyróżnia się trzy koncepcje agregacji: 1) koncepcję z pojedynczym kryterium syntetycznym, eliminującą ewentualną nieporównywalność rozwiązań; 2) koncepcję syntetycznego przewyższania, akceptującą nieporównywalność; 3) koncepcję oceny syntetycznej o charakterze dialogowym, uzyskiwaną metodą prób i błędów.

Najpowszechniej stosowaną koncepcją jest koncepcja z pojedynczym kryterium syntetycznym, bazująca na agregacji ocen cząstkowych przy stwierdzaniu sytuacji silnej lub słabej preferencji oraz przypadku równoważności.

W formułowaniu syntetycznych ocen wykorzystywane są zróżnicowane wskaźniki syntetyczne. Formuły kalkulacyjne określające oceny poszczególnych analizowanych decyzji wyznaczone są z wykorzystaniem określonego wskaźnika syntetycznego stanowiącego tzw. funkcję użyteczności. Według (Szwabowski i Deszcz 2001) możliwe jest wykorzystanie wskaźników zestawionych w tabeli 1. Szerszy opis wskaźników do formułowania ocen syntetycznych w metodach agregacji preferencji zawierają m.in. prace (Szwabowski i Deszcz 2001); (Kobryń 2014).

Tabela 1. Zestawienie wskaźników do ustalania ocen syntetycznych wariantów decyzji (Szwabowski i Deszcz 2001)

Lp.	Kryterium klasyfikacji	Podział metod MCDA
1	wskaźnik multiplikatywny	$U_i = \prod_{j=1}^k f_j(x_i)$
2	wskaźnik multiplikatywny skorygowany	$U_i = \prod_{j=1}^k w_j \cdot f_j(x_i)$
3	wskaźnik sumacyjny	$U_i = \sum_{j=1}^k f_j(x_i)$
4	wskaźnik sumacyjny skorygowany	$U_i = \sum_{j=1}^k w_j \cdot f_j(x_i)$
5	Wskaźnik addytywny	$U_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k f_j(x_i)$
6	wskaźnik addytywny skorygowany	$U_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (w_j \cdot f_j(x_i))$
7	wskaźnik addytywny ważony	$U_i = \frac{\sum_{j=1}^k (w_j \cdot f_j(x_i))}{\sum_{j=1}^k w_j}$
Objaśnienia:		
$f_j(x_i) > 0$ – to ocena i -tego wariantu w aspekcie j -tego kryterium,		
w_j – waga j -tego kryterium		

3. Modelowanie preferencji

Warianty decyzji stanowiące potencjalne rozwiązania, mogą być określane bezpośrednio, z wykorzystaniem pełnego zakresu ocen cząstkowych lub w sposób pośredni, poprzez określenie cech i ograniczeń właściwych poszukiwanemu rozwiązaniu. Formułowanie ocen zagregowanych, na podstawie funkcji użyteczności pozwalającej określić jej wartości dla wszystkich analizowanych wariantów pozwala ustalić wielokryterialny ranking wariantów decyzji, uwzględniający występowanie sytuacji a) równoważności dwóch wariantów decyzji oraz b) przeważania jednego wariantu decyzyjnego nad drugim. Alternatywne podejście stanowi koncepcja (Roy 1990) uwzględniająca fakt zmienności i niedokładności ocen i preferencji decydenta poprzez uzupełnienie i określenie zestawu sytuacji preferencyjnych, tak by obejmował: a) równoważność dwóch wariantów; b) słabą preferencję jednego wariantu nad drugim; c) silną preferencję oraz d) nieporównywalność dwóch wariantów decyzji. Jeśli dwa warianty a oraz b są wzajemnie porównywalne to dopuszczalne są następujące sytuacje preferencyjne (Roy 1990); (Dytczak 2010):

- a oraz b są równoważne (co zapisujemy aIb lub $a\sim b$),
- a jest słabo preferowane nad b (co zapisujemy aSb),
- a jest silnie preferowane nad b (co zapisujemy aPb lub $a>b$).

Przypadek nieporównywalności wariantów a oraz b zapisujemy jako aNb .

Wyniki porównań par wariantów decyzyjnych można graficznie zestawić w tzw. mapy poznawcze w formie diagramu Hassego (Roy 1990), będącego grafem z wierzchołkami połączonymi łukami (krawędziami), reprezentującymi wzajemną relację tych wierzchołków. Jeśli łuki grafu łączą wierzchołki w_u oraz w_v i są skierowane od wierzchołka w_u do wierzchołka w_v to wierzchołek w_v jest preferowany („lepszy”) względem wierzchołka w_u . Sytuacje słabej preferencji, równoważności mogą być reprezentowane przez łuki prezentowane innymi stylami graficznymi, jak linia kreskowana czy kropkowana. Dodatkowo, krawędź nieskierowana grafu może reprezentować równoważność, natomiast brak krawędzi – jako nieporównywalność.

4. Metody Promethee

Rodzina metod Promethee wykorzystuje koncepcję relacji przewyższania wariantów. Podstawy metody przedstawił Brans w 1982 roku (J. Brans 1982), następnie rozwijając metodę wspólnie z Mareschalem oraz Vincke, m.in. w (Brans i Vincke, Note—A Preference Ranking Organisation Method 1985); (Brans, Vincke i Mareschal 1986). W pracy (J. Brans 1982), przedstawił metody Promethee I oraz Promethee II, które znalazły najszersze zastosowanie. Metody Promethee służą przede wszystkim do budowy rankingu wariantów decyzyjnych. Specyfiką metod jest tworzenie rankingów częściowych (Promethee I) oraz rankingu całościowego (Promethee II). Do grupy metod Promethee należą również metody: Promethee III, IV, V i VI. Dostępne jest również (PROMETHEE/GAIA 2019) oprogramowanie Visual Promethee, implementujące metody Promethee.

Punkt wyjściowy toku analiz w metodach Promethee stanowi macierz decyzyjna Q , z elementami macierzy $Q_{i,j}$ reprezentującymi oceny poszczególnych wariantów decyzyjnych W_j pod względem określonych kryteriów K_j . Wiersze macierzy reprezentują warianty decyzyjne, kolumny natomiast są reprezentowane przez kolejne kryteria. Każdemu z kryteriów przyporządkowujemy następnie współczynnik wagowy ω_j danego kryterium, odpowiadający jego istotności w zbiorze kryteriów zdefiniowanej przez decydenta. Współczynniki wagowe powinny spełniać warunek $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$. Oceny i -tego wariantu pod względem j -tego kryterium zapiszemy jako: $Q_{i,j} = f_j(W_i)$.

Obliczenia rozpoczynamy od porównywania poszczególnych wariantów parami z uwzględnieniem ich ocen. Dla każdej z par $(W_u, W_v) \in W$ określimy na tej podstawie różnicę ich ocen pod względem j -tego kryterium, co zapiszemy jako:

$$d_j(W_u, W_v) = f_j(W_u) - f_j(W_v) \quad (2)$$

W oparciu o ustaloną różnicę $d_j(W_u, W_v)$ możemy z pomocą tzw. uogólnionego kryterium wyrażonego funkcją preferencji $P_j(W_u, W_v)$ dla j -tego kryterium, zbadać preferencje decydenta. Im większa różnica $d_j(W_u, W_v)$ tym bardziej uzasadnione przesłanki stwierdzenia występowania preferencji jednego wariantu nad drugim. Funkcję preferencji zapisać można:

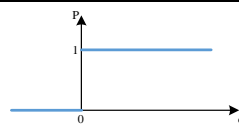
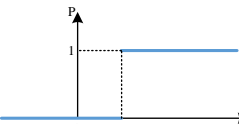
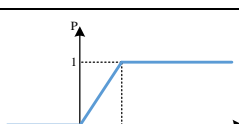
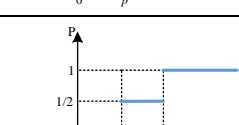
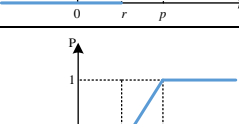
$$\text{dla stymulant:} \quad P_j(W_u, W_v) = F_j[d_j(W_u, W_v)] \quad (3)$$

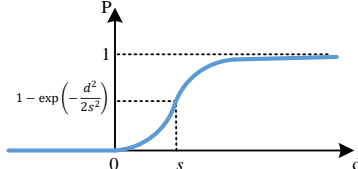
$$\text{dla destymulant:} \quad P_j(W_u, W_v) = F_j[-d_j(W_u, W_v)] \quad (4)$$

Kryterium uogólnione może posiadać różne postacie, więc z uwagi na sposób sformułowania zależności pomiędzy różnicą w ocenach wariantów a wartością funkcji preferencji przyjmuje się za (Brans i Mareschal 2005) (Kobryń 2014), (Solecka 2013), iż w praktycznych zastosowaniach występują następujące typy kryteriów uogólnionych:

- 1) kryterium zwykłe;
- 2) quasi-kryterium (kryterium kształtu U);
- 3) kryterium z preferencją liniową (kryterium kształtu V);
- 4) kryterium poziomowe;
- 5) kryterium z preferencją liniową i obszarem obojętności;
- 6) kryterium gaussowskie.

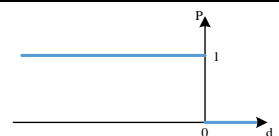
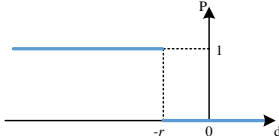
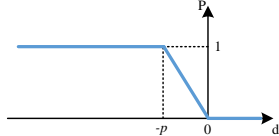
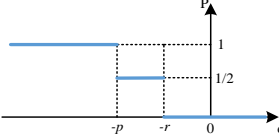
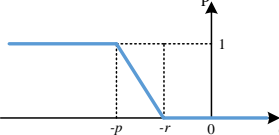
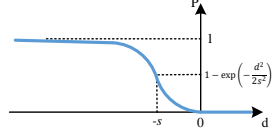
Tabela 2. Stymulanty - Postaci funkcji preferencji w zależności od typu kryterium uogólnionego (Kobryń 2014)

Typ kryterium	Ustalane parametry	Schemat funkcji preferencji	Postać funkcji preferencji
1	2	3	4
kryterium zwykłe	-		$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$
quasi-kryterium (kryterium kształtu U)	r		$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & d \leq r \\ 1 & d > r \end{cases}$
kryterium z preferencją liniową (kryterium kształtu V)	p		$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$
kryterium poziomowe	r, p		$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{1}{2} & r < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$
kryterium z preferencją liniową i obszarem obojętności	r, p		$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & d \leq r \\ \frac{d-r}{p-r} & r < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$

kryterium gaussowskie	s		$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{d^2}{2s^2}\right) & d > 0 \end{cases}$
-----------------------	-----	---	---

Typy kryteriów uogólnionych oraz związanej funkcji preferencji dla stymulant i destymulant ujęto i zamieszczono w tabeli 2 i tabeli 3 wg. (Kobryń 2014). Upraszczając zapis funkcji preferencji $P_j(W_u, W_v)$ oznaczono go w tabelach jako $P_j(d_j)$. Kryteria, z wyjątkiem kryteriów zwykłych, wymagają uwzględnienia dodatkowych wielkości, jak: próg równoważności (r), próg preferencji (p) oraz wartości (s) ustalonej eksperymentalnie zgodnie z rozkładem normalnym. Wartość s jest wartością mieszczącą się pomiędzy wartościami r oraz p .

Tabela 3. Destymulanty - Postaci funkcji preferencji w zależności od typu kryterium uogólnionego (Kobryń 2014)

Typ kryterium	Ustalane parametry	Schemat funkcji preferencji	Postać funkcji preferencji
1	2	3	4
kryterium zwykłe	–		$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & d \geq 0 \\ 1 & d < 0 \end{cases}$
quasi-kryterium (kryterium kształtu U)	r		$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & d \geq -r \\ 1 & d < -r \end{cases}$
kryterium z preferencją liniową (kryterium kształtu V)	p		$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & d \geq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 > d \geq -p \\ 1 & d < -p \end{cases}$
kryterium poziomowe	r, p		$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{1}{2} & r < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$
kryterium z preferencją liniową i obszarem obojętności	r, p		$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & d \geq -r \\ \frac{d+r}{-p+r} & -r > d \geq -p \\ 1 & d < -p \end{cases}$
kryterium gaussowskie	s		$P_j(d_j) = \begin{cases} 0 & d \geq 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{d^2}{2s^2}\right) & d < 0 \end{cases}$

Następnym etapem analiz w metodach Promethee, po ustaleniu typów funkcji preferencji dla każdego z kryteriów uogólnionych oraz obliczeniu wartości tych funkcji, jest określenie zagregowanych indeksów preferencji $\Pi(W_u, W_v)$ dla każdej z par wariantów decyzji. Indeksy obliczane są zgodnie z następującymi wzorami:

$$\Pi(W_u, W_v) = \sum_{j=1}^n w_j P_j(W_u, W_v) \quad (5)$$

$$\Pi(W_v, W_u) = \sum_{j=1}^n w_j P_j(W_v, W_u) \quad (6)$$

gdzie w_j oznacza wagę j -tego kryterium.

Zagregowane indeksy preferencji $\Pi(W_u, W_v)$ określają, w jakim stopniu pod względem wszystkich kryteriów porównywany wariant W_u jest preferowany (lepszy) w stosunku do wariantu W_v .

Kolejnym etapem analizy są obliczenia dla każdego wariantu W_i tzw. przepływów preferencji oznaczanych najczęściej jako $\Phi(W_u)$. Przy czym, wyróżnia się przepływ dodatni preferencji $\Phi^+(W_u)$ oraz przepływ ujemny preferencji $\Phi^-(W_u)$. Przepływy dodatnie i ujemne obliczane są zgodnie z wzorami:

$$\Phi^+(W_u) = \frac{1}{m-1} \sum_{W_v \in W} \Pi(W_v, W_u), \quad (7)$$

$$\Phi^-(W_u) = \frac{1}{m-1} \sum_{W_v \in W} \Pi(W_u, W_v), \quad (8)$$

gdzie m jest liczbą analizowanych wariantów decyzji.

Dodatni przepływ preferencji reprezentuje stopień, w jakim wariant W_u przewyższa pozostałe warianty i wyraża siłę danego wariantu. Natomiast ujemny przepływ preferencji określa stopień, w jakim wariant W_u jest przewyższany przez inne warianty i wyraża jego słabość.

Wykorzystując przepływy $\Phi^+(W_u)$ oraz $\Phi^-(W_u)$ obliczamy dla każdego wariantu przepływ preferencji netto, według wzoru:

$$\Phi(W_u) = \Phi^+(W_u) - \Phi^-(W_u). \quad (9)$$

Przepływy preferencji netto wg (Brans i Mareschal 2005) posiadają następujące właściwości:

$$\begin{cases} -1 \leq \Phi(W_u) \leq 1 \\ \sum_{i=1}^m \Phi(W_u) = 0 \end{cases} \quad (10)$$

Przepływy preferencji wykorzystuje się do sporządzania rankingów częściowych w metodzie Promethee I na podstawie $\Phi^+(W_u)$ i $\Phi^-(W_u)$ oraz do sporządzania rankingu całościowego w metodzie Promethee II na podstawie $\Phi(W_u)$.

Metody Promethee bazują na występowaniu relacji przewyższania pomiędzy wariantami decyzji w porównywanych parach wariantów (W_u, W_v) . Występują następujące relacje przewyższania:

- $W_u P W_v$ – *preferencja* – wariant W_u przewyższa wariant W_v ,
- $W_u I W_v$ – *równoważność* – wariant W_u jest równoważny wariantowi W_v ,
- $W_u N W_v$ – *nieporównywalność* – nie można ustalić relacji wariantów W_u i W_v .

Dodatnie i ujemne przepływy preferencji wyznaczają w niektórych przypadkach odmienne uszeregowania wariantów decyzyjnych w rankingach częściowych, stąd ranking końcowy jest ich przecięciem. Relacje końcowe w metodzie Promethee I wyznacza się za (Brans i Mareschal 2005) wykorzystując następujące zależności:

$$W_u P W_v \quad \text{jeśli} \quad \begin{cases} \Phi^+(W_u) > \Phi^+(W_v) & \text{oraz} & \Phi^-(W_u) < \Phi^-(W_v) \\ \text{lub} \\ \Phi^+(W_u) = \Phi^+(W_v) & \text{oraz} & \Phi^-(W_u) < \Phi^-(W_v), \\ \text{lub} \\ \Phi^+(W_u) > \Phi^+(W_v) & \text{oraz} & \Phi^-(W_u) = \Phi^-(W_v) \end{cases} \quad (11)$$

$$W_u I W_v \quad \text{jeśli} \quad \Phi^+(W_u) = \Phi^+(W_v) \quad \text{oraz} \quad \Phi^-(W_u) = \Phi^-(W_v), \quad (12)$$

$$W_u N W_v \quad \text{jeśli} \quad \begin{cases} \Phi^+(W_u) > \Phi^+(W_v) & \text{oraz} & \Phi^-(W_u) > \Phi^-(W_v) \\ \text{lub} \\ \Phi^+(W_u) < \Phi^+(W_v) & \text{oraz} & \Phi^-(W_u) < \Phi^-(W_v) \end{cases}, \quad (13)$$

W metodzie Promethee II tworzony jest ranking całkowity na podstawie przepływów preferencji netto, który wyraża równowagę pomiędzy przepływami częściowymi. Stąd im większy jest przepływ netto preferencji tym lepszy jest wariant decyzji. Występują dwie relacje preferencji w tym przypadku, mianowicie preferencja W_uPW_v i równoważność W_uIW_v . Wzajemne relacje niezbędne do budowy rankingu całościowego ustalamy na podstawie:

$$W_uPW_v \quad \text{jeśli} \quad \Phi(W_u) > \Phi(W_v), \quad (14)$$

$$W_uIW_v \quad \text{jeśli} \quad \Phi(W_u) = \Phi(W_v). \quad (15)$$

Budowa rankingu całościowego w metodzie Promethee II nie następuje w sytuacji, w których występuje relacja nieporównywalności. Dalszy tok postępowania determinują zależności (14) i (15), według zależności (14) stwierdzamy w parach wariantów relację przewyższania wariantu W_u nad wariantem W_v , natomiast zgodnie z zależnością (15) stwierdzamy relację równoważności wariantów.

Na podstawie wartości $\phi(W)$ czyli przepływów preferencji netto tworzymy ranking zgodnie z zasadą „Im większa wartość $\phi(W)$ tym wyższa pozycja wariantu w ich rankingu”. Wariant z największą wartością $\phi(W)$ stanowi optymalną decyzję. Uzyskiwane uszeregowanie uznaje się za rozstrzygające w kwestii pozycji analizowanego wariantu decyzji w rankingu całościowym. Przykłady praktycznego zastosowania zawierają m.in.: publikacje: (Kobryń 2014), (Solecka 2013), (Trzaskalik 2014)

6. Wnioski

Modele wieloatrubutowe wariantów oraz opisane metody Promethee, wspomagające wybór technologii wykonania procesów roboczych, umożliwiają efektywne prowadzenia analiz ocenowych i budowę rankingów np. wariantów realizacyjnych procesów roboczych. Jednoczesne uwzględnienie wielu kryteriów podczas dokonywania wyboru optymalnego wariantu, stanowi podejście względnie kompleksowe do problemu wyboru optymalnego, w porównaniu do np. rozwiązań jednokryterialnych, uwzględniających pojedynczy aspekt oceny. Jest jednocześnie podejściem w większym stopniu „naśladującym” naturalny, intuicyjny tok dokonywania wyborów przez decydenta, bazujący na oczekiwaniu najwyższych możliwych korzyści i porównywaniu wariantów między sobą. Procedura obliczeniowa metod Promethee I i Promethee II jest względnie łatwa do przeprowadzenia, np. w arkuszu kalkulacyjnym lub ogólniedostępnym w sieci WWW oprogramowaniu typu Visual Promethee, pod warunkiem posiadania wiarygodnych danych do zbudowania wyjściowej tablicy decyzyjnej Q .

Literatura

- A. Kobryń. *Wielokryterialne wspomaganie decyzji w gospodarowaniu przestrzenią*. Warszawa: Difin, 2014.
- A. O. Sojobi i K. M. Liew. „Multi-objective optimization of high performance bio-inspired prefabricated composites for sustainable and resilient construction.” *Composite Structures* 279 (2022): 114732.
- Adil Hatem Nawar. „Nano-technologies and Nano-materials for civil engineering construction works applications.” *Materials Today: Proceedings*, 2021.
- Ali Katebi, Peyman Homami i Mohammad Najmeddin. „Acceptance model of precast concrete components in building construction based on Technology Acceptance Model (TAM) and Technology, Organization, and Environment (TOE) framework.” *Journal of Building Engineering* 45 (2022): 103518.
- Andrii Bieliatynskiy, Kateryna Krayushkina, Vera Breskich i Mikhail Lunyakov. „Basalt Fiber Geomats - Modern Material for Reinforcing the Motor Road Embankment Slopes.” *Transportation Research Procedia* 54 (2021): 744–757.
- Anirban Goutam Mukherjee i inni. „A review on modern and smart technologies for efficient waste disposal and management.” *Journal of Environmental Management* 297 (2021): 113347.
- Antonio J. Sánchez-Garrido, Ignacio J. Navarro i Víctor Yepes. „Multi-criteria decision-making applied to the sustainability of building structures based on Modern Methods of Construction.” *Journal of Cleaner Production* 330 (2022): 129724.
- B. Roy. *Wielokryterialne wspomaganie decyzji*. Warszawa: WNT, 1990.

- Eugenia Gasparri, Arianna Brambilla, Gabriele Lobaccaro, Francesco Goia, Annalisa Andaloro i Alberto Sangiorgio. „*Title page.*” *W Rethinking Building Skins*, i–iii. Woodhead Publishing, 2022.
- J. P. Brans i Ph. Vincke. „*Note—A Preference Ranking Organisation Method.*” *Management Science* 31 (1985): 647–656.
- J. P. Brans, Ph. Vincke i B Mareschal. „*How to select and how to rank projects: The Promethee method.*” *European Journal of Operational Research* 24 (1986): 228–238.
- J. Szwabowski i J. Deszcz. *Metody wielokryterialnej analizy porównawczej*. Wyd. Politechniki Śląskiej: Gliwice, 2001.
- J.P.: Brans. *L'ingenierie de la decision; Elaboration d'instruments d'aide a la decision. La methode PROMETHEE*. Quebec: Presses de l'Universite Laval, 1982.
- Jean-Pierre Brans i Bertrand Mareschal. „*Promethee Methods.*” *W Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, 163–186. New, York: Springer New York, 2005.
- Jiawen Liu i inni. „*In-situ resources for infrastructure construction on Mars: A review.*” *International Journal of Transportation Science and Technology*, 2021.
- Katarzyna Solecka. *Wielokryterialna ocena wariantów zintegrowanego systemu miejskiego transportu publicznego* (praca doktorska). Kraków: Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, 2013.
- Katrin Knoth, Selamawit Mamo Fufa i Erlend Seilskjær. „*Barriers, success factors, and perspectives for the reuse of construction products in Norway.*” *Journal of Cleaner Production* 337 (2022): 130494.
- Kepa Iturralde i inni. „*I9 - Automation and robotic technologies in the construction context: research experiences in prefabricated façade modules.*” *W Rethinking Building Skins*, 475–493. Woodhead Publishing, 2022.
- M. Dytczak. *Wybrane metody rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych w budownictwie*. Opole: Ofic. Wyd. Politechniki Opolskiej, 2010.
- Mohamed Gomaa, Jaroslav Vaculik, Veronica Soebarto, Michael Griffith i Wassim Jabi. „*Feasibility of 3DP cob walls under compression loads in low-rise construction.*” *Construction and Building Materials* 301 (2021): 124079.
- Mohamed Gomaa, Wassim Jabi, Veronica Soebarto i Yi Min Xie. „*Digital manufacturing for earth construction: A critical review.*” *Journal of Cleaner Production* 338 (2022): 130630.
- Natt Makul. „*Modern sustainable cement and concrete composites: Review of current status, challenges and guidelines.*” *Sustainable Materials and Technologies* 25 (2020): e00155.
- Nikhil Mohan, Shanta Pragyana Dash, Neha Mary Boby i Deepika Shetty. „*Study of bamboo as a building material - Construction & preservation techniques and its sustainability.*” *Materials Today: Proceedings*, 2022.
- Pete Walker, B. V. Venkatarama Reddy i Monto Mani. „*Preface for SI: Modern earth building materials and technologies.*” *Construction and Building Materials* 262 (2020): 120663.
- PROMETHEE/GAIA. 2019. www.promethee-gaia.net.
- Tadeusz Trzaskalik. „*Wielokryterialne wspomaganie decyzji. Przegląd metod i zastosowań.*” *Zeszyty Naukowe politechniki Śląskiej*, Seria: Organizacja i zarządzanie, nr z. 74 (2014).
- Toryila Michael Tiza, Sitesh Kumar Singh, Leevesh Kumar, Mahesh P. Shettar i Surendra Pal Singh. „*Assessing the potentials of Bamboo and sheep wool fiber as sustainable construction materials: A review.*” *Materials Today: Proceedings* 47 (2021): 4484–4489.
- Viktor Ushakov, Vladimir Yarmolinsky i Sergey Yarkin. „*Specifics of asphalt concrete pavement construction technologies in the Russian Arctic zone.*” *Transportation Research Procedia* 57 (2021): 721–727.
- Wentao Qiao, Zexiong Wang, Dong Wang i Long Zhang. „*A new mortise and tenon timber structure and its automatic construction system.*” *Journal of Building Engineering* 44 (2021): 103369.