

# PRACE NAUKOWE

Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu

# RESEARCH PAPERS

of Wrocław University of Economics

Nr 426

**Taksonomia 26**

**Klasyfikacja i analiza danych –  
teoria i zastosowania**



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu  
Wrocław 2016

Redaktor Wydawnictwa: Agnieszka Flasińska

Redaktor techniczny: Barbara Łopusiewicz

Korektor: Barbara Cibis

Łamanie: Beata Mazur

Projekt okładki: Beata Dębska

Tytuł dofinansowany ze środków Narodowego Banku Polskiego  
oraz ze środków Sekcji Klasyfikacji i Analizy Danych PTS

Informacje o naborze artykułów i zasadach recenzowania  
znajdują się na stronach internetowych  
[www.pracnaukowe.ue.wroc.pl](http://www.pracnaukowe.ue.wroc.pl)  
[www.wydawnictwo.ue.wroc.pl](http://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** (Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu)  
**e-ISSN 2392-0041**  
**ISSN 1505-9332** (Taksonomia)

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](mailto:econbook@ue.wroc.pl)  
[www.ksiegarnia.ue.wroc.pl](http://www.ksiegarnia.ue.wroc.pl)

Druk i oprawa: TOTEM

## Spis treści

<b>Wstęp</b> .....	9
<b>Jacek Batóg:</b> Identyfikacja obserwacji odstających w analizie skupień / Influence of outliers on results of cluster analysis .....	13
<b>Andrzej Bąk:</b> Porządkowanie liniowe obiektów metodą Hellwiga i TOPSIS – analiza porównawcza / Linear ordering of objects using Hellwig and TOPSIS methods – a comparative analysis.....	22
<b>Grażyna Dehnel:</b> <i>MM</i> -estymacja w badaniu średnich przedsiębiorstw w Polsce / <i>MM</i> -estimation in the medium-sized enterprises survey in Poland.....	32
<b>Andrzej Dudek:</b> <i>Social network analysis</i> jako gałąź wielowymiarowej analizy statystycznej / Social network analysis as a branch of multidimensional statistical analysis.....	42
<b>Iwona Foryś:</b> Analiza dyskryminacyjna w wyborze obiektów podobnych w procesie szacowania nieruchomości / The discriminant analysis in selection of similar objects in the real estate valuation process .....	51
<b>Gregory Kersten, Ewa Roszkowska, Tomasz Wachowicz:</b> Ocena zgodności porządkowej systemu oceny ofert negocjatora z informacją preferencyjną / Analyzing the ordinal concordance of preferential information and resulting scoring system in negotiations.....	60
<b>Iwona Konarzewska:</b> Rankingi wielokryteriowe a współzależność liniowa kryteriów / Multi-criteria rankings and linear relationships among criteria .....	69
<b>Anna Król, Marta Targaszewska:</b> Zastosowanie klasyfikacji do wyodrębniania homogenicznych grup dóbr w modelowaniu hedonicznym / The application of classification in distinguishing homogeneous groups of goods for hedonic modelling.....	80
<b>Marek Lubicz:</b> Problemy doboru zmiennych objaśniających w klasyfikacji danych medycznych / Feature selection and its impact on classifier effectiveness – case study for medical data.....	89
<b>Aleksandra Łuczak:</b> Wpływ różnych sposobów agregacji opinii ekspertów w FAHP na oceny priorytetowych czynników rozwoju / Influence of different methods of the expert judgments aggregation on assessment of priorities for evaluation of development factors in FAHP.....	99
<b>Iwona Markowicz:</b> Tablice trwania firm w województwie zachodniopomorskim według rodzaju działalności / Companies duration tables in Zachodniopomorskie voivodship by the type of activity .....	108

<b>Małgorzata Markowska, Danuta Strahl:</b> Filary inteligentnego rozwoju a wrażliwość unijnych regionów szczebla NUTS 2 na kryzys ekonomiczny – analiza wielowymiarowa / Smart development pillars and NUTS 2 European regions vulnerability to economic crisis – a multidimensional analysis.....	118
<b>Kamila Migdał-Najman, Krzysztof Najman:</b> Hierarchiczne deglomeracyjne sieci SOM w analizie skupień / The hierarchical divisive SOM in the cluster analysis .....	130
<b>Kamila Migdał-Najman, Krzysztof Najman:</b> Hierarchiczne aglomeracyjne sieci SOM w analizie skupień / The hierarchical agglomerative SOM in the cluster analysis .....	139
<b>Barbara Pawelek, Józef Pocięcha, Jadwiga Kostrzewska, Mateusz Baryła, Artur Lipieta:</b> Problem wartości odstających w prognozowaniu zagrożenia upadłością przedsiębiorstw (na przykładzie przetwórstwa przemysłowego w Polsce) / Problem of outliers in corporate bankruptcy prediction (case of manufacturing companies in Poland) .....	148
<b>Wojciech Roszka:</b> Syntetyczne źródła danych w analizie przestrzennego zróżnicowania ubóstwa / Synthetic data sources in spatial poverty analysis.....	157
<b>Małgorzata Rószkiewicz:</b> Czynniki różnicujące efektywność pracy ankietera w wywiadach <i>face-to-face</i> w środowisku polskich gospodarstw domowych / Factors affecting the efficiency of face-to-face interviews with Polish households.....	166
<b>Adam Sagan, Marcin Pelka:</b> Analiza wielopoziomowa z wykorzystaniem danych symbolicznych / Multilevel analysis with application of symbolic data .....	174
<b>Marcin Salamaga:</b> Zastosowanie drzew dyskryminacyjnych w identyfikacji czynników wspomagających wybór kraju alokacji bezpośrednich inwestycji zagranicznych na przykładzie polskich firm / The use of classification trees in the identification of factors supporting the choice of FDI destination on the example of Polish companies.....	185
<b>Agnieszka Stanimir:</b> Pomiar wykluczenia cyfrowego – zagrożenia dla Pokolenia Y / Measurement of the digital divide – risks for Generation Y ...	194
<b>Mirosława Sztemberg-Lewandowska:</b> Grupowanie danych funkcjonalnych w analizie poziomu wiedzy maturzystów / Functional data clustering methods in the analysis of high school graduates' knowledge .....	206
<b>Tadeusz Trzaskalik:</b> Modelowanie preferencji w wielokryterialnych dyskretnych problemach decyzyjnych – przegląd bibliografii / Preference modeling in multi-criteria discrete decision making problems – review of literature .....	214

---

<b>Joanna Trzęsiok:</b> Metody nieparametryczne w badaniu zaufania do instytucji finansowych / Nonparametric methods in the study of confidence in financial institutions .....	226
<b>Hanna Wdowicka:</b> Analiza sytuacji na lokalnych rynkach pracy w Polsce / Local labour market analysis in Poland.....	235
<b>Artur Zaborski:</b> Zastosowanie skalowania dynamicznego oraz metody wektorów dryfu do badania zmian w preferencjach / The use of dynamic scaling and the drift vector method for studying changes in the preferences.....	245

## Wstęp

W dniach 14–16 września 2015 r. w Hotelu Novotel Gdańsk Marina w Gdańsku odbyła się XXIV Konferencja Naukowa Sekcji Klasyfikacji i Analizy Danych PTS (XXIX Konferencja Taksonomiczna) „Klasyfikacja i analiza danych – teoria i zastosowania”, zorganizowana przez Sekcję Klasyfikacji i Analizy Danych Polskiego Towarzystwa Statystycznego oraz Katedrę Statystyki Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Gdańskiego. Przewodniczącymi Komitetu Organizacyjnego konferencji byli prof. dr hab. Mirosław Szreder oraz dr hab. Krzysztof Najman, prof. nadzw. UG, sekretarzami naukowymi dr hab. Kamila Migdał-Najman, prof. nadzw. UG oraz dr hab. Anna Zamojska, prof. nadzw. UG, a sekretarzem organizacyjnym Anna Nowicka z Fundacji Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego.

Konferencja Naukowa została dofinansowana ze środków Narodowego Banku Polskiego.

Zakres tematyczny konferencji obejmował takie zagadnienia, jak:

a) teoria (taksonomia, analiza dyskryminacyjna, metody porządkowania liniowego, metody statystycznej analizy wielowymiarowej, metody analizy zmiennych ciągłych, metody analizy zmiennych dyskretnych, metody analizy danych symbolicznych, metody graficzne),

b) zastosowania (analiza danych finansowych, analiza danych marketingowych, analiza danych przestrzennych, inne zastosowania analizy danych – medycyna, psychologia, archeologia, itd., aplikacje komputerowe metod statystycznych).

Zasadniczymi celami konferencji SKAD były prezentacja osiągnięć i wymiana doświadczeń z zakresu teoretycznych i aplikacyjnych zagadnień klasyfikacji i analizy danych. Konferencja stanowi coroczne forum służące podsumowaniu obecnego stanu wiedzy, przedstawieniu i promocji dokonań nowatorskich oraz wskazaniu kierunków dalszych prac i badań.

W konferencji wzięło udział 81 osób. Byli to pracownicy oraz doktoranci następujących uczelni i instytucji: AGH w Krakowie, Politechniki Łódzkiej, Politechniki Gdańskiej, Politechniki Opolskiej, Politechniki Wrocławskiej, Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Uniwersytetu Gdańskiego, Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, Uniwersytetu Łódzkiego, Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Uniwersytetu Szczecińskiego, Uniwer-

sytetu w Białymstoku, Wyższej Szkoły Bankowej w Toruniu, a także przedstawiciele NBP i PBS Sp. z o.o.

W trakcie dwóch sesji plenarnych oraz trzynastu sesji równoległych wygłoszono 58 referatów poświęconych aspektom teoretycznym i aplikacyjnym zagadnienia klasyfikacji i analizy danych. Odbyła się również sesja plakatowa, na której zaprezentowano 14 plakatów. Obradom w poszczególnych sesjach konferencji przewodniczyli profesorowie: Józef Pocięcha, Eugeniusz Gatnar, Tadeusz Trzaskalik, Krzysztof Jajuga, Marek Walesiak, Barbara Pawełek, Feliks Wysocki, Ewa Roszkowska, Andrzej Sokołowski, Andrzej Bąk, Tadeusz Kufel, Mirosław Krzyśko, Krzysztof Najman, Małgorzata Rószkiewicz, Mirosław Szreder.

Teksty 25 recenzowanych artykułów naukowych stanowią zawartość prezentowanej publikacji z serii „Taksonomia” nr 26. Pozostałe recenzowane artykuły znajdują się w „Taksonomii” nr 27.

W pierwszym dniu konferencji odbyło się posiedzenie członków Sekcji Klasyfikacji i Analizy Danych Polskiego Towarzystwa Statystycznego, któremu przewodniczył prof. dr hab. Józef Pocięcha. Ustalono plan przebiegu zebrania obejmujący następujące punkty:

- A. Sprawozdanie z działalności Sekcji Klasyfikacji i Analizy Danych PTS.
- B. Informacje dotyczące planowanych konferencji krajowych i zagranicznych.
- C. Organizacja konferencji SKAD PTS w latach 2016 i 2017.
- D. Wybór przedstawiciela Rady Sekcji SKAD PTS do IFCS.
- E. Dyskusja nad kierunkami rozwoju działalności Sekcji.

Prof. dr hab. Józef Pocięcha otworzył posiedzenie Sekcji SKAD PTS. Sprawozdanie z działalności Sekcji Klasyfikacji i Analizy Danych PTS przedstawiła sekretarz naukowy Sekcji dr hab. Barbara Pawełek, prof. nadzw. UEK. Poinformowała, że obecnie Sekcja liczy 231 członków. Przypomniała, że na stronie internetowej Sekcji znajdują się regulamin, a także deklaracja członkowska. Poinformowała, że zostały opublikowane zeszyty z serii „Taksonomia” nr 24 i 25 (PN UE we Wrocławiu nr 384 i 385). W „Przeglądzie Statystycznym” (zeszyt 4/2014) ukazało się sprawozdanie z ubiegłorocznej konferencji SKAD, która odbyła się w Międzyzdrojach, w dniach 8–10 września 2014 r. Prof. Barbara Pawełek przedstawiła także informacje dotyczące działalności międzynarodowej oraz udziału w ważnych konferencjach członków i sympatyków SKAD.

W konferencji Międzynarodowego Stowarzyszenia Towarzystw Klasyfikacyjnych (IFCS – International Federation of Classification Societies) w dniach 6–8 lipca 2015 r. w Bolonii, zorganizowanej przez Università di Bologna, udział wzięło 19 osób z Polski (w tym 17 członków Sekcji), które wygłosiły 15 referatów (wkład członków SKAD – 79,0%). Ponadto prof. Józef Pocięcha był członkiem Komitetu Naukowego Konferencji z ramienia SKAD, członkiem Międzynarodowego Komitetu Nagród IFCS oraz organizatorem i przewodniczącym sesji nt. „Classification models for forecasting of economic processes”.

W konferencji „European Conference on Data Analysis” (Colchester, 2–4 września 2015 r.) zorganizowanej przez The German Classification Society (GfKI) we współpracy z The British Classification Society (BCS) i Sekcją Klasyfikacji i Analizy Danych PTS (SKAD) udział wzięło 18 osób z Polski (w tym 14 członków Sekcji), które wygłosiły 15 referatów (wkład członków SKAD – 66,0%). Ponadto profesorowie Krzysztof Jajuga oraz Józef Pociecha byli członkami Komitetu Naukowego konferencji, prof. Andrzej Dudek został poproszony przez organizatorów o przygotowanie referatu i wygłoszenie na Sesji Plenarnej „Cluster analysis in XXI century, new methods and tendencies”, prof. Krzysztof Jajuga był przewodniczącym sesji plenarnej, przewodniczącym sesji nt. „Finance and economics II” oraz organizatorem i przewodniczącym sesji nt. „Data analysis in finance”, prof. Józef Pociecha był organizatorem i przewodniczącym sesji nt. „Outliers in classification procedures – theory and practice”, prof. Andrzej Dudek był przewodniczącym sesji nt. „Machine learning and knowledge discovery II”.

Kolejny punkt posiedzenia Sekcji obejmował zapowiedzi najbliższych konferencji krajowych i zagranicznych, których tematyka jest zgodna z profilem Sekcji. Prof. dr hab. Józef Pociecha poinformował o dwóch wybranych konferencjach krajowych (były to XXXIV Konferencja Naukowa „Multivariate Statistical Analysis MSA 2015”, Łódź, 16–18 listopada 2015 r. i X Międzynarodowa Konferencja Naukowa im. Profesora Aleksandra Zeliasia nt. „Modelowanie i prognozowanie zjawisk społeczno-gospodarczych”, Zakopane, 10–13 maja 2016 r.) oraz o trzech wybranych konferencjach zagranicznych. Konferencja „European Conference on Data Analysis” odbędzie się na Uniwersytecie Ekonomicznym we Wrocławiu w dniach 26–28 września 2017 r. W przeddzień tej konferencji, tj. 25.09.2017 r., odbędzie się Niemiecko-Polskie Sympozjum nt. „Analizy danych i jej zastosowań GPSDAA 2017”. Następna konferencja Międzynarodowego Stowarzyszenia Towarzystw Klasyfikacyjnych (IFCS) odbędzie się w 2017 r. w Tokio. W 2019 r. Niemiecko-Polskie Sympozjum nt. „Analizy danych i jej zastosowań GPSDAA 2019” organizuje prof. Andreas Geyer-Schultz w Karlsruhe.

W następnym punkcie posiedzenia podjęto kwestię organizacji kolejnych konferencji SKAD. SKAD 2016 zorganizuje Katedra Metod Statystycznych Wydziału Ekonomiczno-Socjologicznego Uniwersytetu Łódzkiego.

W kolejnej części zebrania dokonano wyboru przedstawiciela Rady Sekcji SKAD PTS do IFCS na kadencję 2016–2019. Powołano Komisję Skrutacyjną, której przewodniczącym został prof. Tadeusz Kufel, a członkami dr hab. Iwona Konarzewska i dr Dominik Rozkrut. Profesor Józef Pociecha poprosił zebranych o proponowanie kandydatur zgłaszając jednocześnie prof. Andrzeja Sokołowskiego. Wobec braku następnych kandydatur listę zamknięto. Komisja Skrutacyjna przeprowadziła głosowanie tajne. W głosowaniu uczestniczyło 41 członków Sekcji. Profesor Andrzej Sokołowski został przedstawicielem Rady Sekcji SKAD PTS do



IFCS na kadencję 2016–2019, uzyskując następujący wynik: 39 głosów na „tak”, 1 głos na „nie”, 1 głos był nieważny.

W ostatnim punkcie zebrania dyskutowano nad kierunkami rozwoju działalności Sekcji obejmującymi następujące problemy: udział w międzynarodowym ruchu naukowym (wspólne granty, publikacje), umiędzynarodowienie konferencji SKAD (uczestnicy zagraniczni, dwujęzyczność konferencji), wydawanie własnego czasopisma.

Profesor Józef Pociecha zamknął posiedzenie Sekcji SKAD.

*Krzysztof Jajuga, Marek Walesiak*

**Aleksandra Łuczak**

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
e-mail: [luczak@up.poznan.pl](mailto:luczak@up.poznan.pl)

---

## WPLYW RÓŻNYCH SPOSOBÓW AGREGACJI OPINII EKSPERTÓW W FAHP NA OCENY PRIORYTETOWYCH CZYNNIKÓW ROZWOJU

## INFLUENCE OF DIFFERENT METHODS OF THE EXPERT JUDGMENTS AGGREGATION ON ASSESSMENT OF PRIORITIES FOR EVALUATION OF DEVELOPMENT FACTORS IN FAHP

---

DOI: 10.15611/pn.2016.426.10

**Streszczenie:** Rozmyty analityczny proces hierarchiczny (*Fuzzy Analytic Hierarchy Process* – FAHP) jest metodą służącą do określenia ważności priorytetowych czynników rozwoju jednostek samorządu terytorialnego. W metodzie tej konstruowany jest schemat hierarchiczny obejmujący priorytetowe czynniki. Następnie czynniki te oceniane są parami przez ekspertów i agregowane. Agregacja informacji uzyskanych od ekspertów może zostać przeprowadzona różnymi sposobami. W pracy porównano trzy główne podejścia dotyczące agregacji ocen parami priorytetowych czynników rozwoju dokonanych przez ekspertów. Celem pracy jest porównanie różnych sposobów agregacji opinii ekspertów i ich wpływu na oceny priorytetowych czynników rozwoju – wartości priorytetów globalnych. Proponowane podejścia zostały zastosowane do oceny priorytetowych czynników rozwoju w gminie Kleszczewo w województwie wielkopolskim w 2014 r.

**Słowa kluczowe:** rozmyty analityczny proces hierarchiczny (FAHP), oceny ekspertów.

**Summary:** Fuzzy analytical hierarchical process (FAHP) allows us to quantify the priority factors of development in local administrative units (LAU). In this method, the scheme of the priority factors influencing the development of LAU is constructed. Then factors are compared pairwise by experts and aggregated. The aggregation of the information obtained from the experts may be carried out in various ways. The study compares three major approaches. The study aims at comparing different methods of aggregation of the experts' opinions and their impact on the assessment of priority development factors – the value of global priorities. The proposed approach has been used to assess the priority factors of development in Kleszczewo municipality in Wielkopolskie voivodship in 2014.

**Keywords:** Fuzzy analytical hierarchical process (FAHP), expert judgments.

## 1. Wstęp

Rozmyty analityczny proces hierarchiczny (*Fuzzy Analytic Hierarchy Process* – FAHP) pozwala kwantyfikować priorytetowe czynniki rozwoju jednostek samorządu terytorialnego [Łuczak, Wysocki 2011]. W metodzie tej konstruowany jest schemat czynników, które wywierają wpływ na rozwój jednostki samorządu terytorialnego. Następnie czynniki te oceniane są parami przez ekspertów i agregowane [Chang 1996]. Oceny są dokonywane przez ekspertów za pomocą słów, czyli wielkości jakościowych, które są bardziej realistyczne, jednak mniej precyzyjne niż wartości ilościowe. Nieprecyzyjność tych ocen wynika z subiektywnej oceny grupy ekspertów, co prowadzi do zbioru rozmytych ocen. Agregacja informacji uzyskanych od ekspertów może zostać przeprowadzona różnymi sposobami. W pracy porównano trzy główne podejścia dotyczące agregacji ocen parami priorytetowych czynników rozwoju dokonanych przez ekspertów (zob. [Escobar, Moreno-Jiménez 2007]). Celem pracy jest porównanie różnych sposobów agregacji (uśredniania) opinii ekspertów i ich wpływu na oceny priorytetowych czynników rozwoju – wartości priorytetów globalnych. Proponowane podejścia zostały zastosowane do oceny priorytetowych czynników rozwoju w gminie Kleszczewo w województwie wielkopolskim w 2014 r.

## 2. Metodyka badań

W procedurze rozmytego analitycznego procesu hierarchicznego (FAHP) można wyróżnić następujące etapy postępowania [Chang 1996; Wang, Luo, Hua 2008; Łuczak, Wysocki 2011]:

Etap 1. Budowa hierarchicznego schematu czynników, które wywierają wpływ na rozwój jednostki samorządu terytorialnego.

Etap 2. Porównania parami ważności czynników.

Etap 3. Sprawdzenie zgodności porównań.

Etap 4. Obliczenie wartości priorytetów lokalnych i globalnych.

Etap 1 polega na konstrukcji struktury hierarchicznej, która obejmuje najistotniejsze czynniki: cel główny, cele podrzędne i zadania. Na etapie 2 dokonuje się porównań parami celów podrzędnych w ramach celu głównego oraz zadań w ramach celów podrzędnych z wykorzystaniem 9-stopniowej skali porównań (tab. 1).

Wyniki porównań zestawia się w postaci rozmytych macierzy porównań parami<sup>1</sup>  $\tilde{\mathbf{A}}_j$ :

---

<sup>1</sup> Maksymalny rozmiar macierzy porównań nie powinien przekraczać  $n = 9$ , gdyż jest to związane z możliwościami zapamiętywania informacji przez człowieka, które są ograniczone. W celu ograniczenia możliwości popełnienia istotnych błędów człowiek może jednocześnie porównywać maksymalnie od 5 do 9 elementów [Miller 1956].

$$\tilde{\mathbf{A}}_j = [\tilde{a}_{jkg}] = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (l_{j12}, m_{j12}, u_{j12}) & \dots & (l_{j1p_j}, m_{j1p_j}, u_{j1p_j}) \\ \frac{(1,1,1)}{(l_{j12}, m_{j12}, u_{j12})} & (1,1,1) & \dots & (l_{j2p_j}, m_{j2p_j}, u_{j2p_j}) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{(1,1,1)}{(l_{j1p_j}, m_{j1p_j}, u_{j1p_j})} & \frac{(1,1,1)}{(l_{j2p_j}, m_{j2p_j}, u_{j2p_j})} & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix},$$

gdzie  $\tilde{a}_{jkg} = (l_{jkg}, m_{jkg}, u_{jkg})$  i  $\tilde{a}_{jkg}^{-1} = \tilde{a}_{jgk} = (1/u_{jkg}, 1/m_{jkg}, 1/l_{jkg})$ ,  $k, g = 1, 2, \dots, p_j$ ,  $p_j$  jest liczbą zadań w ramach  $j$ -tego celu podrzędnego ( $j = 2, \dots, n$ ) oraz liczbą celów podrzędnych w ramach celu głównego ( $j = 1$ ),  $k \neq g$ ,  $\tilde{a}_{jkg}$  są ocenami uzyskanymi z porównań parami zadań (celów podrzędnych) w ramach  $j$ -tego celu podrzędnego (celu głównego), oceny te uzyskiwane są od ekspertów lub są średnimi z ocen grupy ekspertów.

**Tabela 1.** Dziewięciostopniowa skala preferencji między dwoma porównywanymi elementami według Saaty'ego

Przewaga ważności jednego czynnika nad drugim	Preferencje opisane słownie	Siła przewagi ważności	
		klasyczna	rozmyta
Równoważność	oba czynniki przyczyniają się równo do osiągnięcia celu	1	$\tilde{1} = (1, 1, 1)$
Słaba lub umiarkowana	nieprzekonywujące znaczenie lub słaba preferencja jednego czynnika nad drugim	3	$\tilde{3} = (1, 3, 5)$
Istotna, zasadnicza, mocna	zasadnicze lub mocne znaczenie lub mocna preferencja jednego czynnika nad innymi	5	$\tilde{5} = (3, 5, 7)$
Zdecydowana lub bardzo mocna	zdecydowane znaczenie lub bardzo mocna preferencja jednego czynnika nad innym	7	$\tilde{7} = (5, 7, 9)$
Absolutna	absolutne znaczenie lub absolutna preferencja jednego czynnika nad innym	9	$\tilde{9} = (7, 9, 9)$
Dla porównań kompromisowych pomiędzy powyższymi wartościami	pośrednie wartości między dwoma sąsiednimi ocenami	2, 4, 6 i 8	$\tilde{2} = (1, 2, 4);$ $\tilde{4} = (2, 4, 6);$ $\tilde{6} = (4, 6, 8);$ $\tilde{8} = (6, 8, 9)$
Przechodniość ocen	jeżeli $i$ -ty czynnik ma jeden z powyższych stopni podczas porównania do $j$ -tego czynnika, wtedy $j$ -ty czynnik ma odwrotną wartość, gdy porównuje się do $i$ -tego	odwrotności powyższych wartości	odwrotności powyższych wartości

Źródło: [Saaty 1980; Wang, Cheng, Kun-Cheng 2009].

W pracy rozważane są trzy podejścia związane z agregacją ocen:

- indywidualne oceny ekspertów zostają przekształcone na liczby rozmyte i uśrednione za pomocą rozmytej średniej geometrycznej<sup>2</sup>, a na ich podstawie oblicza się priorytety globalne (podejście I),
- na podstawie ocen ekspertów wyrażonych za pomocą klasycznej skali Saaty'ego dla każdej pary porównywanych czynników tworzy się liczbę rozmytą przyjmując za pierwszy parametr minimalną wartość ze wszystkich ocen ekspertów, drugi – wartość średniej geometrycznej lub mediany, a trzeci – maksymalną wartość; liczby rozmyte są podstawą do obliczenia priorytetów globalnych (podejście II),
- indywidualne oceny ekspertów zostają przekształcone na liczby rozmyte według 9-stopniowej skali, a następnie dla każdego eksperta indywidualnie oblicza się wartości priorytetów globalnych, które następnie zostają uśrednione (podejście III).

Etap 3 to sprawdzenie zgodności porównań. W tym celu oblicza się wskaźnik niezgodności  $CR$ , który określa stopień, w jakim wzajemne porównania ważności charakterystyk są niezgodne (zob. [Saaty 1980]).

Na etapie 4 oblicza się wartości priorytetów lokalnych i globalnych. Na początku tego etapu następuje sumowanie elementów każdego wiersza rozmytej macierzy porównań  $\tilde{\mathbf{A}}_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) i normalizuje się sumy wierszowe za pomocą operacji na liczbach rozmytych (zob. [Łuczak, Wysocki 2011]):

$$\tilde{Q}_{jk} = (l_{jk}, m_{jk}, u_{jk}) = \sum_{g=1}^{p_j} (l_{jkg}, m_{jkg}, u_{jkg}) \otimes \left[ \sum_{k=1}^{p_j} \sum_{g=1}^{p_j} (l_{jkg}, m_{jkg}, u_{jkg}) \right]^{-1},$$

$$j = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots, p_j.$$

Następnie oblicza się stopnie możliwości takie, że  $\tilde{Q}_{jk} \geq \tilde{Q}_{jg}$  ( $k, g = 1, 2, \dots, p_j, k \neq g$ ), za pomocą następującego równania:

$$V(\tilde{Q}_{jk} \geq \tilde{Q}_{jg}) = \begin{cases} 1, & \text{dla } m_{jk} \geq m_{jg} \\ 0, & \text{dla } l_{jg} \geq u_{jk} \\ (l_{jg} - u_{jk}) / ((m_{jk} - u_{jk}) - (m_{jg} - l_{jg})), & \text{w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

oraz dokonuje wyboru minimalnych wartości z powyższych wartości  $w_{jk}^{(s)} = \min V(\tilde{Q}_{jk} \geq \tilde{Q}_{jg})$ , gdzie:  $w_{jk}^{(s)}$  są liczbami rzeczywistymi.

<sup>2</sup> Do agregacji indywidualnych ocen ekspertów najczęściej wykorzystuje się średnią geometryczną, gdyż zastosowanie jej spełnia kilka wymaganych aksjomatów (zob. [Saaty, Peniwati 2008]).

W kolejnym kroku normalizuje się  $w_{jk}^{(s)}$  według formuły  $w_{jk}^{(l)} = w_{jk}^{(s)} / \sum_{k=1}^{P_j} w_{jk}^{(s)}$ , wtedy  $W_j^{(l)} = (w_{j1}^{(l)}, w_{j2}^{(l)}, \dots, w_{jP_j}^{(l)})^T$  są priorytetami lokalnymi dla celów podrzędnych i zadań. Na ich podstawie oblicza się globalne priorytety dla zadań mnożąc ich wartości lokalnych priorytetów przez wartości priorytetów dla odpowiednich celów podrzędnych  $w_{jk} = w_{jk}^{(l)} \cdot w_j$ . Przy tym  $\sum_{k=1}^{P_j} w_{jk} = w_j$ ,  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ .

### 3. Ocena poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego powiatów

Na podstawie wstępnie przeprowadzonej analizy SWOT oraz wyników badań ankietowych dokonano oceny możliwości rozwojowych gminy Kleszczewo [Lesińska 2014]. W pierwszym etapie utworzono strukturę hierarchiczną. Za cel główny przyjęto zapewnienie najlepszego zrównoważonego rozwoju społeczno-gospodarczego gminy Kleszczewo. Z kolei wyznaczone cele podrzędne dla gminy związane były z ochroną środowiska przyrodniczego, rozbudową infrastruktury technicznej, rozwojem infrastruktury społecznej, wspieraniem rozwoju gospodarki i poprawą jakości życia mieszkańców. Cele te są dość szeroko zarysowane i jednocześnie też trudne do osiągnięcia. Z tych powodów dla każdego celu podrzędnego określono pakiety zadań, których realizacja przyczyni się do osiągnięcia celów podrzędnych. Wyznaczone zadania strategiczne w ramach celów podrzędnych:

Cel I: Ochrona środowiska przyrodniczego (środowisko)<sup>3</sup>: zwiększenie lesistości gminy (lesistość), nowe nasadzenia na nowych osiedlach mieszkaniowych (nasadzenia), konserwacja urządzeń melioracyjnych (urządzenia melioracyjne), gospodarka odpadami (odpady).

Cel II: Rozbudowa i modernizacja infrastruktury społecznej (infrastruktura społeczna): utworzenie nowego oddziału przedszkolnego (przedszkole), podniesienie poziomu usług edukacyjnych (edukacja), rozbudowa zespołu szkół (zespół szkół), budowa ośrodka sportów wodnych (kompleks wypoczynkowy).

Cel III: Rozbudowa i modernizacja infrastruktury technicznej (infrastruktura techniczna): rozbudowa sieci kanalizacyjnej (sieć kanalizacyjna), rozbudowa sieci wodociągowej (sieć wodociągowa), poprawa stanu sieci drogowej (drogi), rozbudowa chodników i ścieżek rowerowych (ścieżki).

Cel IV: Rozwój gospodarki (gospodarka): rozwój usług agroturystycznych (agroturystyka), pobudzenie lokalnej przedsiębiorczości (przedsiębiorczość), stworzenie warunków do rozwoju przetwórstwa płodów rolnych (warunki dla przetwórstwa), dokształcanie rolników (dokształcanie).

<sup>3</sup> W nawiasach podano hasła, które będą używane w dalszej części pracy.

Cel V: Podniesienie jakości życia mieszkańców (jakość życia): utworzenie posterunku policji bądź rewiru dzielnicowych (posterunek policji), zmniejszenie bezrobocia (bezrobocie), zorganizowanie koła emerytów (koło emerytów), rozwój współpracy z gminami partnerskimi (współpraca).

Wyznaczona hierarchia celów i zadań była podstawą do oceny ich ważności przez ekspertów lokalnych – radnych powiatu poznańskiego. Dokonano oceny ważności celów podrzędnych w odniesieniu do celu głównego i zadań w ramach każdego z celów podrzędnych. Oceny dokonane w sposób jakościowy zostały przekształcone na liczby rozmyte według trzech proponowanych podejść i na ich podstawie wyznaczono wartości priorytetów globalnych dla celów podrzędnych i zadań (tab. 2 i 3).

**Tabela 2.** Ocena ważności celów podrzędnych dla gminy Kleszczewo

Podejścia		Cele					Wskaźnik niezgodności porównań CR (%)
		środowisko	infrastruktura społeczna	infrastruktura techniczna	gospodarka	jakość życia	
Podejście I		0,229	0,074	0,176	0,252	0,268	2,30
Podejście II		0,202	0,192	0,196	0,204	0,206	0,67
Podejście II <sup>a)</sup>		0,207	0,190	0,196	0,202	0,205	3,14
Podejście III <sup>b)</sup>		0,269	0,050	0,165	0,282	0,234	×
Wartości priorytetów globalnych uzyskane z indywidualnych ocen radnych wg podejścia III	1	0,296	0,013	0,177	0,323	0,190	10,50
	2	0,000	0,284	0,109	0,208	0,399	15,29
	3	0,240	0,263	0,201	0,000	0,296	17,50
	4	0,395	0,000	0,110	0,360	0,135	13,51
	5	0,356	0,000	0,000	0,242	0,402	8,58
	6	0,364	0,000	0,012	0,216	0,407	10,14
	7	0,364	0,000	0,187	0,449	0,000	8,47
	8	0,182	0,024	0,229	0,267	0,298	6,75
	9	0,272	0,000	0,398	0,009	0,320	12,98
	10	0,330	0,124	0,000	0,357	0,189	23,05
	11	0,224	0,054	0,183	0,293	0,246	6,48
	12	0,434	0,000	0,000	0,426	0,140	9,09
	13	0,237	0,071	0,166	0,260	0,266	2,42
	14	0,219	0,253	0,243	0,032	0,254	22,39
	15	0,237	0,087	0,197	0,303	0,176	29,76
	16	0,375	0,103	0,000	0,388	0,134	39,32
	17	0,138	0,159	0,353	0,303	0,047	12,11
	18	0,283	0,000	0,368	0,069	0,280	17,99
	19	0,000	0,259	0,153	0,269	0,319	13,25
	20	0,229	0,074	0,176	0,252	0,268	0,97
Min		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Średnia		0,259	0,088	0,163	0,251	0,238	
Max		0,434	0,284	0,398	0,449	0,407	×
Rozstęp		0,434	0,284	0,398	0,449	0,407	
Klasyczny AHP		0,218	0,091	0,170	0,238	0,282	

\*W podejściu II<sup>a)</sup> przyjęto jako wartość środkową w liczbach rozmytych medianę z ocen ekspertów.

a) Średnie obliczone dla podejścia III przy wskaźniku zgodności poniżej 15%.

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych statystycznych zebranych za pomocą kwestionariusza statystycznego wśród radnych powiatu poznańskiego [Lesińska 2014].

W podejściu I, gdzie indywidualne oceny ekspertów zostały przekształcone na liczby rozmyte i uśrednione za pomocą rozmytej średniej geometrycznej, wśród celów podrzędnych najważniejsze okazały się cele związane z jakością życia (0,268), gospodarką (0,252) i ochroną środowiska przyrodniczego (0,229). Oznacza to, że każdy z tych celów wpływa w ponad 20% na osiągnięcie celu głównego. Nieco mniejsze znaczenie miał cel związany z infrastrukturą techniczną (0,176), a najmniej ważny okazał się cel podrzędny dotyczący rozbudowy i modernizacji infrastruktury społecznej (0,074). Hierarchia celów ustalona w podejściu I była zgodna z hierarchią celów uzyskaną za pomocą klasycznego AHP, a ponadto wartości priorytetów globalnych dla celów podrzędnych uzyskane z zastosowaniem tych metod nie różniły między sobą o więcej niż 0,02 (tab. 2).

W podejściu II i II\* wartości priorytetów były mało zróżnicowane. Różnica pomiędzy wartościami priorytetu globalnego dla najważniejszego i najmniej ważnego celu podrzędного wynosiła w podejściu II tylko 0,014, a w podejściu II\* – 0,017. Przyczyn tej sytuacji można doszukiwać się w utracie informacji w procesie agregacji ocen ekspertów. W podejściu II i II\* oceny ekspertów dokonane zostały

**Tabela 3.** Ocena ważności zadań niezbędnych do osiągnięcia celów podrzędnych dla gminy Kleszczewo

Cel podrzędny	Zadania	Podejścia FAHP				AHP
		I	II	II*	III	
Środowisko	lesistość	0,000	0,041	0,041	0,016	0,015
	nasadzenia	0,002	0,044	0,047	0,022	0,022
	urządzenia melioracyjne	0,097	0,056	0,058	0,101	0,070
	odpady	0,130	0,060	0,061	0,131	0,111
Infrastruktura społeczna	przedszkole	0,022	0,049	0,048	0,015	0,028
	edukacja	0,021	0,049	0,048	0,012	0,025
	zespół szkół	0,013	0,047	0,046	0,011	0,018
	kompleks wypoczynkowy	0,017	0,048	0,048	0,011	0,021
Infrastruktura techniczna	sieć kanalizacyjna	0,067	0,051	0,051	0,063	0,073
	sieć wodociągowa	0,025	0,047	0,047	0,026	0,025
	drogi	0,033	0,049	0,049	0,036	0,029
	ścieżki	0,051	0,049	0,049	0,040	0,042
Gospodarka	agroturystyka	0,017	0,049	0,048	0,031	0,030
	przedsiębiorczość	0,110	0,054	0,054	0,111	0,106
	warunki dla przetwórstwa	0,078	0,052	0,051	0,078	0,063
	doksztalcanie	0,047	0,050	0,049	0,062	0,039
Jakość życia	posterunek policji	0,131	0,062	0,065	0,131	0,157
	bezrobocie	0,082	0,059	0,059	0,067	0,069
	koło emerytów	0,000	0,029	0,026	0,000	0,013
	współpraca	0,055	0,056	0,055	0,035	0,043

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych statystycznych zebranych za pomocą kwestionariusza statystycznego wśród radnych powiatu poznańskiego [Lesińska 2014].



z wykorzystaniem klasycznej skali Satty'ego i dla każdej pary porównywanych czynników utworzono liczbę rozmytą, przyjmując za pierwszy parametr minimalną wartość ze wszystkich ocen ekspertów, drugi – wartość średniej geometrycznej (podejście II) lub mediany (podejście II\*), a trzeci – maksymalną wartość.

W podejściu III indywidualne oceny ekspertów zostały przekształcone na liczby rozmyte według 9-stopniowej skali, a następnie dla każdego eksperta indywidualnie obliczono wartości priorytetów globalnych. Wartości te były dość zróżnicowane. Największe różnice (ponad 0,4) w wartościach priorytetów globalnych były obserwowane dla trzech najważniejszych celów, a najmniejsza różnica była dla celu najmniej ważnego (prawie 0,3) (tab. 2). Trzy najważniejsze cele podrzędne dotyczyły gospodarki (0,282), ochrony środowiska przyrodniczego (0,269) i jakości życia mieszkańców (0,234). Pomimo tego, że hierarchia tych celów nie była identyczna jak w podejściu I, można uznać, że te trzy cele podrzędne zostały wskazane jako najważniejsze – wiodące – zarówno w podejściu I, jak i w podejściu III, gdyż ich wartości w ramach danego podejścia nie różniły się znacząco od siebie. Różnice te były mniejsze niż 0,05. Pozostałe dwa cele w podejściu III miały taką samą hierarchię jak w podejściu I. Stąd cele związane z infrastrukturą techniczną (0,163) i społeczną (0,088) miały najmniejsze znaczenie.

Podobne własności dla poszczególnych podejść ujawniły się w przypadku oceny zadań (tab. 2). Do najważniejszych zadań, dla których wartości priorytetów globalnych w podejściu I i III uzyskały wartości powyżej 0,1, należą: gospodarka odpadami, utworzenie posterunku policji oraz pobudzenie lokalnej przedsiębiorczości. Dodać należy, że w ocenie zadań w podejściu I, istnieją takie, których wartości priorytetów były równe zero. Do tych zadań należą: zwiększenie lesistości gminy i zorganizowanie koła emerytów. Oznacza to, że według opinii radnych powiatu poznańskiego zadania te nie muszą być priorytetowo realizowane.

#### 4. Zakończenie

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i analiz można wysnuć następujące wnioski.

1. Wartości priorytetów globalnych dla czynników rozwoju uzyskane za pomocą metody FAHP ujawniły dość dużą zgodność w podejściu I i III. Zatem można stwierdzić, że nie ma większego znaczenia, czy agregacja następuje na poziomie informacji wejściowych – indywidualnych ocen parami dokonanych przez ekspertów, czy na poziomie informacji wyjściowych – indywidualnych wartości priorytetów.

2. Natomiast znaczący w procesie agregacji informacji wejściowych jest sposób ich przekształcania na liczby rozmyte. W podejściu I i III oceny ekspertów przekształcane są bezpośrednio na liczby rozmyte, a w podejściu II oceny ekspertów przekształcane są na liczby rzeczywiste, a następnie dla każdej pary porówny-

wanych czynników tworzy się liczbę rozmytą przyjmując za pierwszy parametr minimalną wartość ze wszystkich ocen ekspertów, drugi – wartość średniej geometrycznej lub mediany, a trzeci – maksymalną wartość. Takie podejście ogranicza się tylko do trzech wartości, z czym wiąże się utrata informacji wejściowej i jednocześnie prowadzi to do mniej zróżnicowanych wartości priorytetów niż w podejściu I i III.

3. Dodatkowo można stwierdzić, że podziały uzyskane w podejściu I i III dają względnie podobne wartości priorytetów, jak w klasycznym AHP. Istotna różnica pomiędzy AHP i FAHP polega na tym, że w metodzie FAHP mogą pojawić się zerowe wartości priorytetów globalnych, co oznacza, że czynniki te mogą zostać wyeliminowane ze schematu hierarchicznego.

## Literatura

- Chang D.-Y., 1996, *Application of the extent analysis method on fuzzy AHP*, European Journal of Operational Research, vol. 95, no. 3, s. 649–655.
- Escobar M.T., Moreno-Jiménez J.M., 2007, *Aggregation of individual preference structures in AHP-group decision making*, Group Decision and Negotiation, vol. 16, no. 4, s. 287–301.
- Lesińska M., 2014, *Kierunki rozwoju społeczno-gospodarczego gminy Kleszczewo*, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu – materiał źródłowy.
- Łuczak A., Wysocki F., 2011, *Programowanie rozwoju w gminie wiejskiej z wykorzystaniem rozmytego analitycznego procesu hierarchicznego*, Studia Regionalne i Lokalne, nr 43 (1), s. 97–117.
- Miller G.A., 1956, *The magical number seven plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information*, The Psychological Review, vol. 63, no. 2, s. 81–97.
- Saaty T.L., 1980, *The Analytic Hierarchy Process Planning. Priority Setting. Resource Allocation*, MacGraw-Hill, New York.
- Saaty T.L., Peniwati K., 2008, *Group Decision Making: Drawing out and Reconciling Differences*, RWS Publications, Pittsburgh.
- Wang J.-W., Cheng C.-H., Kun-Cheng H., 2009, *Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection*. Applied Soft Computing, vol. 9, no. 1, s. 377–386.
- Wang Y.-M., Luo Y., Hua Z., 2008, *On the extent analysis method for fuzzy AHP and its applications*, European Journal of Operational Research, vol. 186, no. 2, s. 735–747.