

PRACE NAUKOWE

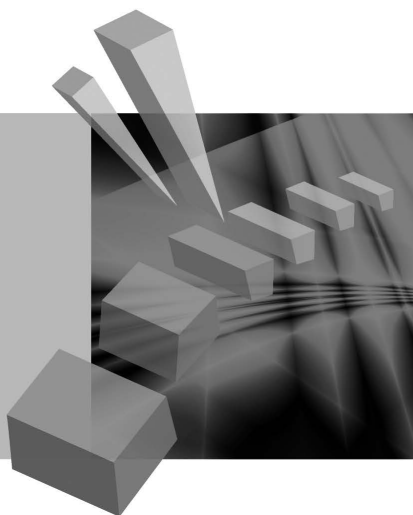
Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu

RESEARCH PAPERS

of Wrocław University of Economics

238

Zastosowania badań operacyjnych Zarządzanie projektami, decyzje finansowe, logistyka



Redaktor naukowy

Ewa Konarzewska-Gubała



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
Wrocław 2011

Recenzenci: Stefan Grzesiak, Donata Kopańska-Bródka, Wojciech Sikora,
Józef Stawicki, Tomasz Szapiro, Tadeusz Trzaskalik

Redaktor Wydawnictwa: Elżbieta Kożuchowska

Redaktor techniczny: Barbara Łopusiewicz

Korektor: Barbara Cibis

Łamanie: Małgorzata Czupryńska

Projekt okładki: Beata Dębska

Publikacja jest dostępna w Internecie na stronach:

www.ibuk.pl, www.ebscohost.com,

The Central and Eastern European Online Library www.ceeol.com,

a także w adnotowanej bibliografii zagadnień ekonomicznych BazEkon

http://kangur.uek.krakow.pl/bazy_ae/bazekon/nowy/index.php

Informacje o naborze artykułów i zasadach recenzowania znajdują się
na stronie internetowej Wydawnictwa

www.wydawnictwo.ue.wroc.pl

Kopiowanie i powielanie w jakiegokolwiek formie
wymaga pisemnej zgody Wydawcy

© Copyright by Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
Wrocław 2011

ISSN 1899-3192

ISBN 978-83-7695-195-9

Wersja pierwotna: publikacja drukowana

Druk: Drukarnia TOTEM

Spis treści

Wstęp.....	9
------------	---

Część 1. Zarządzanie projektami i innowacjami

Tomasz Błaszczyk: Świadomość i potrzeby stosowania metod badań operacyjnych w pracy polskich kierowników projektów	13
Barbara Gładysz: Metoda wyznaczania ścieżki krytycznej przedsięwzięć z rozmytymi czasami realizacji zadań	25
Marek Janczura, Dorota Kuchta: Proactive and reactive scheduling in practice.....	34
Tymon Marchwicki, Dorota Kuchta: A new method of project schedule levelling	52
Aleksandra Rutkowska, Michał Urbaniak: Harmonogramowanie projektów na podstawie charakterystyk kompetencji – wrażliwość modelu na różne aspekty liczb rozmytych	66
Jerzy Michnik: Zależności między kryteriami w wielokryterialnych modelach zarządzania innowacjami	80

Część 2. Podejmowanie decyzji finansowych

Przemysław Szufel, Tomasz Szapiro: Wielokryterialna symulacyjna ocena decyzji o finansowaniu edukacji wyższej	95
Marek Kośny: Koncepcja dominacji pierwszego i drugiego rzędu w analizie wzorca zmian w rozkładzie dochodu.....	111
Agnieszka Przybylska-Mazur: Podejmowanie decyzji monetarnych w kontekście realizacji celu inflacyjnego	120
Agata Gluzicka: Analiza ryzyka rynków finansowych w okresach gwałtownych zmian ekonomicznych	131
Ewa Michalska: Zastosowanie prawie dominacji stochastycznych w konstrukcji portfela akcji	144
Grzegorz Tarczyński: Analiza wpływu ogólnej koniunktury giełdowej i wzrostu PKB na stopy zwrotu z portfela akcji przy wykorzystaniu rozmytych modeli Markowitza.....	153

Część 3. Problemy logistyki, lokalizacji i rekrutacji

Paweł Hanczar, Michał Jakubiak: Wpływ różnych koncepcji komisjonowania na czas realizacji zamówienia w węzle logistycznym	173
Mateusz Grzesiak: Zastosowanie modelu transportowego do racjonalizacji dostaw wody w regionie	186
Piotr Wojewnik, Bogumił Kamiński, Marek Antosiewicz, Mateusz Zawisza: Model odejść klientów na rynku telekomunikacyjnym z uwzględnieniem efektów sieciowych	197
Piotr Miszczyński: Problem preselekcji kandydatów w rekrutacji masowej na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa	211

Część 4. Pomiar dokonań, konkurencja firm, negocjacje

Marta Chudykowska, Ewa Konarzewska-Gubała: Podejście ilościowe do odwzorowania celów strategicznych w systemie pomiaru dokonań organizacji na przykładzie strategii miasta Wrocławia	231
Michał Purczyński, Paulina Dolata: Zastosowanie metody DEA do pomiaru efektywności nakładów na reklamę w przemyśle piwowarskim	246
Mateusz Zawisza, Bogumił Kamiński, Dariusz Witkowski: Konkurencja firm o różnym horyzoncie planowania w modelu Bertrand z kosztem decyzji i ograniczoną świadomością cenową klientów	263
Jakub Brzostowski: Poprawa rozwiązania negocjacyjnego w systemie <i>Nego-Manage</i> poprzez zastosowanie rozwiązania przetargowego	296

Część 5. Problemy metodologiczne

Helena Gaspars-Wieloch: Metakryterium w ciągłej wersji optymalizacji wielocelowej – analiza mankamentów metody i próba jej udoskonalenia.	313
Dorota Górecka: Porównanie wybranych metod określania wag dla kryteriów oceny wariantów decyzyjnych	333
Maria M. Kaźmierska-Zatoń: Wybrane aspekty optymalizacji prognoz kombinowanych	351
Artur Prędko: Spojrzenie na metody estymacji w modelach regresyjnych przez pryzmat programowania matematycznego	365
Jan Schneider, Dorota Kuchta: A new ranking method for fuzzy numbers and its application to the fuzzy knapsack problem	379

Summaries

Part 1. Project and innovation management

Tomasz Błaszczuk: Awareness and the need for operations research methods in the work of Polish project managers	24
Barbara Gładysz: A method for finding critical path in a project with fuzzy tasks durations	33
Marek Janczura, Dorota Kuchta: Proaktywne i reaktywne harmonogramowanie w praktyce	51
Tymon Marchwicki, Dorota Kuchta: Nowa metoda niwelacji harmonogramu projektu	64
Aleksandra Rutkowska, Michał Urbaniak: Project scheduling using fuzzy characteristics of competence – sensitivity of the model to the use of different aspects of fuzzy numbers	79
Jerzy Michnik: Dependence among criteria in multiple criteria models of innovation management	92

Part 2. Financial decision-making

Przemysław Szufel, Tomasz Szapiro: Simulation approach in multicriteria decision analysis of higher education financing policy	110
Marek Kośny: First and second-order stochastic dominance in analyses of income growth pattern	119
Agnieszka Przybylska-Mazur: Monetary policy making in context of execution of the strategy of direct inflation targeting	130
Agata Gluzicka: Analysis of risk of financial markets in periods of violent economic changes	143
Ewa Michalska: Application of almost stochastic dominance in construction of portfolio of shares	152
Grzegorz Tarczyński: Analysis of the impact of economic trends and GDP growth in the return of shares using fuzzy Markowitz models	169

Part 3. Logistics, localization and recruitment problems

Paweł Hanczar, Michał Jakubiak: Influence of different order picking concepts on the time of execution order in logistics node	185
Mateusz Grzesiak: Application of transportation model for rationalization of water supply in the region	196
Piotr Wojewnik, Bogumił Kamiński, Marek Antosiewicz, Mateusz Zawisza: Model of churn in the telecommunications market with network effects	210

Piotr Miszczyński: The problem of pre-selection of candidates in mass recruitment on the example of the chosen company.....	227
--	-----

Part 4. Performance measurement, companies competition, negotiations

Marta Chudykowska, Ewa Konarzewska-Gubała: Quantitative approach to the organization strategy mapping into the performance measurement system: case of strategy for Wrocław city	245
Michał Purczyński, Paulina Dolata: Application of Data Envelopment Analysis to measure effectiveness of advertising spendings in the brewing industry	262
Mateusz Zawisza, Bogumił Kamiński, Dariusz Witkowski: Bertrand competition with switching cost.....	295
Jakub Brzostowski: Improving negotiation outcome in the NegoManage system by the use of bargaining solution.....	309

Part 5. Methodological problems

Helena Gaspars-Wieloch: The aggregate objective function in the continuous version of the multicriteria optimization – analysis of the shortcomings of the method and attempt at improving it.....	332
Dorota Górecka: Comparison of chosen methods for determining the weights of criteria for evaluating decision variants	350
Maria M. Kaźmierska-Zatoń: Some aspects of optimizing combined forecasts.....	363
Artur Prędko: Mathematical programming perspective on estimation methods for regression models	378
Jan Schneider, Dorota Kuchta: Nowa metoda rankingowa dla liczb rozmytych i jej zastosowanie dla problemu rozmytego plecaka	389

Dorota Górecka

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

PORÓWNANIE WYBRANYCH METOD OKREŚLANIA WAG DLA KRYTERIÓW OCENY WARIANTÓW DECYZYJNYCH

Streszczenie: Jednym z kluczowych elementów procesu wielokryterialnego wspomaganie decyzji jest wyznaczenie wag dla kryteriów oceny wariantów decyzyjnych. Wartości wag można uzyskać za pomocą wielu różnych metod, np.: metody Hokkanena i Salminena, procedury Simosa lub jej zmodyfikowanej wersji, metody Mousseau, metody Hinkle'a zwanej siatką „oporu na zmiany”, opartej na teorii konstruktów osobistego Kelly'ego, procesu analitycznej hierarchizacji (AHP) lub systemu REMBRANDT. W referacie, oprócz opisu i analizy porównawczej wymienionych metod, przedstawione zostaną wyniki badania dotyczącego preferencji decydentów w zakresie wykorzystania wybranych metod określania wag dla kryteriów oceny w procesie decyzyjnym.

Słowa kluczowe: wielokryterialne wspomaganie decyzji, wagi dla kryteriów oceny wariantów decyzyjnych, preferencje decydentów.

1. Wstęp

Określenie wag dla kryteriów oceny wariantów decyzyjnych jest zadaniem trudnym i wymagającym wiele uwagi, cierpliwości i zaangażowania ze strony uczestników procesu decyzyjnego. Stanowi ono bardzo ważny element tego procesu, mający niejednokrotnie decydujący wpływ na podejmowaną decyzję.

Istnieje wiele technik określania współczynników wagowych dla rozpatrywanych w problemie decyzyjnym kryteriów. Metody te mają odmienne zalety i wady i różnią się od siebie m.in. stopniem złożoności oraz leżącą u ich podstaw metodologią. Simos [1990a] zbadał kilka z nich i odkrył, że nie są one zgodne. Uznał, że ten brak zgodności czyni z określania wag dla kryteriów słabe ogniwo procesu decyzyjnego. Stwierdził też, że metoda ustalania wag dla kryteriów powinna być prosta i zrozumiała dla uczestników procesu decyzyjnego, a jednocześnie posiadać podstawy metodologiczne zapewniające, że uzyskane współczynniki wagowe odzwierciedlają rzeczywiste preferencje/opinie decydentów na temat tego, co postrzegają oni jako istotne [Rogers, Bruen 1998, s. 554].

Celem pracy jest porównanie wybranych metod określania wag dla kryteriów oceny wariantów oraz przedstawienie rekomendacji dotyczącej sposobu ich ustalania w procesie decyzyjnym na podstawie przeprowadzonego badania dotyczącego preferencji decydentów w zakresie wykorzystania niektórych metod i przy założeniu, że rekomendowany sposób powinien:

- pozwalać na wyrażanie opinii na temat istotności kryteriów w sposób możliwie prosty, ale jednocześnie precyzyjny i satysfakcjonujący decydenta,
- pozwalać na uzyskiwanie wyników (wag dla kryteriów) możliwie najlepiej odzwierciedlających opinie decydenta,
- być przyjazny dla swoich użytkowników – możliwie nieskomplikowany obliczeniowo i zrozumiały dla uczestników procesu decyzyjnego.

W części drugiej niniejszej pracy przedstawiony został opis wybranych metod określania wag dla kryteriów oceny wariantów decyzyjnych, natomiast w części trzeciej dokonano ich porównania. Część czwarta i część piąta pracy poświęcone zostały przeprowadzonemu badaniu i zawierają odpowiednio jego opis oraz wyniki. W części szóstej zaprezentowane zostały wnioski.

2. Wybrane metody określania wag dla kryteriów oceny wariantów decyzyjnych

Wartości wag dla kryteriów oceny wariantów decyzyjnych można uzyskać, wykorzystując wiele różnych metod, m.in.:

- metodę Hokkanena i Salminena (wersja 1) (zob. [Hokkanen, Salminen 1994, s. 111–153]),
- metodę Hokkanena i Salminena (wersja 2) (zob. [Hokkanen, Salminen 1994, s. 111–153]),
- procedurę Simosa (zob. [Simos 1990a; Simos 1990b; Maystre i in. 1994 oraz Figueira, Roy 2002, s. 317–326]),
- zmodyfikowaną procedurę Simosa (zob. [Figueira, Roy 2002, s. 317–326]),
- metodę Mousseau (zob. [Mousseau 1995, s. 17–43]),
- metodę Hinkle’a (zob. [Hinkle 1965 oraz Rogers, Bruen 1998, s. 552–563]),
- proces analitycznej hierarchizacji (AHP) (zob. [Saaty 1980; Saaty 2006 oraz Saaty, Vargas 1991]),
- system REMBRANDT (zob. [Lootsma i in. 1990, s. 293–305; Lootsma 1992; Lootsma 1993, s. 87–110]).

Wartości wag dla kryteriów mogą też zostać podane przez uczestników procesu decyzyjnego wprost, w sposób arbitralny.

Wersja nr 1 metody Hokkanena i Salminena została przez nich zastosowana m.in. w pracy dotyczącej wyboru systemu zarządzania odpadami stałymi w jednym z regionów Finlandii (zob. [Hokkanen, Salminen 1997, s. 19–36]). Polega ona na przyporządkowaniu kryteriom liczb naturalnych od 1 do 7, gdzie 7 oznacza kryterium najważniejsze, i znormalizowaniu otrzymanych wartości.

Wersja nr 2 metody Hokkanena i Salminena została przez nich zastosowana we wspomnianej wyżej pracy (zob. [Hokkanen, Salminen 1997, s. 19–36]) równolegle z wersją nr 1. Polega ona na przyporządkowaniu liczby 1 najmniej ważnemu kryterium i określeniu, ile razy pozostałe kryteria są od niego ważniejsze. Uzyskane wartości są następnie normalizowane.

Procedura zaproponowana przez Simosa przypomina metodę Hokkanena i Salminena. Jej innowacyjność polega przede wszystkim na wykorzystaniu papierowych kart, umożliwiających wizualizację i intuicyjne zrozumienie rozpatrywanego problemu. Na proces zbierania informacji w procedurze Simosa składają się następujące kroki:

1) Przydzielenie decydentowi zbioru kart z nazwami kryteriów oraz zestawu pustych kart tego samego rozmiaru, co karty zapisane.

2) Uszeregowanie zapisanych kart przez decydenta zgodnie z jego przekonaniem od tej zawierającej nazwę najmniej ważnego kryterium do tej zawierającej nazwę kryterium najbardziej istotnego, przy czym karty z nazwami kryteriów posiadających zdaniem decydenta jednakową ważność powinny być ułożone razem i zostać spięte spinaczem lub związane gumką.

3) Uwzględnienie przez decydenta różnic między istotnościami następujących po sobie kryteriów (bądź ich zestawów zajmujących miejsca *ex aequo*) poprzez włożenie pomiędzy następujące po sobie zapisane karty (lub ich spięte spinaczem zestawy) kart pustych zgodnie z następującymi zasadami:

a) brak jakiegokolwiek pustej karty oznacza, że kryteria nie posiadają tej samej ważności, przy czym różnica pomiędzy ich wagami stanowi oznaczoną przez u jednostkę przyjętą do mierzenia odstępów między wagami;

b) im większa jest różnica pomiędzy ważnością kolejnych kryteriów (lub ich zestawów zajmujących pozycje *ex aequo*), tym większa liczba włożonych pustych kart – jedna biała karta oznacza różnicę równą $2u$, dwie białe karty oznaczają różnicę wynoszącą $3u$, itd.

W celu przekształcenia przyporządkowanych kryteriom pozycji w wagi stosowany jest następujący algorytm:

1. Włączenie do stworzonego rankingu kart z nazwami kryteriów kart pustych poprzez przydzielenie im pozycji adekwatnych do ich położenia.

2. Nadanie uporządkowanym kartom (zapisanym i pustym) numerów kolejnych liczb naturalnych.

3. Określenie nieznormalizowanej wagi dla każdej pozycji w rankingu zajmowanej przez zapisane karty poprzez przyporządkowanie jej średniej arytmetycznej obliczonej z przydzielonych kartom numerów.

4. Określenie znormalizowanej wagi dla każdego kryterium poprzez podzielenie wagi nieznormalizowanej przyporządkowanej zajmowanej przez to kryterium pozycji przez sumę numerów przydzielonych kartom zapisanym. Obliczone w ten

sposób wagi zaokrąglane są do dwóch cyfr po przecinku¹ [Figueira, Roy 2002, s. 318–320].

W zmodyfikowanej procedurze Simosa posługujemy się tą samą „karcianą” techniką uzyskiwania informacji na temat struktury hierarchicznej kryteriów, co w wersji pierwotnej. Różnice pojawiają się dopiero w fazie drugiej, w której w obliczeniach uwzględniona zostaje dodatkowa informacja pochodząca od decydenta w postaci odpowiedzi na pytanie, ile razy jego zdaniem ostatnie w rankingu kryterium jest ważniejsze od pierwszego, oraz zmieniony zostaje algorytm, zgodnie z którym poszczególnym kryteriom przyporządkowywane są wartości liczbowe w postaci wag. Dzięki wprowadzonym zmianom różnice między wagami kolejnych pozycji w rankingu są stałe i nie zależą od liczby zajmujących je kryteriów, a suma znormalizowanych wag kryteriów jest zawsze równa jedności [Figueira, Roy 2002, s. 322].

Metoda Mousseau polega na rozwiązaniu układu nierówności dotyczących współczynników wagowych, utworzonego na podstawie dokonanych przez decydentów porównań fikcyjnych wariantów decyzyjnych różniących się między sobą pod względem co najwyżej trzech kryteriów. W wyniku nie otrzymujemy dokładnych wartości wag, lecz przedziały, w których powinny się one mieścić.

Oparta na teorii konstruktów osobistego Kelly’ego² [1955] metoda Hinkle’a sprowadza się do utworzenia siatki „oporu na zmiany”, w której porównywane są ze sobą parami konstruktów bipolarne dotyczące rozpatrywanych kryteriów zawierające po lewej stronie stan pożądaný, a po prawej – stan niepożądaný³. Przy założeniu, że w przypadku jednego z konstruktów bipolarnych trzeba przejść od stanu pożądanego do stanu niepożądanego, podczas gdy w przypadku drugiego sytuacja pozostaje niezmienną, decydent musi wskazać tę zmianę, która jest dla niego bardziej niepożądana. Czyni to poprzez wpisanie do siatki powyżej jej głównej przekątnej „K” albo „W” w zależności od tego, czy mniej pożądana jest zmiana w kolumnie, czy też w wierszu. Jeśli obie zmiany są jednakowo niepożądane, należy wpisać „I”, a jeśli nie jest możliwa zmiana stanu w przypadku jednego konstruktów i pozostanie w stanie niezmiennym w przypadku drugiego konstruktów, należy wpisać „E”. Dla każdego konstruktów bipolarnego zliczane są i dodawane do siebie wszystkie „W” występujące

¹ W oryginalnej wersji procedury Simosa iloraz nieznormalizowanej wagi pozycji i sumy numerów przydzielonych zapisanym kartom mnożony jest przez 100, a wynik zaokrąglany do najbliższej liczby całkowitej. Ponieważ przyjęto, że suma wag wynosi 1, zrezygnowano z tego działania.

² Zgodnie z teorią Kelly’ego każdy człowiek jest badaczem interpretującym, przewidującym i kontrolującym zjawiska, starającym się nadać im sens. Kluczowym pojęciem w strukturze osobowości jest konstrukt. Jest to specyficzny sposób ujęcia i rozumienia rzeczywistości. Jedną z cech charakterystycznych konstruktów jest ich dwubiegunowość (bipolarność), np. dobry–zły, piękny–brzydki, silny–słaby, aktywny–bierny. Każdy człowiek tworzy własną hierarchię konstruktów, jako że część z nich ma znaczenie podstawowe (konstruktów nadrzędne), a część z nich jest mniej ważna (konstruktów podrzędne). Według Kelly’ego konstruktów zapewniają jednostce poczucie tożsamości, zabezpieczają świadomość przed chaosem i pozwalają na zrozumienie świata oraz przewidywanie przyszłych zdarzeń [Rogers, Bruen 1998, s. 554–555; Koziński 2000].

³ Na przykład: kryterium – koszt realizacji projektu, konstrukt bipolarny – niski koszt/wysoki koszt; kryterium – efektywność, konstrukt bipolarny – wysoka efektywność/niska efektywność.

w odpowiadającym mu wierszu i wszystkie „K” występujące w odpowiadającej mu kolumnie powyżej głównej przekątnej siatki. Współczynniki wagowe uzyskiwane są poprzez znormalizowanie tych wartości [Rogers, Bruen 1998, s. 561–562].

Metoda AHP opiera się na założeniu, że oceny ludzkie mają charakter relatywny, a nie absolutny – zdolność do dokonywania oceny porównawczej jest biologicznym dziedzictwem człowieka, umiejętnością niezbędną do przetrwania w świecie, w którym wszystko jest względne i nieustannie się zmienia (zob. [Saaty 2005, s. 345–350]). W metodzie tej zakłada się, że problem decyzyjny ma strukturę hierarchiczną, przy czym hierarchia ta może być wielopoziomowa. Na najwyższym jej poziomie znajduje się cel nadrzędny, a na najniższym – rozpatrywane warianty decyzyjne. Poziomy pośrednie zajmowane są przez ogólne kryteria oceny oraz kolejne grupy podkryteriów. Przyjmuje się, że znajdujące się na kolejnych poziomach elementy są w pełni porównywalne, przy czym do porównań tych elementów parami wykorzystywana jest dziewięciostopniowa skala ocen zamieszczona w tab. 1.

Tabela 1. Oceny liczbowe i werbalne w metodzie AHP

Ocena liczbowa	Ocena werbalna
1	Porównywane elementy są równoważne
2	Wahanie pomiędzy równoważnością i niewielką przewagą pierwszego z porównywanych elementów nad drugim
3	Niewielka przewaga pierwszego z porównywanych elementów nad drugim
4	Wahanie pomiędzy niewielką przewagą i dużą przewagą pierwszego z porównywanych elementów nad drugim
5	Duża przewaga elementu pierwszego nad drugim
6	Wahanie pomiędzy dużą przewagą a bardzo dużą przewagą pierwszego z porównywanych elementów nad drugim
7	Bardzo duża przewaga pierwszego z porównywanych elementów nad drugim
8	Wahanie pomiędzy bardzo dużą przewagą i ogromną (ekstremalną) przewagą pierwszego z porównywanych elementów nad drugim
9	Ogromna (ekstremalna) przewaga elementu pierwszego nad drugim
Odwrotności powyższych liczb	Jeśli elementowi i porównywanemu z elementem j przyporządkowana zostaje jedna z wymienionych wyżej niezerowych ocen liczbowych, to elementowi j porównywanemu z elementem i przyporządkowywana jest odwrotność tej liczby

Źródło: [Saaty 2005, s. 356].

Schemat postępowania w metodzie AHP jest następujący [Trzaskalik (red.) 2006, s. 70]:

1. Budujemy macierz porównań n kryteriów parami i znajdujemy dla nich wektor skali. Znaleziony wektor oznaczamy jako: $\bar{w} = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$.

2. Budujemy macierz porównań m wariantów decyzyjnych względem każdego z n kryteriów i znajdujemy wektor skali $\bar{b}^k [b_1^k, b_2^k, \dots, b_m^k]^T$ względem k -tego kryterium, $k = 1, \dots, n$.

3. Wyznaczamy macierz C , której kolumny tworzą wektory skali dla kolejnych kryteriów.

4. Wyznaczamy wektor ocen końcowych dla rozpatrywanych wariantów decyzyjnych postaci: $\bar{b} = C\bar{w}^r$.

Wektory skali dla kryteriów i wariantów decyzyjnych mogą zostać wyznaczone za pomocą metody Saaty'ego. Przebieg postępowania jest następujący:

1. W każdej kolumnie macierzy E porównań elementów parami sumujemy oceny ε_{ij} pochodzące z dziewięciostopniowej skali zaproponowanej przez Saaty'ego, obliczając: $\sigma_j = \sum_{i=1}^z \varepsilon_{ij}$.

2. Budujemy znormalizowaną macierz $D = [\delta_{ij}]_{i,j=1,\dots,z}$, której elementy w kolumnie j powstały przez podzielenie ε_{ij} przez σ_j : $\delta_{ij} = \frac{\varepsilon_{ij}}{\sigma_j}$.

3. Obliczamy przybliżony wektor \bar{d} , którego elementy stanowią średnie arytmetyczne z elementów wierszy macierzy znormalizowanej: $d_i = \frac{1}{z} \left(\sum_{j=1}^z \delta_{ij} \right)$.

4. Wyznaczamy przybliżoną wartość własną $\lambda_{\max} = \frac{1}{z} \cdot \sum_{i=1}^z \frac{(E\bar{d})_i}{d_i}$.

Aby stwierdzić, w jakim stopniu oceny decydenta zapisane w macierzy $E = [\varepsilon_{ij}]_{i,j=1,\dots,z}$ są spójne, obliczamy wskaźnik zgodności $c = \frac{\lambda_{\max} - z}{z - 1}$ i porównujemy go ze wskaźnikiem losowym r , będącym średnią wartością c dla dużej liczby losowo wygenerowanych macierzy porównań. Jeżeli $CR = \frac{c}{r} \leq 0,1$, to uznajemy, że występuje zgodność ocen, jeżeli natomiast $CR > 0,1$, to porównań parami dokonujemy jeszcze raz⁴ [Trzaskalik (red.) 2006, s. 67–69].

System REMBRANDT to rozwiązanie opracowane w Holandii, będące odpowiedzią na zarzuty wysuwane pod adresem metody AHP dotyczące stosowanej w niej skali ocen, sposobu uzyskiwania syntetycznej oceny wariantów oraz możliwości pojawienia się zmian w rankingu w wyniku dodania nowego wariantu. W systemie REMBRANDT skala ocen 1–9 proponowana przez Saaty'ego zostaje zastąpiona skalą logarytmiczną, a wykorzystywana do wyznaczania wektorów skali metoda wartości własnej Perrona-Frobeniusa – metodą logarytmicznych najmniejszych kwa-

⁴ Nie jest to twarda reguła. Jeżeli $CR=0,15$, a decydent jest przekonany, że macierz porównań parami nie powinna ulec zmianie, to wyniki powinny zostać zaakceptowane [Bodin, Gass 2003, s. 1490–1491].

dratów. Pozwala to wyeliminować potencjalne problemy związane ze zjawiskiem odwrócenia rankingu. Struktura hierarchiczna w systemie REMBRANDT – w odróżnieniu od metody AHP – obejmuje zaledwie trzy poziomy: poza poziomem najwyższym, na którym znajduje się cel nadrzędny, i poziomem najniższym, na którym umieszczone są rozpatrywane warianty, występuje jeszcze tylko jeden poziom, na którym znajdują się kryteria oceny wariantów. Kolejna zmiana dotyczy metody otrzymywania uogólnionej oceny wariantów – zamiast proponowanej przez Saaty'ego agregacji poprzez średnią arytmetyczną wykorzystywana jest reguła agregacji oparta na średniej geometrycznej [Olson i in. 1995, s. 522–523].

A zatem w systemie REMBRANDT porównywanym ze sobą elementom e_i i e_j przypisywane są liczby δ_{ij} zgodnie z zamieszczoną w tab. 2 skalą ocen.

Tabela 2. Porównanie skal ocen stosowanych w metodzie AHP i systemie REMBRANDT

Ocena werbalna	AHP ε_{ij}	REMBRANDT δ_{ij}
Ogromna przewaga elementu j	1/9	-8
Bardzo duża przewaga elementu j	1/7	-6
Duża przewaga elementu j	1/5	-4
Niewielka przewaga elementu j	1/3	-2
Porównywane elementy są równoważne	1	0
Niewielka przewaga elementu i	3	2
Duża przewaga elementu i	5	4
Bardzo duża przewaga elementu i	7	6
Ogromna przewaga elementu i	9	8
Oceny pośrednie oznaczające wahanie	1/8, 1/6, 1/4, 1/2, 2, 4, 6, 8	-7, -5, -3, -1, 1, 3, 5, 7

Źródło: [Olson i in. 1995, s. 524].

Liczby δ_{ij} przekształcane są następnie w wartości na skali geometrycznej, stanowiące liczbowe oszacowanie nieznanymi stosunków preferencji d_i/d_j , odzwierciedlających relacje subiektywnych wartości przypisywanych rozważanym elementom. Przekształcenia te dokonywane są według następującego wzoru:

$$d_i/d_j \approx r_{ij} = \exp(\gamma\delta_{ij}), \quad i, j = 1, \dots, z,$$

przy czym $\gamma = \ln 2$, gdy porównywane są ze sobą warianty decyzyjne, a $\gamma = \ln \sqrt{2}$, gdy porównywane są ze sobą kryteria ich oceny. Wektor $\bar{d} = [d_1, d_2, \dots, d_z]^T$ szacowany jest przy pomocy metody logarytmicznych najmniejszych kwadratów. Składowe wektora $\bar{v} = [v_1, v_2, \dots, v_z]^T$, będące przybliżeniem składowych wektora \bar{d} , uzyskujemy, minimalizując wartość wyrażenia

$\sum_{i=1}^z \sum_{j>i}^z (\ln r_{ij} - (\ln v_i - \ln v_j))^2$. Przyjmując, że $\prod_{i=1}^z v_i = 1$, otrzymujemy następujące rozwiązanie:

$$v_i = \exp\left(\frac{1}{z} \cdot \gamma \sum_{j=1}^z \delta_{ij}\right) = \prod_{j=1}^z r_{ij}^{1/z}, \quad i = 1, \dots, z.$$

Schemat postępowania w systemie REMBRANDT jest następujący:

1. Konstruujemy macierz porównań n kryteriów parami i wyznaczamy dla nich za pomocą średniej geometrycznej wektor skali, który normalizujemy addytywnie i oznaczamy jako: $\bar{w} = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$.

δ_{ij}	f_1	f_2	f_3	r_{ij}	f_1	f_2	f_3
f_1	0	4	6	f_1	1	4	8
f_2	-4	0	2	f_2	0,25	1	2
f_3	-6	-2	0	f_3	0,125	0,5	1

średnia geometryczna

$\sqrt[3]{1 \cdot 4 \cdot 8} \approx 3,175$	w_k
$\sqrt[3]{0,25 \cdot 1 \cdot 2} \approx 0,794$	0,727
$\sqrt[3]{0,125 \cdot 0,5 \cdot 1} \approx 0,397$	0,182
	0,091

2. Budujemy macierz porównań m wariantów decyzyjnych parami z punktu widzenia każdego z n kryteriów w celu wyznaczenia dla nich za pomocą średniej geometrycznej wektora skali $\bar{b}^k = [b_1^k, b_2^k, \dots, b_m^k]^T$ względem k -tego kryterium, $k = 1, \dots, n$.

3. Wyznaczamy wektor ocen końcowych dla rozpatrywanych wariantów decyzyjnych, którego składowe mają postać: $b_i = \prod_{k=1}^n b_{ki}^{w_k}$, $i = 1, \dots, m$. Wektor ten możemy znormalizować, dzieląc każdą jego składową przez ich sumę [Olson i in. 1995, s. 524].

Tak jak wspomniano, wartości wag dla kryteriów mogą też zostać podane przez decydentów bezpośrednio (w sposób arbitralny), bez wykorzystania żadnej z opisanych powyżej metod.

3. Porównanie wybranych metod określania wag dla kryteriów oceny wariantów decyzyjnych

Opisane w poprzednim punkcie pracy metody można podzielić na dwie grupy: do pierwszej z nich, obejmującej metody mniej złożone matematycznie, należą będą obie wersje metody Hokkanena i Salminena, procedura Simosa oraz jej zmodyfikowana wersja, a także technika polegająca na arbitralnym określeniu wartości współczynników wagowych; do drugiej natomiast – metoda Mousseau, metoda Hinkle’a, metoda AHP i system REMBRANDT.

Metoda zaproponowana przez Hokkanena i Salminena (niezależnie od wersji) umożliwia decydentowi wyrażenie swojej opinii na temat istotności kryteriów w sposób prosty, a wykonywane w celu uzyskania wag obliczenia są nieskomplikowane i łatwe do zrozumienia. Metoda ta jest jednak pozbawiona silnych podstaw metodologicznych. Poza tym jej wersja nr 1, polegająca na porządkowaniu kryteriów, nie pozwala wyrazić preferencji w sposób zbyt precyzyjny. Z kolei wersja nr 2, polegająca na podawaniu wielokrotności, daje taką możliwość, ale nie wiadomo, czy decydent jest w stanie dobrze ją wykorzystać, ponieważ nie wiadomo, z jaką dokładnością jest on w stanie określić, ile razy kolejne kryteria są ważniejsze od kryterium najmniej ważnego.

Procedura Simosa przypomina wersję nr 1 metody Hokkanena i Salminena, przy czym jej niewątpliwą zaletę stanowi ilustrowanie ustalonego wśród rozpatrywanych kryteriów porządku za pomocą papierowych kart. Inną jej mocną stroną jest to, że obliczenia wykonywane w celu otrzymania wag dla kryteriów są dość proste i zrozumiałe dla uczestników procesu decyzyjnego. Niemniej jednak procedura ta ma też pewne wady, m.in.:

- ogranicza zbiór wartości tworzących wagi dla kryteriów, wykluczając z góry niektóre z nich, ponieważ określa automatycznie (bez wyraźnego i w pełni świadomego udziału decydenta) stosunek pomiędzy wagami pierwszej i ostatniej pozycji w rankingu,
- różnice między wagami kolejnych pozycji w rankingu nie są stałe i zależą od liczby zajmujących je kryteriów, w związku z czym decydent nie posiada pełnej kontroli nad procesem przyporządkowywania kryteriom wartości liczbowych,
- zaokrąglanie do dwóch miejsc po przecinku powoduje, że suma znormalizowanych wag kryteriów nie zawsze jest równa jedności [Figueira, Roy 2002, s. 317–318, 320–321].

Zmodyfikowana procedura Simosa pozbawiona jest wymienionych wyżej mankamentów – zostały one wyeliminowane kosztem pewnego skomplikowania przeprowadzanych obliczeń. Dodatkową niedogodność stanowi konieczność uzyskania informacji od decydenta o tym, ile razy najbardziej istotne kryterium jest ważniejsze od kryterium najmniej istotnego. Ponieważ decydenci mają zazwyczaj trudności z określeniem tej wartości, zaleca się przeanalizowanie wpływu jej zmiany na końcowe rozwiązanie w postaci wag dla kryteriów.

Bezpośrednie podanie wartości współczynników wagowych dla kryteriów jest podejściem zrozumiałym dla decydentów, niewymagającym wykonywania żadnych obliczeń. Pozwala ono wyrazić preferencje w sposób bardzo precyzyjny, jednakże niektórzy decydenci nie umieją tego uczynić – przyporządkowanie poszczególnym kryteriom wag nastręczać może pewnych trudności, zwłaszcza wtedy, gdy liczba kryteriów jest duża.

Zdaniem Vincke [1992] metody takie jak metoda Hokkanena i Salminena bądź procedura Simosa, w których wagi są spontanicznie nadawane kryteriom przez decydentów, niekoniecznie odnoszą się bezpośrednio do pojęcia istotności kryteriów.

Metoda Mousseau, w porównaniu ze wspomnianymi wyżej metodami, posiada zdecydowanie lepsze podstawy matematyczne i psychologiczne. Jest jasna, spójna i logiczna, ale dość skomplikowana pod względem obliczeniowym. Otrzymane w wyniku jej zastosowania przedziały wartości dla współczynników wagowych mogą zostać wykorzystane w analizie odporności rozwiązań. Podstawowym ograniczeniem tej metody jest konieczność wykreowania dla decydentów zestawu fikcyjnych wariantów decyzyjnych o odpowiedniej liczebności i jakości. Jeśli warianty decyzyjne różnią się między sobą ze względu na więcej niż cztery kryteria, to omawiana metoda staje się zbyt złożona, dokonywanie porównań – zbyt trudne, a udzielane odpowiedzi są mniej wiarygodne [Rogers, Bruen 1998, s. 553–554].

Siatka „oporu na zmiany” jest metodą trudniejszą od metod należących do grupy pierwszej jeśli chodzi o sposób wyrażania opinii na temat istotności kryteriów. Posiada jednak dobre podstawy psychologiczne, a uzyskane dzięki niej współczynniki wagowe dla kryteriów są silnie powiązane z odczuwaną przez decydenta relatywną istotnością kryteriów/konstruktywów bipolarnych. Dodatkową jej zaletą jest przyjazność dla użytkownika, jako że konieczne do wykonania obliczenia są proste i zrozumiałe. Metoda ta jest szeroko rozpowszechniona w Irlandii, gdzie wykorzystywano ją przede wszystkim w dziedzinie badań rynkowych, w przypadku których napotykała jednak ograniczenia związane z dużą liczbą kryteriów/konstruktywów bipolarnych [Rogers, Bruen 1998, s. 561–562].

Metoda AHP opiera się na założeniu, że oceny dokonywane przez ludzi mają charakter relatywny, i jako taka umożliwia porównywanie analizowanych elementów parami. Metoda ta posiada bardzo mocne podstawy matematyczne i pozwala na wyrażanie opinii na temat ważności kryteriów w sposób dość precyzyjny, choć nienależący do najprostszych. Przy dużej liczbie elementów trudno jest zachować spójność porównań – sam autor metody nie zaleca przekraczać siedmiu (zob. [Saaty 2006, s. 85–86]). Ponadto wykorzystywaną w metodzie AHP metodę wartości własnej Perrona-Frobeniusa trudno jest uznać za przyjazną dla użytkownika – wyjaśnienie jej osobie o umyśle humanistycznym nie jest zadaniem łatwym, a przeprowadzane obliczenia są bardziej skomplikowane niż w metodach opisywanych wcześniej.

Z punktu widzenia sposobu wyrażania opinii na temat ważności kryteriów system REMBRANDT nie różni się niczym od metody AHP, zmienia się tu jedynie skala liczbowa, za pomocą której dokonywane są porównania elementów parami ze

względu na to, że relatywna przewaga jest zdaniem autorów metody naturalnie wypukła. Ponieważ wykonywane w ramach tej metody obliczenia są dość trudne, a metoda logarytmicznych najmniejszych kwadratów mało zrozumiała dla decydentów nieposiadających ścisłego wykształcenia, to metody tej nie można uznać za łatwą w użyciu.

4. Opis badania/eksperymentu mającego na celu porównanie różnych metod określania wag dla kryteriów oceny wariantów decyzyjnych

W przeprowadzonym na potrzeby niniejszego artykułu badaniu wzięło udział 16 osób:

- 9 kobiet i 7 mężczyzn,
- 12 osób posiadających stopień naukowy doktora i 4 osoby posiadające tytuł zawodowy magistra lub magistra inżyniera,
- 14 pracowników państwowej uczelni wyższej (uniwersytetu lub politechniki), 1 pracownik administracji samorządowej oraz 1 pracownik jednej z największych światowych firm w branży elektrotechnicznej i elektronicznej.

Żadna z uczestniczących w badaniu osób nie miała wcześniej do czynienia z wielokryterialnym wspomaganiami decyzji, a w szczególności z analizowanymi metodami określania wag dla kryteriów oceny wariantów decyzyjnych.

Badanie składało się z dwóch części. W pierwszej z nich każdy uczestnik eksperymentu poproszony został o wyrażenie swoich przekonań dotyczących istotności kryteriów oceny wariantów decyzyjnych różnymi sposobami (arbitralnie, za pomocą obu wersji metody Hokkanena i Salminena, za pomocą metody AHP/systemu REMBRANDT⁵ i za pomocą metody Hinkle'a) oraz o ocenienie tych sposobów wg skali Likerta pod względem ich prostoty, precyzji i poziomu satysfakcji wynikającej z ich zastosowania. Na koniec respondenci poproszeni zostali o wybranie najprostszego i najtrudniejszego ich zdaniem sposobu wyrażania opinii na temat ważności kryteriów oraz o wskazanie tego spośród zaproponowanych sposobów, który usatysfakcjonował ich w największym, i tego, który usatysfakcjonował ich w najmniejszym stopniu.

W drugiej części badania każda osoba biorąca w nim udział poproszona została o wybranie tego spośród podanych zestawów wag, który najlepiej odzwierciedla jej opinię na temat ważności kryteriów, oraz tego, który odzwierciedla ją najgorzej. Zadanie to trzeba było wykonać dwa razy – pierwszy raz dla wektorów wag określonych za pomocą pięciu metod, tzn. obu wersji metody Hokkanena i Salminena, metody AHP, systemu REMBRANDT oraz siatki „oporu na zmiany”, drugi raz natomiast dla wektorów ustalonych sześcioma metodami, tzn. w sposób arbitralny oraz

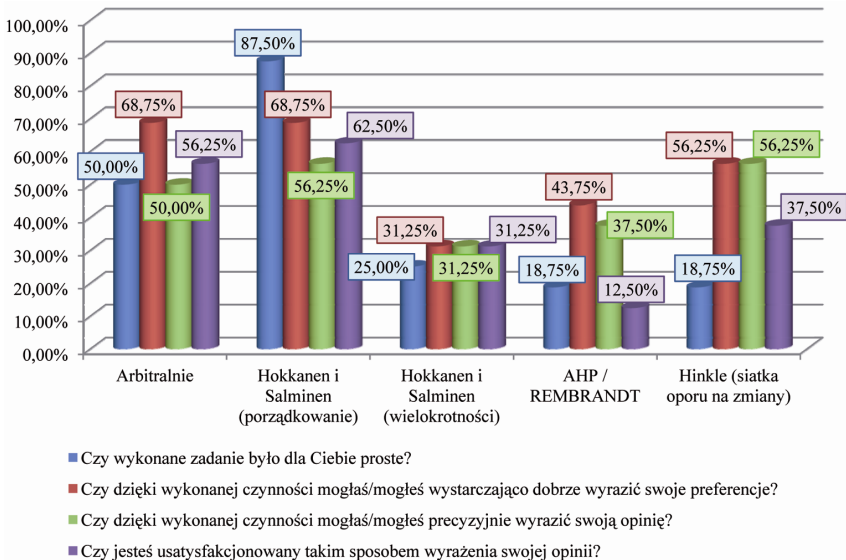
⁵ Oceny wyrażone przez ankietowanych z wykorzystaniem dziewięciostopniowej skali opracowanej przez T.L. Saaty'ego zostały następnie przeniesione – już bez ich udziału – na skalę logarytmiczną obowiązującą w systemie REMBRANDT.

pięcioma metodami wymienionymi wcześniej. Wektory współczynników wagowych zostały obliczone dla każdego uczestnika badania indywidualnie na podstawie opinii wyrażonych przez niego w pierwszej części badania.

Rozpatrywany w badaniu problem decyzyjny dotyczył wyboru konta osobistego. Problem ten został dobrany w taki sposób, aby każda z osób uczestniczących w badaniu posiadała wiedzę na jego temat i potrafiła wyrazić swoją opinię na temat istotności uwzględnionych w nim kryteriów oceny wariantów.

5. Wyniki badania

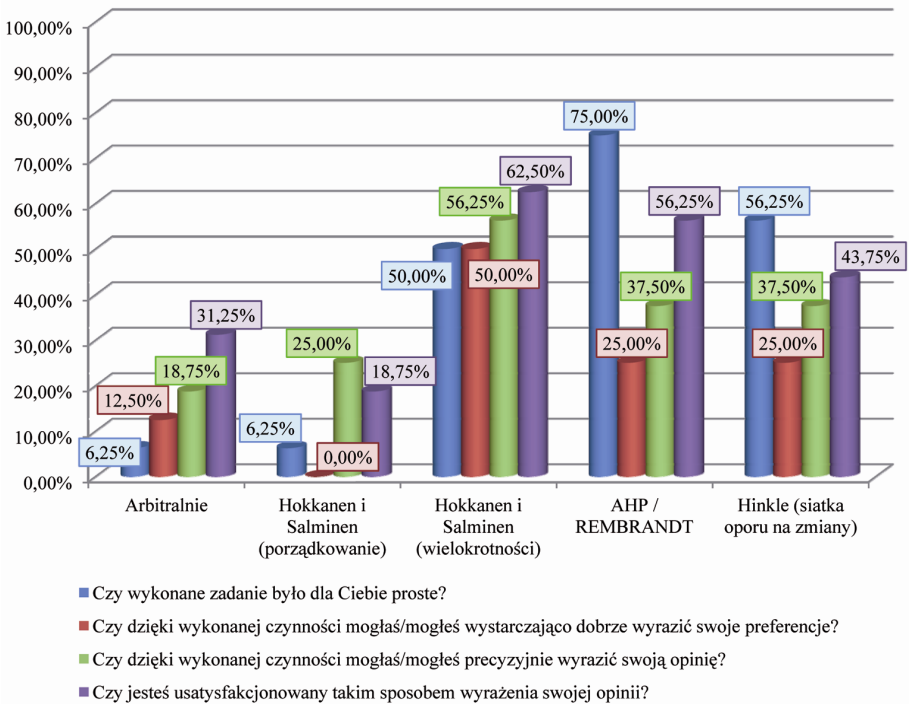
Największy procentowy udział odpowiedzi „zdecydowanie tak” i „raczej tak” na pytanie o prostotę postawione przed uczestnikami badania zadania wystąpił w przypadku wersji nr 1 metody Hokkanena i Salminena oraz podejścia polegającego na określeniu wag w sposób arbitralny. Sytuacja wyglądała podobnie w przypadku pytania dotyczącego tego, czy dzięki wykonanej czynności można było wystarczająco dobrze wyrazić swoje preferencje, oraz tego, czy zastosowany sposób wyrażenia opinii był satysfakcjonujący. Z kolei największy procentowy udział odpowiedzi „zdecydowanie tak” i „raczej tak” na pytanie o możliwość precyzyjnego wyrażenia opinii wystąpił w przypadku wersji nr 1 metody Hokkanena i Salminena oraz w przypadku metody Hinkle’a. Ta ostatnia metoda spotkała się też z aprobatą ze strony respondentów, jeśli chodzi o możliwość dobrego wyrażenia swoich preferencji (56,25% odpowiedzi „zdecydowanie tak” i „raczej tak”).



Rys. 1. Procentowy udział odpowiedzi „zdecydowanie tak” i „raczej tak”

Źródło: opracowanie własne.

Największy procentowy udział odpowiedzi „zdecydowanie nie” i „raczej nie” na pytanie o prostotę postawionego przed uczestnikami badania zadania wystąpił w przypadku metody AHP/systemu REMBRANDT oraz siatki „oporu na zmiany”. Również wersja nr 2 metody Hokkanena i Salminena nie została uznana za prostą (50% odpowiedzi „zdecydowanie nie” i „raczej nie”). Metody te nie spotkały się też z pozytywną opinią w przypadku pozostałych trzech pytań, przy czym najslabiej wypadła wersja nr 2 metody Hokkanena i Salminena, uznana za niedającą możliwości dobrego i precyzyjnego wyrażenia swoich preferencji (odpowiednio 50% i 56,25% odpowiedzi „zdecydowanie nie” i „raczej nie”) oraz niezbyt satysfakcjonującą (62,5% odpowiedzi „zdecydowanie nie” i „raczej nie”).

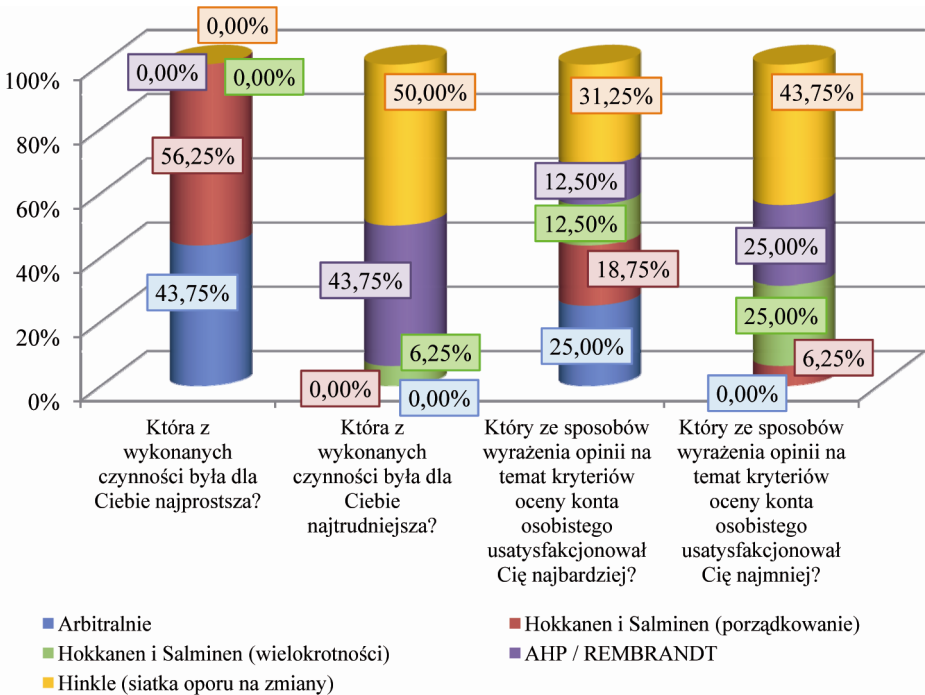


Rys. 2. Procentowy udział odpowiedzi „zdecydowanie nie” i „raczej nie”

Źródło: opracowanie własne.

W opinii przebadanych osób najprostszymi metodami wyrażenia opinii na temat istotności kryteriów okazały się wersja nr 1 metody Hokkanena i Salminena oraz podejście polegające na określeniu wag w sposób arbitralny, z kolei najtrudniejszymi – siatka „oporu na zmiany” oraz metoda AHP/system REMBRANDT. Żadna z uczestniczących w badaniu osób nie wskazała na nie, wybierając najprostszy z zaproponowanych sposób wyrażania opinii.

Zdaniem respondentów najbardziej satysfakcjonującym sposobem wyrażania swoich preferencji była metoda Hinkle'a – wskazało na nią 31,25% osób. Paradoksalnie metoda ta, uzyskując ponad 43% wskazań, została też uznana przez uczestników badania za najmniej satysfakcjonujący sposób wyrażania opinii na temat istotności kryteriów. Żadna z osób biorących udział w badaniu nie wymieniła jako metody najmniej satysfakcjonującej podejścia polegającego na ustaleniu wag w sposób arbitralny.

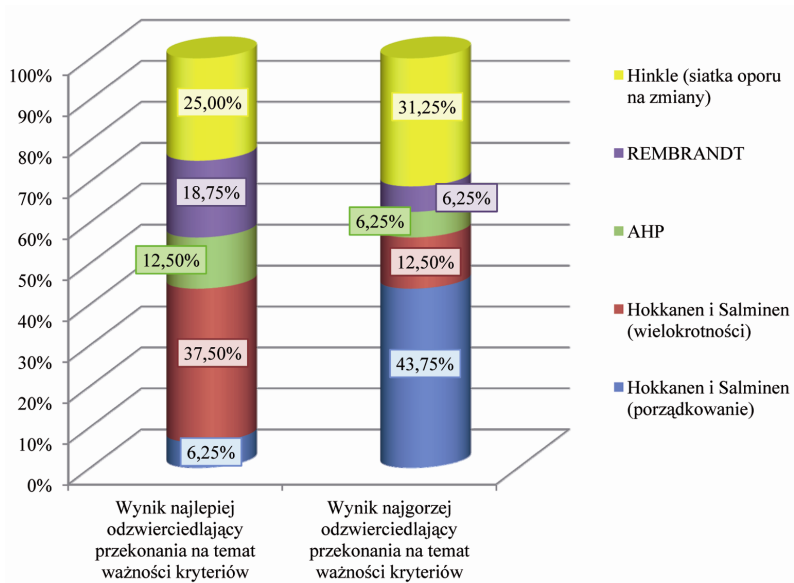


Rys. 3. Procentowy udział wskazań na daną metodę

Źródło: opracowanie własne.

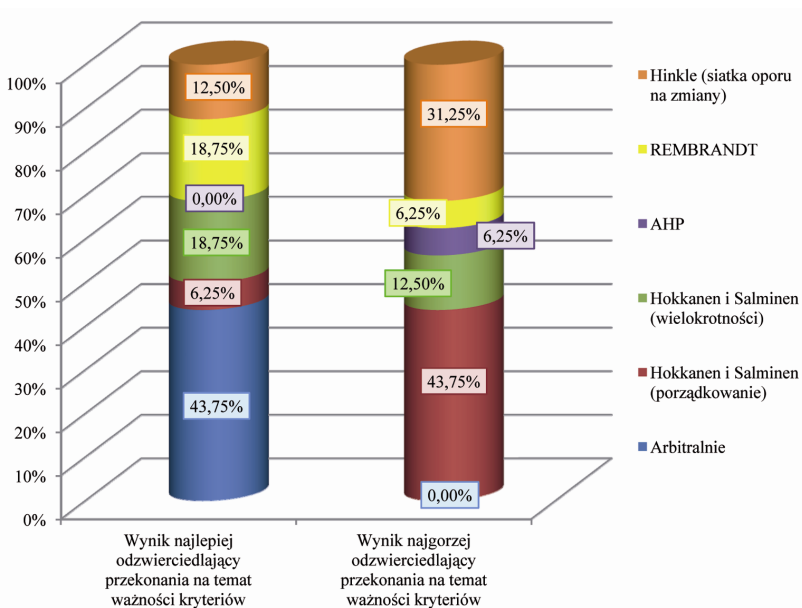
Mając do wyboru wektory wag uzyskane za pomocą pięciu metod, respondenci uznali, że najlepiej odzwierciedlają ich przekonania współczynniki wagowe otrzymane za pomocą wersji nr 2 metody Hokkanena i Salminena (37,5% wskazań) oraz te uzyskane dzięki wykorzystaniu siatki „oporu na zmiany” (25% wskazań). W opinii respondentów najgorzej odzwierciedlającymi ich preferencje wagami były wagi uzyskane za pomocą wersji nr 1 metody Hokkanena i Salminena (43,75% wskazań), a w następnej kolejności – wagi obliczone za pomocą metody Hinkle'a.

W momencie gdy do rozpatrywanych zestawów wag dla kryteriów dołączył wektor uzyskany poprzez arbitralne określenie współczynników wagowych, sytuacja uległa zmianie: aż 43,75% respondentów uznało, że jest on tym, który najlepiej



Rys. 4. Procentowy udział wskazań na daną metodę (5 metod do wyboru)

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 5. Procentowy udział wskazań na daną metodę (6 metod do wyboru)

Źródło: opracowanie własne.

odzwierciedla ich preferencje. Na następnych pozycjach uplasowały się wektory otrzymane za pomocą wersji nr 2 metody Hokkanena i Salminena i systemu REMBRANDT (po 18,75% wskazań) oraz siatki „oporu na zmiany” (12,5% wskazań). Żadna z przebadanych osób nie wskazała wag obliczonych za pomocą metody AHP jako tych, które najlepiej odzwierciedlają jej przekonania na temat istotności kryteriów.

Znajdująca się poniżej tabela 3 zawiera podsumowanie wyników przeprowadzonego badania w postaci rankingów rozpatrywanych metod określania wag dla kryteriów oceny wariantów.

Tabela 3. Rankingi rozpatrywanych metod określania wag dla kryteriów

Lp.	Metody	Najprostszy	Najtrudniejszy	Najbardziej	Najmniej	Najlepiej	Najgorzej	Wynik końcowy (suma rang)
		sposób wyrażenia opinii		satisfakcjonujący sposób wyrażenia opinii		odzwierciedlający przekonania wynik		
1	Arbitralnie	2	1,5	2	1	1	1	8,5
2	Hokkanen i Salminen (porządkowanie)	1	1,5	3	2	5	6	18,5
3	Hokkanen i Salminen (wielokrotności)	4,5	3	5	4	2,5	4	23
4	AHP	4,5	4,5	5	4	6	2,5	26,5
5	REMBRANDT	4,5	4,5	5	4	2,5	2,5	23
6	Hinkle (siatka „oporu na zmiany”)	4,5	6	1	6	4	5	26,5

Źródło: opracowanie własne.

6. Podsumowanie

Gdyby rekomendowany sposób ustalania wag dla kryteriów oceny wariantów w procesie decyzyjnym miał pozwalać na wyrażanie opinii na temat istotności kryteriów w sposób prosty i satisfakcjonujący decydenta oraz umożliwiać uzyskiwanie współczynników wagowych możliwie najlepiej odzwierciedlających jego opinie, to – zgodnie z brzytwą Ockhama oraz zamieszczoną powyżej tabelą 3 – powinniśmy rozważyć wybranie do tego celu podejścia polegającego na określeniu wag w sposób arbitralny. Biorąc jednak pod uwagę, że metoda wykorzystywana do określania wag dla kryteriów oceny wariantów powinna być przyjazna dla swoich użytkowników i ugruntowana metodologicznie, a uzyskane dzięki niej współczynniki wagowe powinny być powiązane z odczuwaną przez decydenta relatywną istotnością kryteriów, należałoby się zastanowić nad nieco innym rozwiązaniem.

Na podstawie przeprowadzonej analizy porównawczej rozpatrywanych metod oraz opisanego w pracy badania proponowany jest następujący sposób postępowania:

- określenie wag dla kryteriów za pomocą zmodyfikowanej procedury Simosa bądź też ewentualnie obu wersji metody Hokkanena i Salminena (w przypadku gdyby wykorzystanie procedury Simosa nie było możliwe, np. ze względu na brak bezpośredniego kontaktu z decydentami), dzięki czemu utworzona zostanie (co najmniej) hierarchia kryteriów;
- wyliczenie współczynników wagowych w oparciu o posiadającą silne podstawy psychologiczne metodę Hinkle'a, charakteryzującą się jednocześnie prostotą i zrozumiałością wykonywanych obliczeń;
- porównanie uzyskanych wyników i ustalenie na ich podstawie wartości wag dla kryteriów w sposób arbitralny.

Zrealizowanie trzech wymienionych kroków pozwoli spełnić wszystkie oczekiwania sformułowane w stosunku do sposobu określania wag dla kryteriów: będzie on prosty, zrozumiały, satysfakcjonujący dla decydentów i uzasadniony metodologicznie. Otrzymane dzięki niemu różne wektory wag będzie można wykorzystać w analizie odporności rozwiązań. Podstawowym mankamentem rekomendowanej metody będzie wydłużenie czasu dochodzenia do rozwiązania w postaci współczynników wagowych dla kryteriów.

Literatura

- Aldian A., Taylor M.A.P. [2005], *A consistent method to determine flexible criteria weights for multicriteria transport project evaluation in developing countries*, "Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies", vol. 6.
- Bodin L., Gass S.I. [2003], *On teaching the analytic hierarchy process*, "Computers & Operations Research", vol. 30, issue 10.
- Figueira J., Roy B. [2002], *Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure*, "European Journal of Operational Research", vol. 139, issue 2.
- Hinkle D. [1965], *The change of personal constructs from the viewpoint of a theory of construct implications*, Ph.D. Dissertation, Ohio State University, Ohio.
- Hokkanen J., Salminen P. [1994], *The choice of a solid waste management system by using the ELECTRE III decision-aid method*, [w:] *Applying Multiple Criteria Aid for Decision to Environmental Management*, ed. M. Paruccini, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Hokkanen J., Salminen P. [1997], *Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis*, "European Journal of Operational Research", vol. 98, issue 1.
- Kozielecki J. [2000], *Koncepcje psychologiczne człowieka*, Wyd. Akademickie „Żak”, Warszawa.
- Kelly G.A. [1955], *The Psychology of Personal Constructs*, vol. 1 and 2, Norton, New York.
- Lootsma F.A. [1993], *Scale sensitivity in the Multiplicative AHP and SMART*, "Journal of Multi-Criteria Decision Analysis", vol. 2, issue 2.
- Lootsma F.A. [1992], *The REMBRANDT system for multi-criteria decision analysis via pairwise comparisons or direct rating*, Report 92-05, Faculty of Technical Mathematics and Informatics, Delft University of Technology, Delft.
- Lootsma F.A., Mensch T.C.A., Vos F.A. [1990], *Multi-criteria analysis and budget reallocation in long-term research planning*, "European Journal of Operational Research", vol. 47.

- Maystre L., Pictet J., Simos J. [1994], *Méthodes multicritères ELECTRE – Description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- Mousseau V. [1995], *Eliciting information concerning the relative importance of criteria*, [w:] *Advances in Multicriteria Analysis*, eds. P.M. Pardalos, Y. Siskos, C. Zopounidis, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Olson D.L., Flidner G., Currie K. [1995], *Comparison of the REMBRANDT system with Analytic Hierarchy Process*, “European Journal of Operational Research”, vol. 82, issue 3.
- Rogers M., Bruen M. [1998], *A new system for weighting environmental criteria for use within ELECTRE III*, “European Journal of Operational Research”, vol. 107, issue 3.
- Saaty T.L. [1980], *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.
- Saaty T.L. [2005], *The Analytic Hierarchy and Analytic Network Process for the Measurement of Intangible Criteria and for Decision Making*, [w:] *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, eds. J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott, Springer, New York.
- Saaty T.L. [2006], *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*, vol. VI of the AHP Series, RWS Publications, Pittsburgh.
- Saaty T.L., Vargas L.G. [1991], *The Logic of Priorities. Applications of the Analytic Hierarchy Process in Business, Energy, Health & Transportation*, vol. III of the AHP Series, RWS Publications, Pittsburgh.
- Simos J. [1990a], *Evaluer l'impact sur l'environnement: Une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne.
- Simos J. [1990b], *L'évaluation environnementale: Un processus cognitif négocié. Thèse de doctorat*, DGF-EPFL, Lausanne.
- Trzaskalik T. (red.) [2006], *Metody wielokryterialne na polskim rynku finansowym*, PWE, Warszawa.
- Vincke P. [1992], *Multicriteria Decision Aid*, Wiley, Chichester.
- Zhang Q., Chen J.C.H., Chong P.P. [2004], *Decision consolidation: criteria weight determination using multiple preference formats*, “Decision Support Systems”, vol. 38, issue 2.

COMPARISON OF CHOSEN METHODS FOR DETERMINING THE WEIGHTS OF CRITERIA FOR EVALUATING DECISION VARIANTS

Summary: Criteria weights determination is one of the crucial elements of the process of multi-criteria decision aiding. Weights for the criteria can be obtained by using many different methods, for example: Hokkanen and Salminen's procedure, Simos' procedure or its revised version, Mousseau's method, Hinkle's 'resistance to change' grid based on the Personal Construct Theory of Kelly, analytic hierarchy process (AHP) or the REMBRANDT system. In addition to the description and comparative analysis of the aforementioned methods, the results of the research concerning the preferences of the participants of the decision-making process towards the use of the selected techniques for determining the criteria weights are presented in the paper.

Keywords: multi-criteria decision aiding, criteria weights determination, decision-makers' preferences.