

PRACE NAUKOWE

Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu

RESEARCH PAPERS

of Wrocław University of Economics

Nr 446

Metody i zastosowania badań operacyjnych



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
Wrocław 2016

Redakcja wydawnicza: Joanna Świrska-Korlub

Redakcja techniczna: Barbara Łopusiewicz

Korekta: Barbara Cibis

Łamanie: Małgorzata Myszkowska

Projekt okładki: Beata Dębska

Informacje o naborze artykułów i zasadach recenzowania
znajdują się na stronach internetowych

www.pracnaukowe.ue.wroc.pl

www.wydawnictwo.ue.wroc.pl

Publikacja udostępniona na licencji Creative Commons

Uznanie autorstwa-Użycie niekomercyjne-Bez utworów zależnych 3.0 Polska
(CC BY-NC-ND 3.0 PL)



© Copyright by Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
Wrocław 2016

ISSN 1899-3192
e-ISSN 2392-0041

ISBN 978-83-7695-610-7

Wersja pierwotna: publikacja drukowana

Zamówienia na opublikowane prace należy składać na adres:

Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu

ul. Komandorska 118/120, 53-345 Wrocław

tel./fax 71 36 80 602; e-mail: econbook@ue.wroc.pl

www.ksiegarnia.ue.wroc.pl

Druk i oprawa: TOTEM

Wstęp

| | |
|--|-----|
| Wstęp | 7 |
| Krzysztof Echaust: Modelowanie wartości ekstremalnych stóp zwrotu na podstawie danych śróddziennych / Modeling of extreme returns on the basis of intraday data | 9 |
| Helena Gaspars-Wieloch, Ewa Michalska: On two applications of the Omega ratio: $\max\Omega_{\min}$ and $\Omega(H+B)$ / O dwóch zastosowaniach wskaźnika Omega: $\max\Omega_{\min}$ i $\Omega(H+B)$ | 21 |
| Agata Gluzicka: Zastosowanie modelu MAD z dodatkowymi warunkami ograniczającymi / Application of the MAD model with additional constraints | 37 |
| Dorota Górecka, Małgorzata Szalucka: Foreign market entry mode decision – approach based on stochastic dominance rules versus multi-actor multi-criteria analysis / Wybór sposobu wejścia na rynek zagraniczny – podejście oparte na dominacjach stochastycznych a wieloaktorska analiza wielokryterialna | 47 |
| Paweł Hanczar, Dagmara Pisiewicz: Logistyka odzysku – optymalizacja przepływów w systemie gospodarki komunalnej / Reverse logistics – optimization of flows in the system of waste management | 70 |
| Michał Jakubiak, Paweł Hanczar: Optymalizacja tras zbiórki odpadów komunalnych na przykładzie MPO Kraków / Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes on the example of MPO Cracow | 83 |
| Michał Kameduła: Zastosowanie koewolucyjnego algorytmu genetycznego w rozwiązaniu zadania trójkryterialnego / Application of co-evolutionary genetic algorithm for a three-criterion problem..... | 93 |
| Donata Kopańska-Bródka, Renata Dudzińska-Baryła, Ewa Michalska: Zastosowanie funkcji omega w ocenie efektywności portfeli dwuskładnikowych / Two-asset portfolio performance based on the omega function . | 106 |
| Marek Kośny, Piotr Peternek: Zagadnienie sposobu definiowania preferencji na przykładzie przydziału uczniów do oddziałów klasowych / Definition of preferences in the context of pupils' allocation to classes | 115 |
| Wojciech Młynarski, Artur Prędki: Ocena efektywności technicznej i finansowej wybranych nadleśnictw Lasów Państwowych za pomocą metody DEA / Technical and financial efficiency evaluation for selected forestry managements of the State Forests National Forest Holding – the DEA approach..... | 126 |

| | |
|--|-----|
| Piotr Namieciński: Alternatywna metoda określania preferencji decydenta w zagadnieniach wielokryterialnych / Alternative methods of decision-maker preferences identification in multicriteria issues | 144 |
| Marek Nowiński: Testowanie nieliniowych algorytmów optymalizacyjnych – zestaw funkcji typu <i>benchmark</i> / Testing nonlinear optimization algorithms – set of benchmark type functions | 159 |
| Agnieszka Przybylska-Mazur: Wybrana metoda analizy długoterminowej stabilności finansów publicznych / The selected method of analysis of the long-term sustainability of public finance | 173 |
| Ewa Roszkowska, Tomasz Wachowicz, Robert Jankowski: Analiza porozumienia końcowego w negocjacjach elektronicznych w kontekście zgodności systemu oceny ofert negocjatora z informacją preferencyjną/ Analyzing the negotiation agreements in a context of concordance of negotiation offer scoring systems with negotiators' preferential information | 187 |
| Aleksandra Sabo-Zielonka, Grzegorz Tarczyński: Adaptacja heurystyki <i>s-shape</i> na potrzeby wyznaczenia trasy przejścia w niestandardowym układzie strefy kompletacji zamówień / Adaptation of the s-shape heuristic for the custom layout of the order-picking zone | 207 |
| Jakub Staniak: Inicjalizacja ukrytych modeli Markowa z wykorzystaniem analizy skupień / Initialization of hidden Markov models by means of clustering analysis..... | 224 |
| Paulina Szterlik: Lokalizacja magazynu centralnego z zastosowaniem metod wielokryterialnych / Location of central warehouse using quantitative research | 237 |
| Grzegorz Tarczyński: Porównanie efektywności kompletacji łączonych zleceń z kompletacją niezależną / An attempt of comparison of order batching with independent order-picking | 250 |

Wstęp

Kolejna, XXXIV Ogólnopolska Konferencja Naukowa im. Profesora Władysława Bukietyńskiego, organizowana corocznie przez najważniejsze ośrodki naukowe zajmujące się dziedziną badań operacyjnych, w roku 2015 odbyła się w pięknym, zabytkowym i świeżo odremontowanym zespole pałacowo-parkowym w Łagowie koło Zgorzelca. Konferencję zrealizowaną pod nazwą *Metody i Zastosowania Badań Operacyjnych* przygotowała Katedra Badań Operacyjnych Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu pod kierownictwem dr. hab. Marka Nowińskiego, prof. UE.

Konferencje te mają już długoletnią tradycję – są to coroczne spotkania pracowników nauki specjalizujących się w badaniach operacyjnych. Głównym celem konferencji było, podobnie jak w latach ubiegłych, stworzenie (przede wszystkim dla młodych teoretyków, a także praktyków dyscypliny) forum wymiany myśli na temat najnowszych osiągnięć dotyczących metod ilościowych wykorzystywanych do wspomagania procesów podejmowania decyzji, a także prezentacja nowoczesnych zastosowań badań operacyjnych w różnych dziedzinach gospodarki. Ten cenny dorobek naukowy nie może być zapomniany i jest publikowany po konferencji w postaci przygotowywanego przez organizatorów zeszytu naukowego zawierającego najlepsze referaty na niej zaprezentowane.

W pracach Komitetu Naukowego Konferencji uczestniczyli czołowi przedstawiciele środowisk naukowych z dziedziny badań operacyjnych w Polsce; byli to: prof. Jan B. Gajda (Uniwersytet Łódzki), prof. Stefan Grzesiak (Uniwersytet Szczeciński), prof. Bogumił Kamiński (SGH w Warszawie), prof. Ewa Konarzewska-Gubała (Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu), prof. Donata Kopańska-Bródka, prof. Maciej Nowak i prof. Tadeusz Trzaskalik (Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach), prof. Dorota Kuchta (Politechnika Wrocławska), prof. Krzysztof Piasecki (Uniwersytet w Poznaniu) i prof. Józef Stawicki (Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu).

Zakres tematyczny konferencji obejmował teoretyczne i praktyczne zagadnienia dotyczące przede wszystkim:

- modelowania i optymalizacji procesów gospodarczych,
- metod wspomagających proces negocjacji,
- metod oceny efektywności i ryzyka na rynku kapitałowym i ubezpieczeniowym,
- metod ilościowych w transporcie i zarządzaniu zapasami,
- metod wielokryterialnych,
- optymalizacji w zarządzaniu projektami oraz analizy ryzyka decyzyjnego.

W konferencji wzięło udział 43 przedstawiciele różnych środowisk naukowych, licznie reprezentujących krajowe ośrodki akademickie. W trakcie sześciu sesji ple-

narych, w tym dwóch sesji równoległych, przedstawiono 27 referatów, których poziom naukowy w przeważającej części był bardzo wysoki. Zaprezentowane referaty, po pozytywnych recenzjach, zostają dziś opublikowane w Pracach Naukowych Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu w postaci artykułów naukowych w specjalnie wydany zeszycie konferencyjnym.

Przypominając przebieg konferencji, nie można nie wspomnieć o konkursie zorganizowanym dla autorów referatów niebędących samodzielnymi pracownikami nauki. Dotyczył on prezentacji najciekawszego zastosowania badań operacyjnych w praktyce gospodarczej. Komitet Organizacyjny Konferencji powołał kapitułę konkursu, w której skład weszli: prof. Ewa Konarzewska-Gubała – przewodnicząca, prof. Jan Gajda, prof. Stefan Grzesiak i prof. Donata Kopańska-Bródka. Członkowie Komisji Konkursowej oceniali referaty ze względu na:

- innowacyjność, oryginalność metody będącej przedmiotem zastosowania,
- znaczenie zastosowania dla proponowanego obszaru,
- stopień zaawansowania implementacji metody w praktyce.

Spośród 15 referatów zgłoszonych wyróżniono: 1. miejsce: dr Michał Jakubiak i dr hab. Paweł Hanczar (Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu), *Optymalizacja tras zbiórki odpadów komunalnych na przykładzie MPO Kraków*; 2. miejsce: mgr Dagmara Piesiewicz i dr hab. Paweł Hanczar (Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu), *Logistyka odzysku – optymalizacja przepływów w systemie gospodarki komunalnej*; 3. miejsce: dr Dorota Górecka i dr Małgorzata Szałucka (Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu), *Wybór sposobu wejścia na rynek zagraniczny – wieloaktorska analiza wielokryterialna a podejście oparte na dominacjach stochastycznych*.

Przy okazji prezentowania opracowania poświęconego XXXIV Konferencji *Metody i Zastosowania Badań Operacyjnych* i jej bardzo wartościowego dorobku nie możemy nie podziękować członkom Komitetu Organizacyjnego Konferencji, w którego skład wchodził młodzi, acz doświadczeni pracownicy Katedry Badań Operacyjnych Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu: dr Piotr Peternek (sekretarz), dr hab. Marek Kośny, dr Grzegorz Tarczyński oraz mgr Monika Stańczyk (biuro konferencji). Zapewnili oni w sposób profesjonalny sprawne przygotowanie i przeprowadzenie całego przedsięwzięcia oraz zadbał o sprawy administracyjne związane z realizacją konferencji, a także byli odpowiedzialni za dopilnowanie procesu gromadzenia i redakcji naukowych materiałów pokonferencyjnych, które mamy okazję Państwu dziś udostępnić.

Już dzisiaj cieszymy się na nasze kolejne spotkanie w ramach jubileuszowej XXXV Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej im. Profesora Władysława Bukietyńskiego, która tym razem będzie organizowana przez naszych przyjaciół z Katedry Badań Operacyjnych Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu pod kierownictwem prof. dr. hab. Krzysztofa Piaseckiego.

Marek Nowiński

Piotr Namieciński

Uniwersytet Łódzki
e-mail: piotr.namiecinski@uni.lodz.pl

ALTERNATYWNA METODA OKREŚLANIA PREFERENCJI DECYDENTA W ZAGADNIENIACH WIELOKRYTERIALNYCH

ALTERNATIVE METHODS OF DECISION-MAKER PREFERENCES IDENTIFICATION IN MULTICRITERIA ISSUES

DOI: 10.15611/pn.2016.446.11

JEL Classification: C44

Streszczenie: Określenie wagi poszczególnych kryteriów, konieczne w większości metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji, w praktyce nastęcza praktycznych kłopotów i jest z tego powodu mało precyzyjne. Celem pracy jest przedstawienie niewykorzystywanej do tej pory w Polsce metody wielokryterialnej pozwalającej ominąć ten problem. Metoda wielokryterialnej stochastycznej analizy akceptowalności (*Stochastic Multiobjective Acceptability Analysis* – SMAA) przez analizę całej przestrzeni wag pozwala ustalić, które warianty decyzyjne byłyby najczęściej preferowane i przez kogo, wzbogacając znacznie klasyczną analizę. Elastyczność metody SMAA pozwala na łączenie jej z większością klasycznych metod wspomaganie decyzji. W prezentowanym artykule w celu zilustrowania takiego podejścia wybrano połączenie z metodą PROMETHEE.

Słowa kluczowe: SMAA, PROMETHEE, niepewność.

Summary: Most multiple criteria decision aiding methods need in the first step to determine the weights for criteria. In many cases it causes problems. The aim of this study is to present a new methodology that allows to avoid this problem. Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis (SMAA) through the the analysis of the weight space lets determine which alternative would be most preferred and by whom. New information collected in this way gives an opportunity to improve results obtained from classical multiple criteria decision aiding method. This paper contains implementation of SMAA-PROMETHEE method on a simple example of mobile phone operator selection.

Keywords: SMAA, PROMETHEE, uncertainty.

1. Wstęp

Jedną z najistotniejszych wad powszechnie stosowanych wielokryterialnych metody wspomaganie decyzji jest konieczność jednoznacznego określenia preferencji decydenta względem kryterium. Okazuje się bowiem, że decydent często nie chce albo nie jest w stanie dokładnie określić swoich preferencji. Dobrym przykładem pokazującym to zjawisko są projekty społeczne lub środowiskowe, w których decydentami jest duża grupa rozproszonych interesariuszy. W takim przypadku dotarcie do każdego z nich jest niemożliwe, a tym samym nie jest możliwe określenie ich preferencji. Sytuacja wcale nie ulega poprawie, gdy możliwe jest dotarcie do polityka, który reprezentuje ową grupę interesariuszy. Takie osoby bowiem rzadko chcą jednoznacznie określać swoje preferencje. Z myślą o takich sytuacjach opracowano pod koniec XX w. metodę wielokryterialnej stochastycznej analizy akceptowalności (*Stochastic Multiobjective Acceptability Analysis – SMAA*) [Lahdelma i in. 1998]. Metoda znajduje jednak szerokie zastosowanie także w innych przypadkach: umożliwia zdobycie dodatkowych informacji na temat warunków, w jakich poszczególne warianty decyzyjne byłyby preferowane, pozwalając pojedynczemu decydentowi na wybór rozwiązania kompromisowego. Pozwala poza tym uwzględnić różne warunki niepewności nie tylko co do preferencji decydenta, ale również poszczególnych ocen wariantów decyzyjnych względem pojedynczych kryteriów. Metodę tę można również łatwo łączyć z innymi, klasycznymi już wielokryterialnymi metodami wspomaganie decyzji [Tervonen, Lahdelma 2007].

W pracy przedstawiono implementację metody SMAA do prostego wielokryterialnego problemu decyzyjnego wyboru optymalnej oferty telefonii komórkowej. W celu lepszego zobrazowania problemu metodę SMAA oparto na dobrze znanej analizie PROMETHEE. W tekście pokazano, że gdy oceny kryteriów oraz preferencje decydenta względem kryteriów są obarczone niepewnością, rozszerzenie klasycznej analizy PROMETHEE o SMAA daje wiele dodatkowych informacji.

W artykule zostały opisane metody PROMETHEE oraz SMAA, a także problem decyzyjny oraz sposób przygotowania danych pod obliczenia obu metod. Ostatnie dwie części tekstu zawierają opis uzyskanych wyników oraz podsumowanie całego artykułu.

2. Metodologia

W świetle metod SMAA i PROMETHEE rozwiązywany wielokryterialny problem decyzyjny polega na uszeregowaniu skończonego zbioru wariantów decyzyjnych $\mathcal{A} = \{a^1, a^2, \dots, a^n\}$, które są oceniane względem zbioru kryteriów $\mathcal{G} = \{g_1(\cdot), \dots, g_m(\cdot)\}$. Takie uszeregowanie możliwe jest pod warunkiem zdefiniowania globalnej funkcji użyteczności $u(\cdot)$, agregującej oceny wariantów decyzyjnych względem poszczególnych kryteriów $g_k(a^i)$. W tym celu konieczne jest również określenie preferencji decydenta na temat ważności poszczególnych kryteriów, które standardowo są opisywane przez wektor wag $w = [w_1, \dots, w_k]$, spełniający warunki:

$$\bigwedge_{k=1,\dots,m} w_k \geq 0, \quad \sum_{i=1}^m w_k = 1.$$

Najczęściej wykorzystywaną postacią globalnej funkcji użyteczności jest postać liniowa:

$$u(a^i, \mathbf{w}) = \sum_{k=1}^n w_k u_k(g_k(a^i)).$$

Taka postać funkcji użyteczności jest podstawą obliczeń dla metody SMAA¹, w której funkcje cząstkowych użyteczności $u_k(\cdot)$ mogą być przyjęte dowolnie, powinny jednak normalizować oceny i sprowadzać je do porównywalnych ze sobą między kryteriami wartości [Tervonen, Figueira 2008]. Metoda PROMETHEE także korzysta z tej postaci funkcji, tylko w sposób mniej jawny. W tym przypadku rolę funkcji $u_k(\cdot)$ pełnią jednokryterialne przepływy netto [Brans, Mareschal 2005].

2.1. Metoda PROMETHEE

Opracowana na początku lat 80. XX w. przez J.P. Bransa [Brans 1982] metoda PROMETHEE jest obecnie, dzięki swojej prostocie i dobrym właściwościom matematycznym, jedną z najpopularniejszych wielokryterialnych metod wspomaganie decyzji. Znalazła zastosowanie w licznych dziedzinach wiedzy, takich jak np.: bankowość, zarządzanie zasobami wody, medycyna czy chemia, opisanych w ponad 200 różnych publikacjach [Brans, Mareschal 2005; Bahzadian i in. 2010].

Podstawą metody PROMETHEE jest opracowana przez Roya relacja przewyższania. Dlatego też w pierwszej kolejności porównuje się parami wszystkich obiekty względem wszystkich k kryteriów, wyznaczając różnice w ocenie poszczególnych wariantów (r_{ij}^k) względem siebie:

$$r_{ij}^k = \begin{cases} g_k(a^i) - g_k(a^j) & \text{gdy kryterium } k \rightarrow \max \\ g_k(a^j) - g_k(a^i) & \text{gdy kryterium } k \rightarrow \min \end{cases}$$

Następnie, do każdego kryterium ($g_k(\cdot)$) należy dopasować odpowiedni typ funkcji preferencji ($P_k(r_{ij}^k)$). Parę taką $\{g_k(\cdot), P_k(\cdot)\}$, nazywamy uogólnionym kryterium. W metodzie PROMETHEE do budowy uogólnionych kryteriów stosuje się 6 typów funkcji preferencji. Wszystkie typy uogólnionych kryteriów przedstawia tab. 1.

¹ W metodzie metody SMAA możliwe jest stosowanie innej postaci globalnej funkcji użyteczności [Lahdelma i in. 1998].

Tabela 1. Typy uogólnionych kryteriów i odpowiadające im funkcje preferencji

| Nazwa kryterium | Funkcja preferencji | Parametry |
|--|---|------------|
| Typ I: Kryterium zwykłe | $H^k(a^i, a^j) = \begin{cases} 0 & \text{gdy } r_{ij}^k \leq 0 \\ 1 & \text{gdy } r_{ij}^k > 0 \end{cases}$ | brak |
| Typ II: Quasi-kryterium | $H^k(a^i, a^j) = \begin{cases} 0 & \text{gdy } r_{ij}^k \leq q_k \\ 1 & \text{gdy } r_{ij}^k > q_k \end{cases}$ | q_k |
| Typ III: Kryterium z liniową preferencją | $H^k(a^i, a^j) = \begin{cases} 0 & \text{gdy } r_{ij}^k \leq 0 \\ r_{ij}^k/p & \text{gdy } 0 < r_{ij}^k \leq p_k \\ 1 & \text{gdy } r_{ij}^k > p_k \end{cases}$ | p_k |
| Typ IV: Kryterium poziomów | $H^k(a^i, a^j) = \begin{cases} 0 & \text{gdy } r_{ij}^k \leq q_k \\ 1/2 & \text{gdy } q_k < r_{ij}^k \leq p_k \\ 1 & \text{gdy } r_{ij}^k > p_k \end{cases}$ | q_k, p_k |
| Typ V: Pseudokryterium (liniowe z obszarem obojętności) | $H^k(a^i, a^j) = \begin{cases} 0 & \text{gdy } r_{ij}^k \leq q_k \\ \frac{(r_{ij}^k - q_k)}{(p_k - q_k)} & \text{gdy } q_k < r_{ij}^k \leq p_k \\ 1 & \text{gdy } r_{ij}^k > p_k \end{cases}$ | q_k, p_k |
| Typ VI: Kryterium gaussowskie | $H^k(a^i, a^j) = \begin{cases} 0 & r_{ij}^k \leq 0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{(r_{ij}^k)^2}{2s^2}\right) & r_{ij}^k > 0 \end{cases}$ | s_k |

Źródło: na podstawie [Miszczyńska 2002; Trzaskalik (red.) 2014].

Po wyliczeniu indywidualnych indeksów preferencji² dla wszystkich kryteriów i par wariantów decyzyjnych wyliczane są wielokryterialne indeksy preferencji π_{ij} zgodnie ze wzorem:

$$\pi(a^i, a^j) = \sum_{k=1}^n w_k H^k(a^i, a^j).$$

Ostatnim krokiem jest wyliczenie przepływów dominacji: dodatnich (wyjścia) $\varphi^+(a^j)$:

² W pracy tej, w celu rozróżnienia wyniku uogólnionego kryterium dla danej pary wariantów decyzyjnych od przyjętej dla danego kryterium ogólnej postaci funkcji preferencji, przyjęto za [Miszczyńska 2002], że wynik będzie określany jako indywidualny indeks preferencji ($H^k(a^i, a^j)$), zaś przez pojęcie funkcji preferencji rozumiana będzie jedynie ogólna postać funkcji, na podstawie której został on wyliczony. Należy jednak zauważyć, że zgodnie z nomenklaturą przyjętą w [Trzaskalik (red.) 2014] obie wielkości są określane jako funkcja preferencji.

$$\varphi^+(a^i) = \frac{1}{m-1} \sum_{x \in A} \pi(a^i, x),$$

ujemnych (wejścia) $\varphi^-(a^i)$:

$$\varphi^-(a^i) = \frac{1}{m-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a^i)$$

oraz netto $\varphi(a^i)$:

$$\varphi(a^i) = \varphi^+(a^i) - \varphi^-(a^i).$$

Ostateczny ranking uzyskuje się przez uszeregowanie malejąco obiektów ze względu na wartość przepływów dominacji netto [Trzaskalik (red.) 2014].

W 1988 r. B. Mareschal i J.P. Brans zaprezentowali graficzny moduł wspierający analizę PROMETHEE, GAIA [Mareschal, Brans 1988]. Podstawą tego podejścia jest dekompozycja przepływów netto zgodnie ze wzorem [Brans, Mareschal 2005]³:

$$\varphi(a^i) = \sum_{k=1}^n w_k \varphi_k(a^i),$$

$\varphi_k(a^i)$ to jednokryterialne przepływy netto wyliczane ze wzoru:

$$\varphi_k(a^i) = \frac{1}{m-1} \sum_{x \in A} [H^k(a^i, x) - H^k(x, a^i)].$$

Dekompozycja ta okazuje się bardzo wygodna w przypadku obliczeń w warunkach niepewności, gdy wielokrotnie powtarza się obliczenia, uzmienniając jedynie wagi lub tylko oceny dla niektórych kryteriów.

2.2. Metoda SMAA⁴

Metoda SMAA powstała na potrzeby wspomaganie decyzji w warunkach, gdy brakuje pełnej informacji w odniesieniu do ocen wariantów ze względu na kryteria $g_k(a^i)$ lub/oraz wag w określających preferencje decydenta względem ważności kryteriów. Tę niepewność informacji modeluje się, przyjmując wielkości te jako zmienne losowe. Niepewne oceny wariantów decyzyjnych $g_k(a^i)$ zastępuje się zmiennymi losowymi ξ_{ik} . Można więc przyjąć, że zbiór wszystkich ocen ξ pochodzi z wielowymiarowego rozkładu o funkcji gęstości $f_\chi(\xi)$ opisanej na przestrzeni $\chi \in R^{n \times m}$. Podobnie

³ Wzór ten ukazuje dokładnie, w jaki sposób metoda PROMETHEE korzysta z teorii użyteczności wieloatrybutowej.

⁴ Podpunkt powstał na podstawie [Tervonen, Figueira 2008].

określa się wagi w_k , jako zmienne losowe o wielowymiarowej funkcji gęstości $f_W(w)$. W przypadku całkowitego braku informacji dotyczącego preferencji decydenta na temat ważności kryteriów zakłada się, że pochodzą one z wielowymiarowego równomiernego rozkładu rozpiętego na przestrzeni wag dopuszczalnych:

$$f_W(w) = 1/vol(W).$$

Przestrzeń wag dopuszczalnych W dla takiego przypadku definiuje się następująco:

$$w \in W, W = \left\{ w \in R^n : w_i \geq 0, \sum_{i=1}^n w_i = 1 \right\}.$$

Celem metody SMAA jest analiza przestrzeni wag dopuszczalnych W i określenie, dla jakich jej podprzestrzeni preferowane byłby poszczególne warianty decyzyjny. Innymi słowy, chodzi o znalezienie takich kombinacji wag w , dla których i -ty wariant decyzyjny ma ze zbioru wszystkich wariantów największą wartość globalnej funkcji użyteczności. Taką przestrzeń wag nazywamy przestrzenią wag sprzyjających W_i i definiujemy następująco:

$$W_i(\xi) = \left\{ w \in W : u(\xi_i, w) \geq u(\xi_k, w), \bigwedge k = 1, \dots, m \right\}.$$

Wynikiem metody SMAA są wyliczone dla każdego wariantu decyzyjnego trzy podstawowe wskaźniki: indeks akceptowalności a_i , centralny wektor wag sprzyjających w_i^c oraz współczynnik pewności p_i^c .

Indeks akceptowalności a_i informuje nas, jak dużą część przestrzeni wag dopuszczalnych W stanowi przestrzeń wag sprzyjających i -temu wariantowi W_i i jest definiowany jako wielowymiarowa całka o postaci:

$$a_i = \frac{E(vol(W_i))}{vol(W)} = \int_{\xi \in X} f_X(\xi) \int_{w \in W_i(\xi)} f_W(w) dw d\xi.$$

Czym większa wartość tego indeksu, tym częściej dany wariant decyzyjny będzie preferowany, dla większego zakresu różnych kombinacji wag. Wartość tego indeksu równa 0 informuje nas zaś o tym, że dany wariant decyzyjny jest zdominowany przez inne.

W celu znalezienia informacji, dla jakich kombinacji wag i -ty wariant decyzyjny jest preferowany, określa się centralny wektor wag sprzyjających w_i^c jako oczekiwany środek przestrzeni wag sprzyjających:

$$w_i^c = \frac{1}{a_i} \int_{\xi \in X} f_X(\xi) \int_{w \in W_i(\xi)} f_W(w) w dw d\xi.$$

Wskaźnik ten odzwierciedla typowe preferencje decydenta, który wybrałby wariant i -ty.

Gdyby oceny wariantów decyzyjnych $g_k(a^i)$ są wielkościami pewnymi, wówczas dla kombinacji wag należących do i -tej przestrzeni wag sprzyjających W_i mamy pewność, że jest preferowany i -ty wariant. Ponieważ jednak w metodzie SMAA oceny wariantów decyzyjnych względem kryteriów mogą być wielkościami losowymi ξ_i , dany wariant będzie preferowany wewnątrz swojej przestrzeni wag sprzyjających jedynie z pewnym prawdopodobieństwem zależnym od funkcji gęstości $f_\chi(\xi)$. Dla określenia tego prawdopodobieństwa definiuje się współczynnik pewności p_i^c , jako prawdopodobieństwo, że dla kombinacji wag równej i -temu centralnemu wektorowi wag sprzyjających w_i^c , i -ty wariant decyzyjny będzie preferowany.

$$p_i^c = \int_{\xi \in \mathcal{X}: u(\xi_i, w_i^c) \geq u(\xi_k, w_k^c), \wedge k=1, \dots, m} f_\chi(\xi) d\xi.$$

Ponieważ wskaźniki metody SMAA wyliczane są na podstawie trudnych do rozwiązania całek wielowymiarowych, do ich wyznaczania stosuje się metodę Monte Carlo. Pierwszym krokiem jest wyznaczenie centralnych wektorów wag w_i^c oraz indeksów akceptowalności a_i . Obliczenia zaczyna się od wygenerowania z założonych rozkładów losowego wektora wag w oraz losowych ocen wariantów decyzyjnych ξ . Na podstawie tych wartości i przyjętej globalnej funkcji użyteczności sporządza się ranking wariantów decyzyjnych. Proces ten następnie powtarza się wielokrotnie (K_w razy), zapisując każdorazowo dla wszystkich wariantów decyzyjnych zajęty przez nie pozycję oraz wektor wag w dla zwycięzcy. Na podstawie tych informacji na koniec symulacji wylicza się właściwe wartości centralnych wektorów wag w_i^c oraz indeksy akceptowalności a_i .

Znając centralny wektor wag, można w kolejnej symulacji wyznaczyć współczynniki pewności p_i^c . W tym celu na początku generuje się losowe oceny wariantów decyzyjnych ξ . Następnie sprawdza się dla wszystkich wariantów decyzyjnych, czy w rankingu uzyskanym na podstawie wygenerowanych losowo ocen i centralnego wektora wag dla i -tego wariantu nadal zwycięża i -ty wariant decyzyjny. Procedurę tę powtarza się następnie wielokrotnie (K_c razy), zaś współczynnik pewności p_i^c wyliczany jest jako odsetek replikacji, w których zmiana lidera uzyskanego rankingu nie uległa zmianie. Dokładny opis algorytmów dla obu symulacji znajduje się w [Tervonen, Lahdelma 2007].

Ponieważ wskaźniki metody obliczane są w drodze symulacji, powstaje problem dokładności wyników. W przypadku rangowych indeksów akceptowalności oraz centralnego wektora wag dokładność ta zależy jedynie od liczby replikacji pierwszej symulacji K_w . Dla założonego dopuszczalnego błędu pomiaru d_b i przyjętego poziomu ufności α , liczbę koniecznych powtórzeń K_w można wyliczyć ze wzoru:

$$K_w = \frac{u_\alpha^2}{4d_b^2},$$

gdzie: u_α to dystrybuanta standardowego rozkładu normalnego dla przyjętego poziomu ufności.

Niestety, ponieważ obliczenia współczynnika pewności wykorzystują wcześniej obliczone symulacyjne centralne wektory wag sprzyjających, z tego powodu liczba koniecznych replikacji K_c jest znacznie większa i zależy od indeksów akceptowalności a_i [Tervonen, Lahdelma 2007]:

$$K_c = \frac{u_\alpha^2}{a_i 4d_b^2}.$$

W metodzie SMAA postać globalnej funkcji użyteczności nie jest jednoznacznie określona. Dodatkowo w proces obliczania wszystkich wskaźników potrzebne jest jedynie określenie rankingu wariantów decyzyjnych. Tym samym możliwe jest połączenie metody SMAA z dowolną, tworzącą ranking, wielokryterialną metodą wspomagania decyzji. Dotychczas w literaturze zaprezentowane zostały połączenia z metodą AHP [Durbach i in. 2014], PROMETHEE [Corrente i in. 2014], ELECTRE [Tervonen i in. 2004; Tervonen, Figueira 2008] oraz TOPSIS [Okul i in. 2014]. W niniejszym artykule wykorzystywana jest metoda SMAA-PROMETHEE.

3. Obliczenia

3.1. Opis problemu decyzyjnego

Do porównania obu metod wykorzystano problem wyboru najkorzystniejszej oferty usług telefonii komórkowej. Zagadnienie to, choć może wydawać się dość trywialne, ma tę zaletę, że jest proste i każdy kiedyś przed nim stanął. Łatwo więc intuicyjnie ocenić wynik obu metod wspierających decyzje. Dodatkowo jest to rzeczywisty problemem decyzyjny, przed którym stanęła decydentka niezaznajomiona z wielokryterialnymi metodami wspomagania decyzji. Dzięki temu zadanie to w pełni pokazuje problemy, z jakimi może się spotkać analityk przy próbie określenia preferencji decydenta.

W pierwszej kolejności decydentka określiła, że poszukuje oferty telefonu na abonament bądź w usłudze mix, wraz z nowym, atrakcyjnym aparatem telefonicznym w możliwie niskiej cenie. Istotnymi kryteriami wskazanymi na samym początku przez decydentkę były: tanie rozmowy do T-Mobile i Plus (ze względu na operatorów usług telekomunikacyjnych członków rodziny), a przede wszystkim to, aby miesięczna opłata nie przekraczała 60 złotych. Po zapoznaniu się z dostępnymi ofertami największych operatorów sieci komórkowej w Polsce: Plus, T-Mobile, Orange i Play, wybrano do porównania 17 wariantów decyzyjnych różniących się: operatorem, typem usługi oraz oferowanym modelem telefonu komórkowego. Następnie wyszczególniono 11 kryteriów (patrz tab. 2) pomocnych w ocenie wariantów decyzyjnych. Kryteria te można podzielić na dwie grupy: opisujące ofertę telekomunikacyjną oraz opisujące model telefonu dodawany w ofercie.

Tabela 2. Opis kryteriów przyjętych do oceny ofert operatorów sieci komórkowej

| Nazwa | Opis | Jednostka | Min./max. | Kryt. uo. | q | P | w |
|-------------------|---|----------------------------------|-----------|-----------|------|-------|-----|
| Mix | czy sposób rozliczenia usługi to abonament, czy mix? | 0 – abonament 1 – mix | max. | I | 0 | 0 | 1 |
| Oplata | wysokość stałej opłaty miesięcznej | zł/miesiąc | min. | I | 0 | 0 | 10 |
| Czas umowy | okres, na jaki podpisywana jest umowa: 24 miesiące lub 36 miesięcy | miesiące | min. | I | 0 | 0 | 8 |
| Połączenia | liczba darmowych minut na numery poza siecią macierzystą | minuty | max. | I | 0 | 0 | 8 |
| Internet | wielkość darmowego pakietu danych w ramach usługi LTE | GB | max. | I | 0 | 0 | 10 |
| Producent | subiektywna opinia decydentki na temat marki oferowanego telefonu. | skala punktowa 1-10 | max. | I | 0 | 0 | 10 |
| Ekran | przekątna ekranu w telefonie | cale | max. | III | 0 | 1 | 7 |
| System operacyjny | system operacyjny w telefonie | 0 – Windows Phone 1 – Android | max. | III | 0 | 0,625 | 10 |
| Aparat | wielkość matrycy głównego aparatu fotograficznego wbudowanego w telefon | MPix | max. | IV | 0,3 | 1 | 8 |
| LTE | czy telefon ma możliwość obsługi przesyłu danych w technologii LTE | 0 – nie 1 – tak | max. | V | 0,15 | 1 | 8 |
| Cena telefonu | wysokość jednorazowej dopłaty za wybrany aparat telefoniczny | zł | min. | VI | 0 | 0 | 10 |

Kr. uo. – typ kryterium uogólnionego (patrz tab. 1), q – współczynnik obojętności, p – współczynnik preferencji, w – wartości podane przez decydentkę, które następnie były normalizowane w celu uzyskania wag do metody PROMETHEE.

Źródło: opracowanie własne.

3.2. Metoda PROMETHEE

Dane potrzebne do określenia ocen poszczególnych wariantów decyzyjnych względem kryteriów zostały zebrane na stronach internetowych operatorów. Dla kryteriów czysto ilościowych, takich jak: opłata miesięczna, czas umowy, połączenia, Internet, ekran, aparat i cena telefonu, możliwe było bezpośrednie wykorzystanie wielkości liczbowych jako ocen wariantów decyzyjnych. W przypadku kryterium połączenia zastosowano podobną strategię, przy czym dla sytuacji, gdy w ofercie była nielimitowana liczba darmowych minut do innych sieci, ocena takiego wariantu przybierała

bardzo dużą wartość w porównaniu z pozostałymi wariantami. W tym przypadku wystarczyła wartość 1000 minut. Dla kryteriów jakościowych, takich jak: LTE, system operacyjny oraz mix, w których możliwe były tylko po dwa stany, przyjęto, że opcja preferowana oznaczana będzie wartością 1. Najwięcej problemów przysporzyło kryterium „producent”, określające subiektywne odczucia decydentki względem marki oferowanego telefonu. W celu pomiaru tych preferencji poproszono decydentkę o ocenienie wszystkich 5 producentów telefonów uwzględnionych w badaniu na 10 punktowej skali, w której wartość 10 oznaczała najbardziej preferowaną markę, 0 zaś – najmniej preferowaną markę. Poza ocenieniem marki Samsung na 10 decydentka nie była przekonana do dokładnych wartości oceny pozostałych marek, przyznając im ostatecznie różne wartości z przedziału [4:6]. Trudno jednak uznać, aby ta ocena dokładnie odzwierciedlała rzeczywiste odczucia decydentki.

Podobny zabieg, jak w przypadku ocen producentów, zastosowano do określenia preferencji decydentki względem kryteriów. Poproszono ją, aby w odniesieniu do każdego kryterium wskazała, jak jest ono dla niej ważne przy wyborze oferty: wartość 10 oznaczała największą ważność, 0 zaś – najmniejszą. Wartości te, po znormalizowaniu, określiły przyjęte wagi dla kryteriów.

Typ kryterium uogólnionego oraz wartości odpowiednich progów preferencji i obojętności dobierany był zgodnie z kształtowaniem się ocen dla danego kryterium. Wartości parametrów obojętności i preferencji zostały podane jako część rozstępu dla ocen wariantów decyzyjnych dla danego kryterium. Dla kryterium „cena” przyjęę gaussowskie kryterium uogólnione. Parametr s wyznaczono jako odchylenie standardowe ocen wariantów decyzyjnych względem tego kryterium [Miszczyńska 2002]. Przyjęte oceny wariantów decyzyjnych ze względu na wszystkie kryteria, typy kryteriów uogólnionych, wartości parametrów p i q znajdują się w tab. 2.

3.3. Metoda SMAA

W trakcie określania preferencji decydentki na potrzeby metody PROMETHEE badana wyraźnie była niepewna co do podawanych przez siebie wielkości. Wartości wagi stały w sprzeczności z początkowo deklarowanymi oczekiwaniami. Najsilniej widać to w przypadku typu oferty (kryterium „mix”). Początkowo było to jedno z ważniejszych kryteriów, w badaniu jednak otrzymało najniższą wagę. Znacząca liczba kryteriów została uznana za najważniejsze, mimo wyrażenia przez decydentkę deklaracji o wyższości jednych z nad innymi. Podobnie wyglądała sytuacja w przypadku preferencji względem producentów telefonów. Jedyną pewną informacją w tym względzie była silna w porównaniu z innymi markami preferencja marki Samsung. Dużą trudność przy budowie modelu PROMETHEE sprawił także dobór uogólnionych kryteriów i odpowiednich parametrów. Finalnie wartości te zostały określone arbitralnie przez analityka, również one stanowią więc źródło niepewności.

Z wymienionych powodów jako zmienne losowe w badaniu SMAA zostały określone wagi dla kryteriów, oceny względem kryterium „producent” oraz wszyst-

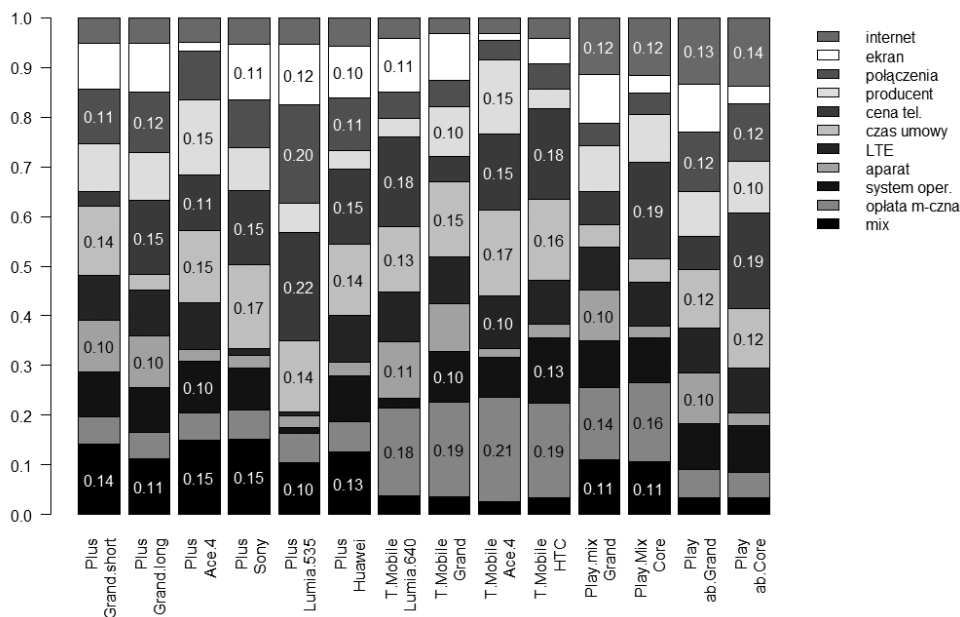
kie wielkości parametrów obojętności q i preferencji p . Wagi losowane były z wielowymiarowego rozkładu jednostajnego zgodnie ze schematem zaprezentowanym w pracy [Tervonen, Lahdelma 2007]. Ponieważ w badaniu uwzględnione były telefony 5 marek w celu wygenerowania ocen dla kryterium „producentów” losowano niezależnie 5 zmiennych losowych z rozkładu równomiernego na przedziale $[1,10]$. Następnie wybierano największą z nich i przypisywano jako ocenę marce Samsung. Pozostałe wartości były przypisywane losowo pozostałym markom. Ponieważ dla kryteriów: „producent”, „połączenie”, „ekran” oraz „Internet” wybrane kryteria uogólnione wymagają podania parametrów obojętności q i preferencji p , wszystkie je należy traktować jako zmienne losowe. Dla każdego z nich niezależnie losowane były dwie zmienne z rozkładu równomiernego na przedziale $[0,1]$. Mniejsza wartość przypisywana była do współczynnika obojętności q , większa – do współczynnika preferencji p .

4. Wyniki

Wagi podane przez decydentkę pozwoliły wytypować za pomocą metody PROMETHEE ofertę abonamentu Plusa z dołączonym telefonem Samsung Grand Prime, jako najbardziej odpowiadającą decydentce. Jak jednak wcześniej wspomniano, wartości tych wag obarczone są dużą niepewnością. Z tego powodu analizę metodą SMAA przeprowadzono z założeniem braku jakichkolwiek informacji na temat preferencji decydentki odnośnie do ważności kryteriów. Oznacza to, że założono, że pochodzą one z równomiernego rozkładu wielowymiarowego. W takim przypadku indeksy akceptowalności należy interpretować jako prawdopodobieństwo, że dany wariant decyzyjny będzie preferowany przez decydentkę. Największą wartość indeksu akceptowalności uzyskał wariant oferty mix w sieci Play z telefonem Samsung Grand Prime. Prawdopodobieństwo, że ten wariant najbardziej odpowiadałby decydentce, wyniosło prawie 25%. Wariant wytypowany w metodzie PROMETHEE uzyskał niewiele niższą wartość indeksu akceptowalności. Wybór tego wariantu był prawdopodobny w 23%.

Uwagę zwraca fakt, że oferty z telefonem Samsung Grand Prime miały największą szansę na uznanie ich za najlepsze. Pierwszych pięć wariantów decyzyjnych z najwyższymi wartościami indeksu akceptowalności były ofertami oferującymi właśnie ten model telefonu. Wyjątek stanowiła oferta z Orange, dla której indeks akceptowalności wynosił 0. Oznacza to, że jest to zdominowany wariant decyzyjny. Takie same wartości indeksu akceptowalności otrzymały jeszcze dwie oferty: druga z rozpatrywanych ofert od Orange z telefonem Ace 4 oraz oferta sieci T-Mobile z telefonem Lumia 535. Oznacza to, że żaden dobrze poinformowany i racjonalnie zachowujący się decydent nie powinien wybrać żadnej z tych trzech ofert.

Centralny wektor wag wskazuje, jakie preferencje względem kryteriów musiałaby wykazywać decydentka, żeby uznać za najlepszy dany wariant decyzyjny. Analizując uzyskane centralne wektory wag dla wszystkich 14 niezdominowanych



Rys. 1. Centralne wektory wag

Źródło: opracowanie własne.

wariantów decyzyjnych (rys. 1), można zaobserwować pewne zależności, świadczące o tym, do jakich grup konsumenckich skierowane są oferty poszczególnych operatorów.

- Wszystkie oferty z telefonem Samsung Grand Prime byłyby wybierane pod warunkiem niewielkiego znaczenia ceny. Jedyne odstępstwo od tej reguły stanowi 36-miesięczna oferta Plusa, w której w zamian za niższą cenę należało się zgodzić na dłuższą umowę.
- Oferty typu mix są atrakcyjne jedynie dla decydentów, dla których istotna jest elastyczna forma płatności. Dla każdego z wariantów decyzyjnych w ofertach typu mix wagi dla tego kryterium były jednymi z najistotniejszych.
- Oferty Play są wyraźnie nastawione na odbiorców dużo korzystających z Internetu, o czym świadczy duży udział wag dla kryterium „Internet” we wszystkich centralnych wektorach wag dla ofert od tego operatora.
- Oferty T-Mobile okazały się najatrakcyjniejsze ze względu na wysokość opłaty miesięcznej.

Ponieważ oceny kryteriów w badaniu SMAA zostały uzmiennione jedynie w niewielkim stopniu, współczynniki pewności wnoszą bardzo niewiele informacji. Jedynie w odniesieniu do propozycji Plusa z ofertą telefonu Lumia 535 współczynnik pewności wynosił 0,91. Jest to jednocześnie wariant z najmniejszą wartością

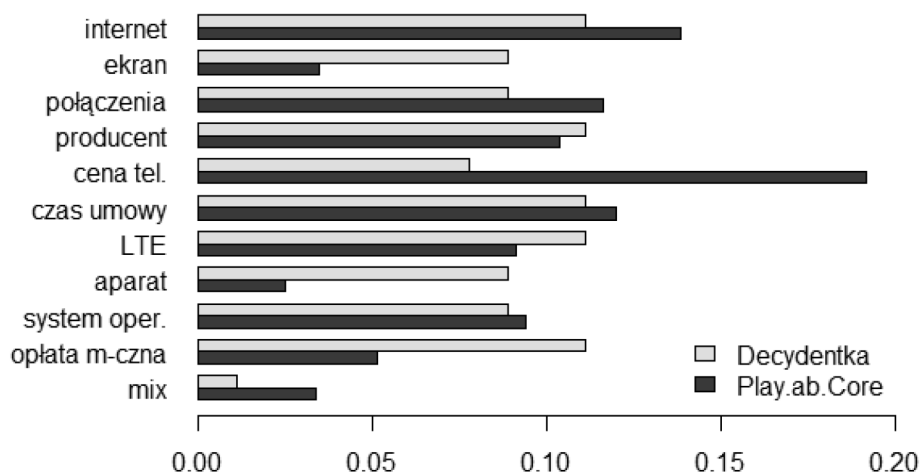
indeksu akceptowalności, wynosząca 0,003. Wyniki te sugerują, że wariant ten przy nieprzychylniej ocenie uzmiennionych kryteriów też okazywał się zdominowany.

Tabela 3. Wyniki metody PROMETHEE i SMAA

| Nazwa | Skrócony opis wariantu | | | | | PROME- THEE | SMAA | |
|--------------------|------------------------|------------|-----------|-------------|------------------|----------------|------------------------------------|---------|
| | operator | typ oferty | telefon | | długość ofert | ϕ netto | indeks preferencji (a_i) | p_i^c |
| | | | marka | typ | | | | |
| Play ab Grand | Play | abonament | Samsung | Grand Prime | 24 | 3,280 | 0,2309 | 1 |
| Play ab Core | Play | abonament | Samsung | Core Prime | 24 | 1,716 | 0,0300 | 1 |
| T-Mobile Grand | T-mobile | abonament | Samsung | Grand Prime | 24 | 1,688 | 0,0584 | 1 |
| Plus Grand long | Plus | mix | Samsung | Grand Prime | 36 | 1,550 | 0,1806 | 1 |
| Play mix Grand | Play | mix | Samsung | Grand Prime | 36 | 1,451 | 0,2494 | 1 |
| Plus Grand short | Plus | mix | Samsung | Grand Prime | 24 | 1,423 | 0,1400 | 1 |
| Plus Huawei | Plus | mix | Huawei | Y635 LTE | 24 | 0,605 | 0,0409 | 1 |
| T-Mobile Lumia 640 | T-mobile | abonament | Microsoft | Lumia 640 | 24 | 0,338 | 0,0118 | 1 |
| Plus Ace 4 | Plus | mix | Samsung | Ace 4 | 24 | 0,274 | 0,0186 | 1 |
| Play mix Core | Play | mix | Samsung | Core Prime | 36 | -0,113 | 0,0347 | 1 |
| T-Mobile Ace 4 | T-mobile | abonament | Samsung | Ace 4 | 24 | -0,372 | 0,0033 | 1 |
| T-Mobile HTC | T-mobile | abonament | HTC | Desire 510 | 24 | -0,597 | 0,0023 | 1 |
| Orange Grand | Orange | abonament | Samsung | Grand Prime | 24 | -1,083 | 0,0000 | 1 |
| Plus Sony | Plus | mix | Sony | E4 | 24 | -1,283 | 0,0012 | 1 |
| Plus Lumia 535 | Plus | mix | Microsoft | Lumia 535 | 24 | -2,354 | 0,0003 | 0,91 |
| T-Mobile Lumia 535 | T-mobile | abonament | Microsoft | Lumia 535 | 24 | -3,022 | 0,0000 | 1 |
| Orange Ace 4 | Orange | abonament | Samsung | Ace 4 | 24 | -3,502 | 0,0000 | 1 |

ϕ netto – przepływy dominacji netto, p_i^c – współczynnik pewności.

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2. Porównanie centralnego wektora wag rzeczywiście wybranego wariantu decyzyjnego z wektorem wag zadeklarowanym przez decydentkę

Źródło: opracowanie własne.

Decydentka ostatecznie podjęła decyzję niezależnie do wyników przeprowadzonych analiz i wybrała ofertę abonamentu w Play z dołączonym telefonem Samsung Core Prime. Wyniki metody SMAA wskazywały, że prawdopodobieństwo wyboru tego wariantu wynosiło zaledwie 3%. Porównanie zadeklarowanego przez decydentkę wektora wag z centralnym wektorem wag ostatecznie wybranego wariantu decyzyjnego (rys. 2) pokazuje, jak rzeczywiste preferencje decydentki różniły się od tych podanych. W rzeczywistości kryterium znacznie istotniejszym była bowiem cena telefonu niż jego parametry techniczne. Największe różnice między zadeklarowanym wektorem wag a centralnym wektorem wag wybranego wariantu występują dla kryteriów: „cena telefonu”, „aparat” oraz „ekran”. Znaczna różnica w wagach występuje również dla kryterium „opłata miesięczna”. Informację tę należy rozpatrywać wraz z kryterium „Internet”; świadczy ona o gotowości decydentki do ponoszenia większej opłaty abonamentowej w zamian za większy pakiet dostępu do szybkiego Internetu.

5. Podsumowanie

W klasycznym przypadku wielokryterialnego wspomaganie decyzji, gdy mamy możliwość uzyskania w miarę dokładnych informacji o preferencjach i ocenach decydenta, metoda SMAA jest przydatnym dodatkiem do klasycznej analizy. Pozwala łatwo zidentyfikować warianty zdominowane oraz te najbliższe rozwiązaniu idealnemu. Metoda ta umożliwia także określenie tego, na relacje pomiędzy którymi

kryteriami należy zwrócić szczególną uwagę, bo one decydują o wyborze odpowiedniej opcji. W pełni metoda ta rozwija jednak swoje możliwości, kiedy decydent nie jest zdefiniowany jako pojedyncza osoba, lecz jako zbiorowość. W takim przypadku indeksy akceptowalności nabierają nowego znaczenia, a metoda ta staje się dobrym sposobem analizy preferencji w zbiorowości. Dzięki temu metoda SMAA może znaleźć szerokie zastosowanie w takich dziedzinach, jak np. marketing.

Literatura

- Bahzadian M., Kazemzadeh R.B., Albadvi A., Aghdasi M., 2010, *PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications*, European Journal of Operational Research, vol. 200, s. 198-215.
- Brans J.P., 1982, *L'ingéniérie de la décision; Elaboration d'instruments d'aider la décision. La méthode PROMETHEE*, [w:] *L'aide à la décision: Nature, Instruments et Perspectives d'Avenir*, Nadeau R., Landry M. (red.), Presses de l'Université Laval, Québec, Canada.
- Brans J.P., Mareschal B., 2005, *PROMETHEE methods*, [w:] *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, Figueira J., Greco S., Ehrgott M. (red.), Springer, New York.
- Corrente S., Figueira J.R., Greco S., 2014, *The SMAA-PROMETHEE method*, European Journal of Operational Research, vol. 239, s. 514-522.
- Durbach I., Lahdelma R., Salminen P., 2014, *The analytic hierarchy process with stochastic judgments*, European Journal of Operational Research, vol. 238, s. 522-559.
- Lahdelma R., Hokkanen J., Salminen P., 1998, *SMAA – Stochastic multiobjective acceptability analysis*, European Journal of Operational Research, vol. 106, s. 137-143.
- Mareschal B., Brans J.P., 1988, *Geometrical representations for MCDA. The GAIA module*, European Journal of Operational Research, vol. 33 no. 1, s. 54-64.
- Miszczyńska D., 2002, *Wielokryterialny ranking Otwartych Funduszy Emerytalnych*, [w:] *Modelowanie preferencji a ryzyko '01*, Trzaskalik T. (red.), AE w Katowicach, Katowice.
- Okul D., Gencer C., Aydogan E.K., 2014, *A method based on smaa-topsis for stochastic multi-criteria decision making and a real-world application*, International Journal of Information Technology & Decision Making, vol. 13, no. 5 s. 957-978.
- Tervonen T., Figueira J.R., 2008, *A survey on Stochastic multicriteria acceptability analysis method*, Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, vol.15 s. 1-14.
- Tervonen T., Figueira J., Lahdelma R., Salminen P., 2004, *An inverse approach for ELECTRE III*, Research Report 20/2004, The Institute of Systems Engineering and Computers (INESC-Coimbra), Coimbra, Portugal. <http://www.inescc.pt> (15.10.2015).
- Tervonen T., Lahdelma R., 2007, *Implementing stochastic multicriteria acceptability analysis*, European Journal of Operational Research, vol. 178 s. 500-513.
- Trzaskalik T. (red.), 2014, *Wielokryterialne wspomaganie decyzji. Metody i zastosowania*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.