

Systemy Logistyczne Wojsk nr 42/2015

**WYKORZYSTANIE METODY PROMETHEE II
W PROCESIE OCENY I WYBORU SPRZĘTU WOJSKOWEGO NA
POTRZEBY SYSTEMU BEZPIECZEŃSTWA MILITARNEGO PAŃSTWA**

**POSSIBILITY OF USING PROMETHEE II METHOD TO THE
ASSESSMENT AND CHOICE OF MILITARY EQUIPMENT**

Szymon MITKOW

Wojskowa Akademia Techniczna

Wydział Logistyki

Instytut Logistyki

Ewa DĘBICKA

Instytut Transportu Samochodowego

Streszczenie: W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania metody analizy wielokryterialnej PROMETHEE II w procesie oceny i wyboru sprzętu wojskowego. Prezentowana metoda została poparta praktycznym przykładem. Przedstawiona metoda może być wykorzystana jako narzędzie wspomaganie decyzji w procesie pozyskiwania sprzętu wojskowego. Pamiętać należy, że metody te wykorzystują wiedzę i doświadczenie ekspertów i oceniają każdy możliwy wariant pod kątem spełnienia wielu kryteriów, natomiast zawsze ostateczną decyzję podejmuje człowiek.

Abstract: The article are presented the possibility of using PROMETHEE II method to the assessment and choice of military equipment. This method is supported by a practical example. This method can be used as a decision support tool in the acquisition process of military equipment. These methods make use of the knowledge and experience of experts and assess every possible variant for meet multicriteria, while always the final decisions a man.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, bezpieczeństwo militarne, sprzęt wojskowy, ocena sprzętu wojskowego, metoda PROMETHEE II.

Keywords: security, military security, military equipment, assessment of military equipment, PROMETHEE II method.

Wprowadzenie

Jednym z podstawowych rodzajów bezpieczeństwa państwa jest **bezpieczeństwo militarne**. Bezpieczeństwo militarne państwa oparte jest na trzech podstawowych filarach (Huzarski i inni, 2008, s. 10-13):

- potencjał militarny – siły zbrojne;
- sojusze wojskowe i umowy polityczno-militarne;
- koncepcje strategiczne, operacyjne i taktyczne wykorzystania potencjału militarnego.

Funkcjonowanie sił zbrojnych oparte jest na trzech podstawowych elementach: organizacji (strukturze organizacyjnej), broni (sprzęcie wojskowym) i człowieku. Żeby siły zbrojne mogły realizować swoje podstawowe zadania, muszą dysponować odpowiednim jakościowo sprzętem wojskowym, tzn. dostosowanym do ich potrzeb i stawianych im wymagań. Wyposażenie sił zbrojnych w nowoczesny sprzęt wojskowy zapewnia dużą niezależność międzynarodową, obronną danego państwa oraz jego bezpieczeństwo militarne (Mitkow, Dębicka, 2015).

1. Identyfikacja i charakterystyka metod analizy wielokryterialnej

Proces pozyskiwania sprzętu wojskowego składa się z wielu działań, których celem jest wybranie najlepszego sposobu osiągnięcia przez siły zbrojne określonych zdolności operacyjnych. Ze zdolności tych wynikają konkretne potrzeby operacyjne. Realizacja każdej potrzeby może być dokonana w sposób materialny lub niematerialny. Jednym z materialnych sposobów zrealizowania potrzeby operacyjnej może być zakup sprzętu wojskowego.

Dokonując wyboru sprzętu wojskowego, należy uwzględnić:

- funkcje, jakie ma realizować,
- struktury, w jakich ma funkcjonować,
- własności, jakimi ma się charakteryzować,
- ilości, w jakich ma występować.

Proces wyboru sprzętu wojskowego możemy podzielić na cztery podstawowe etapy (Mitkow i Miszalski, 2011, s. 29):

1. Analiza i definiowanie zagrożeń;
2. Analiza i definiowanie zdolności operacyjnych, jakie mają osiągnąć siły zbrojne;
3. Sposób osiągnięcia zdolności operacyjnych przez siły zbrojne;
4. **Ocena i wybór sprzętu wojskowego.**

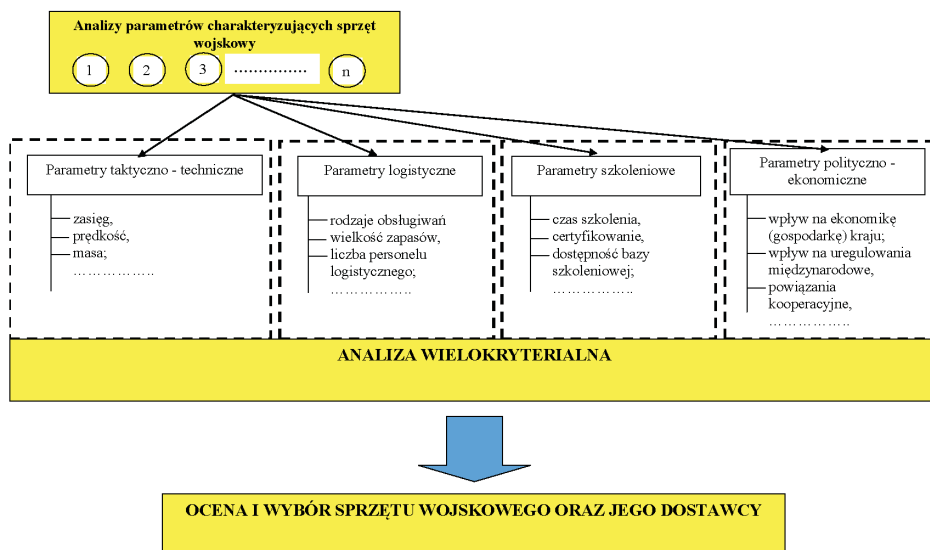
Etap 4 jest najbardziej rozbudowanym fragmentem związanym z wyborem sprzętu wojskowego. W wyniku realizacji tego etapu dokonujemy ostatecznego wyboru sprzętu, który ma ułatwić osiągnięcie określonej zdolności operacyjnej, a tym samym dać siłom zbrojnym i systemowi bezpieczeństwa militarnego możliwość reagowania na określone zagrożenie.

Ważnym elementem tego etapu jest analiza parametrów charakteryzujących sprzęt wojskowy (rys. 1). Analizie powinny być poddane takie grupy parametrów, jak (Mitkow i Miszański, 2011, s. 31):

- parametry taktyczno-techniczne (np. zasięg, masa, prędkość itp.);
- parametry logistyczne (np. poziomy obsługiwań, czasy międzyobsługowe, wielkość zapasów związana ze zużyciem podzespołów sprzętu wojskowego, liczba personelu logistycznego itp.);
- parametry ekonomiczno-polityczne (np. wpływ na gospodarkę kraju, wpływ na uwarunkowania międzynarodowe, możliwe powiązania kooperacyjne, wielkość offsetu itp.);
- parametry szkoleniowe (np. czas szkolenia, dostępność bazy szkoleniowej, certyfikowanie itp.).

Do analizy i oceny wyboru sprzętu wojskowego możemy zastosować podejście wielokryterialne. Podejmując decyzję, chcemy zrealizować pewne cele opisane za pomocą wartości odpowiadających im funkcji kryterialnych, nazywanych w skrócie kryteriami. Dokonując zakupu sprzętu wojskowego, wielu decydentów kieruje się kryterium ceny. Mając do wyboru kilka podobnych typów sprzętu wojskowego, wybierają ten, którego cena jest najniższa. Kryterium ceny jest najważniejszym kryterium. Podjęcie nawet najprostszych decyzji ma charakter wielokryterialny, przy czym te, które są rozpatrywane, mają charakter konfliktowy, ponieważ najczęściej uzyskując najniższą cenę (czyli lepszą), tracimy na jakości kupowanego wyrobu obronnego. Rozwiązywaniem tego typu problemów zajmuje się Wielokryterialna Optymalizacja Dyskretna (WOD).

Podjęcie decyzji związane jest zazwyczaj z akceptacją kompromisu dotyczącego stopnia realizacji sformułowanych celów. Zazwyczaj nie ma możliwości podjęcia decyzji tak, by osiągnięte zostały jednocześnie najlepsze wartości przez wszystkie rozpatrywane kryteria. Przyjmuje się, że wobec praktycznej niemożności znalezienia rozwiązania optymalnego jednocześnie na wszystkie kryteria (czyli rozwiązania dominującego), jako rozwiązanie zadania wielokryterialnego przyjmuje się takie rozwiązanie, które jest rozwiązaniem niezdominowanym. Rozwiązanie niezdominowane to takie, dla którego nie istnieje żaden wariant decyzyjny, w którym można byłoby poprawić wartość danego kryterium bez konieczności obniżenia wartości innego kryterium. Zbiór rozwiązań niezdominowanych tworzy granicę efektywności.



Rys. 1. Analiza parametrów sprzętu wojskowego

Źródło: (Mitkow, 2013, s. 385)

Metody wielokryterialnej analizy porównawczej przeznaczone są do porównywania (oceny) obiektów charakteryzowanych wieloma cechami (parametrami, zmiennymi decyzyjnymi) o identycznym lub zbliżonym przeznaczeniu funkcjonalnym. Głównym przedmiotem wielokryterialnej analizy porównawczej jest hierarchizacja obiektów i ich zbiorów ujmowanych w wielowymiarowej przestrzeni cech z punktu widzenia pewnej charakterystyki, której nie można zmierzyć w sposób bezpośredni (Górny, 2004, s. 51).

Podstawą porównywania jest zawsze pewien system wartości-kryterium, będący funkcją istotnych cech porównywanego obiektu. Wyróżniamy następujące etapy postępowania w wielokryterialnej analizie porównawczej (Górny, 2004, s. 51):

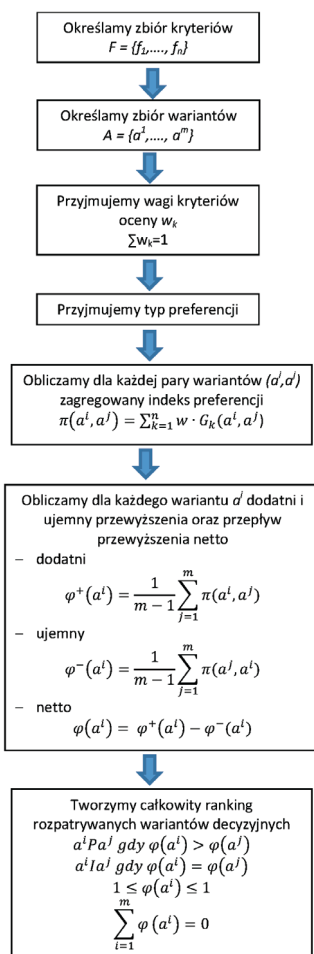
- identyfikacja porównywanych obiektów i ich parametrów (cech jakościowych);
- normalizacja parametrów;
- agregacja parametrów porównywanych obiektów w kompleksowy wskaźnik jakości przy wykorzystaniu dodatkowych informacji o preferencjach decydenta.

Poniżej została przedstawiona metodyka zastosowania metod wielokryterialnej analizy porównawczej PROMETHEE II wspomagającej proces oceny i wyboru sprzętu wojskowego z praktycznym przykładem.

2. Metoda PROMETHEE II

Metoda analizy wielokryterialnej PROMETHEE II została opracowana przez J.P. Bransa. Rozpatrujemy skończony zbiór wariantów decyzyjnych $A = \{a^1, \dots, a^m\}$ oraz

zbiór kryteriów $F = \{f_1, \dots, f_n\}$, względem których oceniane są warianty. Wagi kryteriów są dane, przy czym ich suma równa jest jeden. Model preferencji w metodzie PROMETHEE II powstaje dzięki porównaniu wariantów decyzyjnych parami ze sobą, przy czym pod uwagę brane są różnice $d_k(a^i, a^j)$ między ocenami $f_k(a^i)$ i $f_k(a^j)$ tych wariantów dla wszystkich rozpatrywanych kryteriów. Im większa jest różnica pomiędzy ocenami, tym silniej – ze względu na dane kryterium – preferowany jest jeden z wariantów. Każdemu z kryteriów przyporządkowana jest funkcja preferencji $G_k(a^i, a^j)$ stanowiąca przekształcenie F_k różnicy $d_k(a^i, a^j)$ między ocenami wariantów decyzyjnych i przyjmująca dla każdej pary rozpatrywanych wariantów decyzyjnych (a^i, a^j) wartości z przedziału $[0,1]$ (Trzaskalik, 2014, s. 110-111). Algorytm metody PRPMETHEE przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Algorytm oceny sprzętu wojskowego z wykorzystaniem metody PROMETHEE II
Źródło: opracowano na podstawie (Trzaskalik, 2014, s. 110-117)

3. Praktyczne wykorzystanie metody PROMETHEE II do oceny i wyboru sprzętu wojskowego

Analiza środowiska bezpieczeństwa Polski wskazała, że pojawiło się zagrożenie jej terytorium z kierunku północno-wschodniego po rozmieszczeniu rakiet 9K720 Iskander-M o następujących parametrach: zasięg 50-400 km, pułap 50 km, MACH 6.18, manewrujący, z głowicą odłamkowo-burzącą. Na tej podstawie zdefiniowano następującą zdolność: *Siły Zbrojne RP mają być zdolne do obrony przeciwrakietowej średniego zasięgu*. Żeby możliwe było osiągnięcie tak zdefiniowanej zdolności, trzeba posiadać zestawy raketowe, które będą w stanie zwiększyć potencjał sił zbrojnych w obszarze obrony przeciwrakietowej. W wyniku analizy rynku zdecydowano, że ocenie zostaną poddane cztery zestawy (rys. 3) z dostępnych na rynku, których parametry przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Zestawienie zestawów raketowych przyjętych do oceny

Cecha [i]	K ₁ Zasięg operacyjny [km]	K ₂ Pułap [m]	K ₃ Prędkość [Mach]	K ₄ Przeciążenie [G]	K ₅ Waga [kg]	K ₆ Azymut odpalania [°]	K ₇ Liczba efektorów/wyrzutnia [szt.]
Rodzaj zestawu							
W1. Patriot PAC-2	160	24000	5	30	900	90	4
W2. Patriot PAC-3	160	20000	5+	30	320	90	16
W3. STUNNER	250	25000	6	60	350	360	12
W4. Aster-30	120	20000	4,5	60	510	360	8

Źródło: <http://ichigosensei7.deviantart.com/art/Patriot-Missile-PAC-3-3d-model-377446487>, http://www.deagel.com/Anti-Ballistic-Missiles/Patriot-PAC-2_a001152002.aspx, <http://defense-update.com/newscast/channels/missilesnews.html>, <http://defencetalk.net/threads/turkey-could-be-interested-to-purchase-french-eurosam-samp-missile-as-new-air-defense-system.1951/> (dostęp: 20.12.2014)

W analizowanym przykładzie dysponujemy możliwymi czterema wariantami zestawów raketowych oznaczonych symbolami W1-W4 opisanymi w tabeli 1. Analiza została przeprowadzona na podstawie siedmiu kryteriów K1-K7 opisanych również w tabeli 1.

Korzystając z algorytmu przedstawionego na rysunku 2, dokonujemy oceny porównywanych wariantów – zestawów raketowych.



Rys. 3. Oceniane zestawy rakietowe

Źródło: <http://ichigosensei7.deviantart.com/art/Patriot-Missile-PAC-3-3d-model-377446487>, http://www.deagel.com/Anti-Ballistic-Missiles/Patriot-PAC-2_a001152002.aspx, <http://defense-update.com/newscast/channels/missilesnews.html>, <http://defencetalk.net/threads/turkey-could-be-interested-to-purchase-french-eurosam-samp-missile-as-new-air-defense-system.1951/> (dostęp: 20.12.2014)

1. Obliczamy zagregowane indeksy preferencji

Dla $k = 1$ i kolejnych par wariantów decyzyjnych obliczamy wartości $d_k(a^i, a^j)$:

$$d_1(a^1, a^1) = f_1(a^1) - f_1(a^1) = 160 - 160 = 0$$

$$d_1(a^1, a^2) = f_1(a^1) - f_1(a^2) = 160 - 160 = 0$$

$$d_1(a^1, a^3) = f_1(a^1) - f_1(a^3) = 160 - 250 = -90$$

$$d_1(a^1, a^4) = f_1(a^1) - f_1(a^4) = 160 - 120 = 40$$

.....

$$d_1(a^4, a^4) = f_1(a^4) - f_1(a^4) = 120 - 120 = 0$$

Obliczone powyżej elementy można przedstawić w postaci macierzy – tabela 2.

Tabela 2. Różnice w ocenie wariantów decyzyjnych dla kryterium K_1

K1	W1	W2	W3	W4
W1	0	0	-90	40
W2	0	0	-90	40
W3	90	90	0	130
W4	-40	-40	-130	0

Źródło: opracowanie własne

W analogiczny sposób obliczamy wartości różnic $d_2(a^i, a^j)$, $d_3(a^i, a^j)$, $d_4(a^i, a^j)$, $d_5(a^i, a^j)$, $d_6(a^i, a^j)$, $d_7(a^i, a^j)$, które zestawiono odpowiednio w tabelach 3-8.

Tabela 3. Różnice w ocenie wariantów decyzyjnych dla kryterium K_2

K2	W1	W2	W3	W4
W1	0	4000	-1000	4000
W2	-4000	0	-5000	0
W3	1000	5000	0	5000
W4	-4000	0	-5000	0

Źródło: opracowanie własne

Tabela 4. Różnice w ocenie wariantów decyzyjnych dla kryterium K_3

K3	W1	W2	W3	W4
W1	0	-0,5	-1	0,5
W2	0,5	0	-0,5	1
W3	1	0,5	0	1,5
W4	-0,5	-1	-1,5	0

Źródło: opracowanie własne

Tabela 5. Różnice w ocenie wariantów decyzyjnych dla kryterium K_4

K4	W1	W2	W3	W4
W1	0	0	-30	-30
W2	0	0	-30	-30
W3	30	30	0	0
W4	30	30	0	0

Źródło: opracowanie własne

Tabela 6. Różnice w ocenie wariantów decyzyjnych dla kryterium K_5

K5	W1	W2	W3	W4
W1	0	580	550	390
W2	-580	0	-30	-190
W3	-550	30	0	-160
W4	-390	190	160	0

Źródło: opracowanie własne

Tabela 7. Różnice w ocenie wariantów decyzyjnych dla kryterium K_6

K6	W1	W2	W3	W4
W1	0	0	-270	-270
W2	0	0	-270	-450
W3	270	270	0	0
W4	270	270	0	0

Źródło: opracowanie własne

Tabela 8. Różnice w ocenie wariantów decyzyjnych dla kryterium K_7

K7	W1	W2	W3	W4
W1	0	-12	-8	-4
W2	12	0	4	8
W3	8	-4	0	4
W4	4	-8	-4	0

Źródło: opracowanie własne

Obliczamy wartości funkcji preferencji, korzystając ze wzoru (Trzaskalik, 2014, s. 111):

$$G_k(d_k) = \begin{cases} 0, & \text{gdy } d_k \leq 0 \\ 1, & \text{gdy } d_k > 0 \end{cases} \quad (1)$$

Dla kryterium K_1 otrzymujemy:

$G(d_1(a^1, a^1)) = 0$, ponieważ $d_1(a^1, a^1) = 0 \leq 0$

$G(d_1(a^1, a^2)) = 0$, ponieważ $d_1(a^1, a^2) = 0 \leq 0$

$G(d_1(a^1, a^3)) = 0$, ponieważ $d_1(a^1, a^2) = -90 \leq 0$

$G(d_1(a^1, a^4)) = 1$, ponieważ $d_1(a^1, a^2) = 40 \leq 0$

.....

$G(d_1(a^4, a^4)) = 0$, ponieważ $d_1(a^4, a^4) = 0 \leq 0$

Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 9.

Tabela 9. Wartości funkcji preferencji dla kryterium K_1

G(d ₁)	W1	W2	W3	W4
W1	0	0	0	1
W2	0	0	0	1
W3	1	1	0	1
W3	0	0	0	0

Źródło: opracowanie własne

W analogiczny sposób obliczamy wartości funkcji preferencji dla kryteriów K_2 , K_3 , K_4 , K_5 , K_6 , K_7 , które zestawiono odpowiednio w tabelach 10-15.

Tabela 10. Wartości funkcji preferencji dla kryterium K_2

G(d ₂)	W1	W2	W3	W4
W1	0	1	0	1
W2	0	0	0	0
W3	1	1	0	1
W3	0	0	0	0

Źródło: opracowanie własne

Tabela 11. Wartości funkcji preferencji dla kryterium K_3

$G(d_3)$	W1	W2	W3	W4
W1	0	0	0	1
W2	1	0	0	1
W3	1	1	0	1
W3	0	0	0	0

Źródło: opracowanie własne

Tabela 12. Wartości funkcji preferencji dla kryterium K_4

$G(d_4)$	W1	W2	W3	W4
W1	0	0	0	0
W2	0	0	0	0
W3	1	1	0	0
W3	1	1	0	0

Źródło: opracowanie własne

Tabela 13. Wartości funkcji preferencji dla kryterium K_5

$G(d_5)$	W1	W2	W3	W4
W1	0	1	1	1
W2	0	0	0	0
W3	0	1	0	0
W3	0	1	1	0

Źródło: opracowanie własne

Tabela 14. Wartości funkcji preferencji dla kryterium K_6

$G(d_6)$	W1	W2	W3	W4
W1	0	0	0	0
W2	0	0	0	0
W3	1	1	0	0
W3	1	1	0	0

Źródło: opracowanie własne

Tabela 15. Wartości funkcji preferencji dla kryterium K_7

$G(d_7)$	W1	W2	W3	W4
W1	0	0	0	0
W2	1	0	1	1
W3	1	0	0	1
W3	1	0	0	0

Źródło: opracowanie własne

Następnie obliczamy zagregowane indeksy preferencji:

$$\pi(a^1, a^1) = 0 \cdot 0,5 + 0 \cdot 0,2 + 0 \cdot 0,3 = 0$$

$$\pi(a^1, a^2) = 0 \cdot 0,5 + 0 \cdot 0,2 + 0 \cdot 0,3 = 0$$

$$\pi(a^1, a^3) = 0 \cdot 0,5 + 0 \cdot 0,2 + 0 \cdot 0,3 = 0$$

$$\pi(a^1, a^4) = 1 \cdot 0,5 + 0 \cdot 0,2 + 0 \cdot 0,3 = 0,5$$

.....

Wyniki obliczeń przedstawia tabela 16.

Tabela 16. Zagregowane indeksy preferencji

$\pi(a^i, a^j)$	W1	W2	W3	W4
W1	0	0,3	0,2	0,6
W2	0,3	0	0,2	0,5
W3	0,8	0,8	0	0,6
W4	0,4	0,4	0,2	0

Źródło: opracowanie własne

2. Obliczamy przepływy przewyższania

Dodatnie przepływy przewyższania wynoszą odpowiednio:

$$\varphi^+(a^1) = \frac{(0 + 0,3 + 0,2 + 0,6)}{3} = 0,37$$

$$\varphi^+(a^2) = \frac{(0,3 + 0 + 0,2 + 0,5)}{3} = 0,33$$

$$\varphi^+(a^3) = \frac{(0,8 + 0,8 + 0 + 0,6)}{3} = 0,73$$

$$\varphi^+(a^4) = \frac{(0,4 + 0,4 + 0,2 + 0)}{3} = 0,33$$

Ujemne przepływy przewyższania wynoszą odpowiednio:

$$\varphi^-(a^1) = \frac{(0 + 0,3 + 0,8 + 0,4)}{3} = 0,5$$

$$\varphi^-(a^2) = \frac{(0,3 + 0 + 0,8 + 0,4)}{3} = 0,5$$

$$\varphi^-(a^3) = \frac{(0,2 + 0,2 + 0 + 0,2)}{3} = 0,2$$

$$\varphi^-(a^4) = \frac{(0,6 + 0,5 + 0,6 + 0)}{3} = 0,57$$

Przepływy netto wynoszą odpowiednio:

$$\varphi(a^1) = 0,37 - 0,5 = -0,13$$

$$\varphi(a^2) = 0,33 - 0,5 = -0,17$$

$$\varphi(a^3) = 0,73 - 0,2 = -0,13$$

$$\varphi(a^4) = 0,33 - 0,57 = -0,23$$

Na podstawie wartości przepływów netto otrzymujemy końcowe uszeregowanie ocenianych zestawów raketowych – tabela 17.

Tabela 17. Zestawienie łącznych ocen porównywanych zestawów raketowych

Zestaw	$\varphi(a^i)$	Ranking
W1. Patriot PAC-2	-0,13	2
W2. Patriot PAC-3	-0,17	3
W3. STUNNER	0,53	1
W4. Aster-30	-0,23	4

Źródło: opracowanie własne

Jak wynika z otrzymanych wyników, najlepszym z ocenianych zestawów został zestaw raketowy STUNNER firmy Rafael – Raytheon. Jeżeli ocena porównawcza nie kończy się na analizie parametrów, a jest jednym z etapów wielokryterialnej oceny porównawczej, to taki wynik może posłużyć do następnych obliczeń.

Podsumowanie

O bezpieczeństwie państwa w dużej mierze decyduje jego siła militarna. Jest ona wyznacznikiem bezpieczeństwa militarnego, którego jednym z elementów jest sprzęt wojskowy. Wyposażenie sił zbrojnych w nowoczesny sprzęt wojskowy zapewnia niezależność międzynarodową i obronną danego państwa. Bardzo ważnym zagadnieniem jest ocena sprzętu wojskowego, który powinien być odpowiedni dla sił zbrojnych. Wiedza o parametrach, które wpływają na jakość sprzętu wojskowego, jest podstawą do jego oceny. Możemy stosować różne podejścia do oceny sprzętu wojskowego w systemie bezpieczeństwa militarnego państwa. Jednym z nich jest wykorzystanie metod analizy wielokryterialnej. W artykule przedstawiono metodykę oceny sprzętu wojskowego za pomocą metody PROMETHEE II. Nie jest to jedyne rozwiązanie, dlatego też należy poszukiwać innych metod służących do oceny sprzętu wojskowego w systemie bezpieczeństwa militarnego państwa, zarówno w obszarze jakościowym, jak i ilościowym.

LITERATURA

- [1] GÓRNY P. (2004), *Elementy analizy decyzyjnej*, AON, Warszawa.
- [2] MITKOW S. (2013), *Analiza wielokryterialna w procesie wyboru dostawcy systemu uzbrojenia*, *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, nr 5, CD, 385.
- [3] MITKOW S., DĘBICKA E. (2015), *Wykorzystanie rozmytej metody AHP do oceny sprzętu wojskowego w systemie bezpieczeństwa narodowego*, *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, nr 5, CD.
- [4] MITKOW Sz., MISZAŁSKI W. (2011), *On certain acquisition procedures of armament and military equipment*, *Studia Bezpieczeństwa Narodowego*, nr 1, 29.
- [5] TRZASKALIK T. (red.) (2014), *Wielokryterialne wspomaganie decyzji. Metody i zastosowania*, PWE, Warszawa.

