

PRACE NAUKOWE

Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu

RESEARCH PAPERS

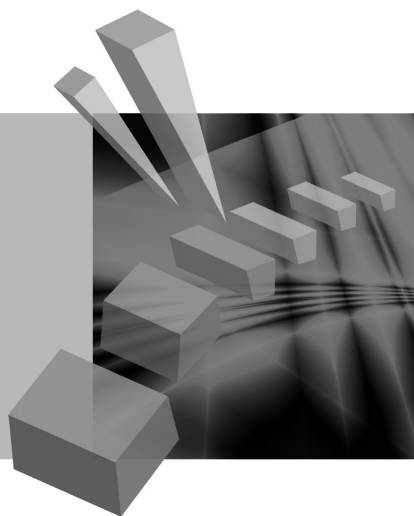
of Wrocław University of Economics

278

Taksonomia 20

Klasyfikacja i analiza danych

– teoria i zastosowania



Redaktorzy naukowi

Krzysztof Jajuga

Marek Walesiak



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
Wrocław 2013

Redaktor Wydawnictwa: Aleksandra Śliwka

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

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

Kopiowanie i powielanie w jakiegokolwiek formie wymaga pisemnej zgody Wydawcy

© Copyright by Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
Wrocław 2013

ISSN 1899-3192 (Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu)

ISSN 1505-9332 (Taksonomia)

Wersja pierwotna: publikacja drukowana

Druk: Drukarnia TOTEM

Spis treści

Wstęp	9
Józef Pocięcha: Wskaźniki finansowe a klasyfikacyjne modele predykcji upadłości firm	15
Eugeniusz Gatnar: Analiza miar adekwatności rezerw walutowych	23
Marek Walesiak: Zagadnienie doboru liczby klas w klasyfikacji spektralnej	33
Joanicjusz Nazarko, Joanna Ejdyś, Anna Kononiuk, Anna M. Olszewska: Analiza strukturalna jako metoda klasyfikacji danych w badaniach foresight	44
Andrzej Bąk: Metody porządkowania liniowego w polskiej taksonomii – pakiet <code>pllord</code>	54
Aleksandra Łuczak, Feliks Wysocki: Zastosowanie mediany przestrzennej Webera i metody TOPSIS w ujęciu pozycyjnym do konstrukcji syntetycznego miernika poziomu życia	63
Ewa Roszkowska: Zastosowanie rozmytej metody TOPSIS do oceny ofert negocjacyjnych	74
Jacek Batóg: Analiza wrażliwości metody ELECTRE III na obserwacje nietypowe i zmianę wartości progowych	85
Jerzy Korzeniewski: Modyfikacja metody HINoV selekcji zmiennych w analizie skupień	93
Małgorzata Markowska, Danuta Strahl: Wykorzystanie referencyjnego systemu granicznego do klasyfikacji europejskiej przestrzeni regionalnej ze względu na filar inteligentnego rozwoju – kreatywne regiony	101
Elżbieta Sobczak: Inteligentne struktury pracujących a efekty strukturalne zmian zatrudnienia w państwach Unii Europejskiej.....	111
Elżbieta Gołata, Grażyna Dehnel: Rozbieżności szacunków NSP 2011 i BAEL.....	120
Iwona Foryś: Wykorzystanie analizy historii zdarzeń do badania powtórnych sprzedaży na lokalnym rynku mieszkaniowym	131
Hanna Dudek, Joanna Landmesser: Wpływ relatywnej deprivacji na subiektywne postrzeganie dochodów.....	142
Grażyna Łaska: Syntaksonomia numeryczna w klasyfikacji, identyfikacji i analizie przemian zbiorowisk roślinnych	151
Magdalena Osińska, Marcin Faldziński, Tomasz Zdanowicz: Analiza zależności między procesami fundamentalnymi a rynkiem kapitałowym w Chinach	161

Andrzej Bąk, Tomasz Bartłomowicz: Mikroekonometryczne modele wielomianowe i ich zastosowanie w analizie preferencji z wykorzystaniem programu R	169
Andrzej Dudek, Bartosz Kwaśniewski: Przetwarzanie równoległe algorytmów analizy skupień w technologii CUDA	180
Michał Trzęsiok: Wycena rynkowej wartości nieruchomości z wykorzystaniem wybranych metod wielowymiarowej analizy statystycznej	188
Joanna Trzęsiok: Wybrane symulacyjne techniki porównywania nieparametrycznych metod regresji.....	197
Artur Mikulec: Kryterium Mojeny i Wisharta w analizie skupień – przypadek skupień o różnych macierzach kowariancji	206
Artur Zaborski: Analiza <i>unfolding</i> z wykorzystaniem modelu grawitacji	216
Justyna Wilk: Identyfikacja obszarów problemowych i wzrostowych w województwie dolnośląskim w zakresie kapitału ludzkiego	225
Karolina Bartos: Analiza ryzyka odejścia studenta z uczelni po uzyskaniu dyplomu licencjata – zastosowanie sieci MLP	236
Ewa Genge: Segmentacja uczestników Industriady z wykorzystaniem analizy klas ukrytych	246
Izabela Kurzawa: Wielomianowy model logitowy jako narzędzie identyfikacji czynników wpływających na sytuację mieszkaniową polskich gospodarstw domowych	254
Marek Lubicz, Maciej Zięba, Konrad Pawelczyk, Adam Rzechonek, Jerzy Kołodziej: Modele eksploracji danych niezbilansowanych – procedury klasyfikacji dla zadania analizy ryzyka operacyjnego.....	262
Aleksandra Łuczak: Zastosowanie rozmytej hierarchicznej analizy w tworzeniu strategii rozwoju jednostek administracyjnych	271
Marcin Pelka: Rozmyta klasyfikacja spektralna <i>c</i> -średnich dla danych symbolicznych interwałowych.....	282
Małgorzata Machowska-Szewczyk: Klasyfikacja obiektów reprezentowanych przez różnego rodzaju cechy symboliczne	290
Ewa Chodakowska: Indeks Malmquista w klasyfikacji podmiotów gospodarczych według zmian ich względnej produktywności działania	300
Beata Bieszk-Stolorz, Iwona Markowicz: Wykorzystanie modeli proporcjonalnego i nieproporcjonalnego hazardu Coxa do badania szansy podjęcia pracy w zależności od rodzaju bezrobocia	311
Marcin Salamaga: Weryfikacja teorii poziomego rozwoju gospodarczego J.H. Dunninga w ujęciu sektorowym w wybranych krajach Unii Europejskiej	321
Justyna Wilk, Michał Bernard Pietrzak, Stanisław Matusik: Sytuacja społeczno-gospodarcza jako determinanta migracji wewnętrznych w Polsce.	330
Hanna Gruchociak: Delimitacja lokalnych rynków pracy w Polsce na podstawie danych z badania przepływów ludności związanych z zatrudnieniem	343

Radosław Pietrzyk: Efektywność inwestycji polskich funduszy inwestycyjnych z tytułu doboru papierów wartościowych i umiejętności wykorzystania trendów rynkowych	351
Sabina Denkowska: Procedury testowań wielokrotnych	362

Summaries

Józef Pocięcha: Financial ratios and classification models of bankruptcy prediction	22
Eugeniusz Gatnar: Analysis of FX reserve adequacy measures	32
Marek Walesiak: Automatic determination of the number of clusters using spectral clustering	43
Joanicjusz Nazarko, Joanna Ejdys, Anna Kononiuk, Anna M. Olszewska: Structural analysis as a method of data classification in foresight research	53
Andrzej Bąk: Linear ordering methods in Polish taxonomy – pllord package	62
Aleksandra Łuczak, Feliks Wysocki: The application of spatial median of Weber and the method TOPSIS in positional formulation for the construction of synthetic measure of standard of living	73
Ewa Roszkowska: Application of the fuzzy TOPSIS method to the estimation of negotiation offers.....	84
Jacek Batóg: Sensitivity analysis of ELECTRE III method for outliers and change of thresholds	92
Jerzy Korzeniewski: Modification of the HINoV method of selecting variables in cluster analysis	100
Małgorzata Markowska, Danuta Strahl: Implementation of reference limit system for the European regional space classification regarding smart growth pillar – creative regions	110
Elżbieta Sobczak: Smart workforce structures versus structural effects of employment changes in the European Union countries	119
Elżbieta Gołata, Grażyna Dehnel: Divergence in National Census 2011 and LFS estimates.....	130
Iwona Foryś: Event history analysis in the resale study on the local housing market	141
Hanna Dudek, Joanna Landmesser: Impact of the relative deprivation on subjective income satisfaction	150
Grażyna Łaska: Numerical syntaxonomy in classification, identification and analysis of changes of secondary communities	160
Magdalena Osińska, Marcin Faldziński, Tomasz Zdanowicz: Analysis of relations between fundamental processes and capital market in China.....	166
Andrzej Bąk, Tomasz Bartłomowicz: Microeconomic polynomial models and their application in the analysis of preferences using R program.....	179

Andrzej Dudek, Bartosz Kwaśniewski: Parallel processing of clustering algorithms in CUDA technology	187
Michał Trzęsiok: Real estate market value estimation based on multivariate statistical analysis	196
Joanna Trzęsiok: On some simulative procedures for comparing nonparametric methods of regression.....	205
Artur Mikulec: Mojena and Wishart criterion in cluster analysis – the case of clusters with different covariance matrices	215
Artur Zaborski: Unfolding analysis by using gravity model	224
Justyna Wilk: Determination of problem and growth areas in Dolnośląskie Voivodship as regards human capital.....	235
Karolina Bartos: Risk analysis of bachelor students' university abandonment – the use of MLP networks	245
Ewa Genge: Clustering of industrial holiday participants with the use of latent class analysis.....	253
Izabela Kurzawa: Multinomial logit model as a tool to identify the factors affecting the housing situation of Polish households.....	261
Marek Lubicz, Maciej Zięba, Konrad Pawelczyk, Adam Rzechonek, Jerzy Kołodziej: Modelling class imbalance problems: comparing classification approaches for surgical risk analysis	270
Aleksandra Łuczak: The application of fuzzy hierarchical analysis to the evaluation of validity of strategic factors in administrative districts.....	281
Marcin Pełka: A spectral fuzzy c-means clustering algorithm for interval-valued symbolic data	289
Małgorzata Machowska-Szewczyk: Clustering algorithms for mixed-feature symbolic objects	299
Ewa Chodakowska: Malmquist index in enterprises classification on the basis of relative productivity changes	310
Beata Bieszk-Stolorz, Iwona Markowicz: Using proportional and non proportional Cox hazard models to research the chances for taking up a job according to the type of unemployment	320
Marcin Salamaga: Verification J.H. Dunning's theory of economic development by economic sectors in some EU countries	329
Justyna Wilk, Michał Bernard Pietrzak, Stanisław Matusik: Socio-economic situation as a determinant of internal migration in Poland	342
Hanna Gruchociak: Delimitation of local labor markets in Poland on the basis of the employment-related population flows research.....	350
Radosław Pietrzyk: Selectivity and timing in Polish mutual funds performance measurement	361
Sabina Denkowska: Multiple testing procedures.....	369

Aleksandra Łuczak

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

ZASTOSOWANIE ROZMYTEJ HIERARCHICZNEJ ANALIZY W TWORZENIU STRATEGII ROZWOJU JEDNOSTEK ADMINISTRACYJNYCH

Streszczenie: Rozmyta hierarchiczna analiza (FHA) jest metodą służącą do rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych, gdzie problem decyzyjny przedstawiany jest w postaci hierarchicznego schematu decyzyjnego składającego się z celu głównego, celów podrzędnych i zadań. Na każdym poziomie hierarchii eksperci dokonują porównań parami czynników strategicznych. Są one podstawą do wyznaczenia ich priorytetów globalnych. Proponowana metoda pozwala – dokładniej aniżeli w podejściu klasycznym (AHP) – uwzględnić rozkłady wartości ocen ekspertów poprzez dekompozycję liczb rozmytych na α -poziomy. Proponowane podejście zostało zilustrowane przykładem dotyczącym oceny ważności celów i zadań strategicznych gminy Rokietnica w województwie wielkopolskim.

Słowa kluczowe: rozmyta hierarchiczna analiza (FHA), α -poziomy, czynniki strategiczne, priorytety (globalne i lokalne).

1. Wstęp

W procesie opracowywania strategii rozwoju jednostek administracyjnych pojawia się problem wyboru i oceny istotności czynników strategicznych (celów strategicznych i zadań realizacyjnych), które powinny być uwzględnione w strategii. Czynniki te często oceniane są przez lokalnych ekspertów za pomocą słów, czyli wielkości jakościowych. Opis jakościowy jest mniej precyzyjny, co wynika nie z braku wiedzy o istotności czynników strategicznych, ale z subiektywnej oceny ekspertów. Subiektywne określenie ważności celów i zadań przez grupę ekspertów prowadzi do zbioru rozmytych ocen. Oceny te trudno opisać za pomocą klasycznego aparatu matematycznego. Do rozwiązania tego problemu można zaproponować rozmytą hierarchiczną analizę (FHA)¹ [Csutora, Buckley 2001; Buckley, Feuring, Hayashi 2001].

¹ Metoda FHA pomaga w rozwiązywaniu problemów decyzyjnych, takich jak wybór jednej z kilku alternatyw, ranking, ustalenie ważności elementów decyzyjnych, alokacja zasobów, benchmarking, rozwiązywanie konfliktów czy zarządzanie jakością. Szczególnie przydatna jest wtedy, gdy rozwiązanie problemu decyzyjnego oparte jest na subiektywnych preferencjach badanej osoby lub grupy osób. Przykładami zastosowań mogą być zlecenia agencji rządowych dotyczące oceny

Metoda ta polega na porównaniu parami ważności czynników strategicznych przez ekspertów. Ocena ważności czynników opisana w sposób jakościowy zostaje zamieniona na trójkątne liczby rozmyte. Są one podstawą do wyznaczenia wag ważności czynników strategicznych, tzw. priorytetów globalnych. Proponowana metoda pozwala – dokładniej aniżeli w podejściu klasycznym (analitycznym procesie hierarchicznym (AHP)) – uwzględnić rozkłady wartości ocen ekspertów poprzez dekompozycję liczb rozmytych na α -poziomy.

Celem pracy jest przedstawienie rozmytej hierarchicznej analizy (FHA) do oceny ważności czynników strategicznych. Proponowane podejście zostało zilustrowane przykładem dotyczącym oceny ważności celów i zadań strategicznych gminy Rokietnica w województwie wielkopolskim. Przedstawiono wady i zalety metody FHA w porównaniu do klasycznego (AHP) i rozmytego analitycznego procesu hierarchicznego (FAHP).

2. Metodyka badań

Ocena ważności czynników strategicznych² zostanie dokonana na podstawie rozmytej hierarchicznej analizy (FHA) [Csutora, Buckley 2001; Buckley, Feuring, Hayashi 2001], na którą składają się następujące etapy:

Etap 1. Budowa hierarchicznego schematu decyzyjnego.

Etap 2. Porównania parami ważności czynników strategicznych.

Etap 3. Sprawdzenie zgodności porównań parami czynników strategicznych.

Etap 4. Obliczenie α -poziomów dla liczb rozmytych uzyskanych z porównań parami.

Etap 5. Obliczenie wektorów własnych dla α -poziomów.

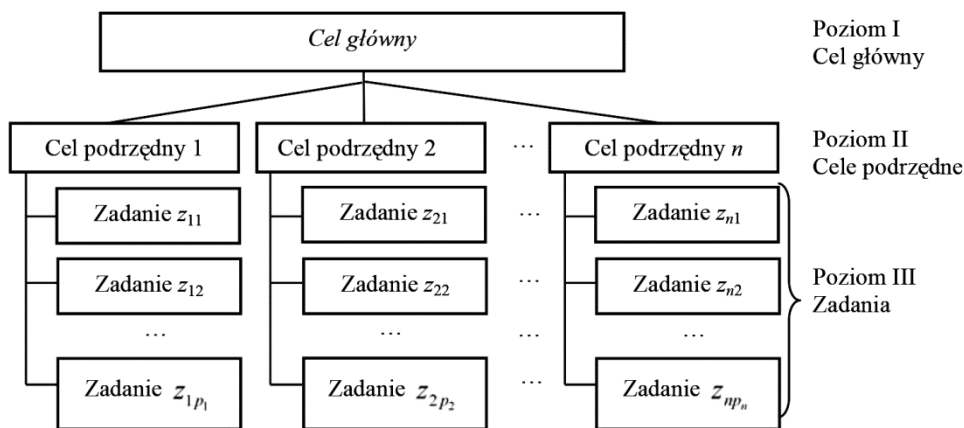
Etap 6. Obliczenie priorytetów lokalnych i globalnych.

Etap 1. Budowa hierarchicznego schematu decyzyjnego. Schemat konstruowany jest poprzez rozkład problemu decyzyjnego na elementy składowe decyzji: cel główny, cele podrzędne i zadania (rys. 1).

Cel główny jest ogólnym zamierzeniem, które powinno być zrealizowane w przyszłości, i umieszczany jest na szczycie hierarchii (poziom I). Cele podrzędne będące uszczegółowieniem celu głównego tworzą drugi poziom. Natomiast trzeci poziom tworzą zadania, których realizacja jest niezbędna do osiągnięcia celów podrzędnych. Zadania również mogą zostać rozłożone na podrzędne działania.

szkodliwości chemikaliów dla środowiska lub oceny ważności różnych źródeł energii dla kraju w ciągu najbliższych dziesięciu lat [Buckley, Uppuluri 1987] czy też wybór najlepszej politechniki [Suresh 2012].

² Wśród metod, które mogą być stosowane do oceny czynników strategicznych, należy wymienić wielokryterialne metody decyzyjne (MCDM), a wśród nich m.in. AHP (*Analytic Hierarchy Process*), ANP (*Analytic Network Process*), DEMATEL (*DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory*), ELEKTRE (*ELimination Et Choix Traduisant la REalité*), PROMETEE (*Preference ranking organization method for enrichment evaluation*) (zob. [Triantaphyllou 2010; Gwo-Hshiung, Tzeng, Huang 2011]).



Rys. 1. Hierarchiczny schemat decyzyjny

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Saaty 1980].

Etap 2. Porównania parami ważności czynników strategicznych. Porównań dokonują eksperci na każdym poziomie hierarchii, wykorzystując do tego skalę Saaty’ego (tab. 1). Wyniki porównań zestawia się w postaci rozmytych macierzy porównań parami \tilde{A}_k :

$$\tilde{A}_k = \begin{bmatrix} \tilde{1} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1(\bullet)} \\ \tilde{1} / \tilde{x}_{12} & \tilde{1} & \dots & \tilde{x}_{2(\bullet)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{1} / \tilde{x}_{1(\bullet)} & \tilde{1} / \tilde{x}_{2(\bullet)} & \dots & \tilde{1} \end{bmatrix}, \quad k = 1, \dots, n + 1,$$

gdzie:

$$\tilde{x}_{ij} = \left(\frac{1}{Q} \sum_{c=1}^Q \tilde{a}_{ij}^{(c)} \right) = \left(\frac{1}{Q} \sum_{c=1}^Q l_{ij}^{(c)}, \frac{1}{Q} \sum_{c=1}^Q m_{ij}^{(c)}, \frac{1}{Q} \sum_{c=1}^Q u_{ij}^{(c)} \right) = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}),$$

gdzie $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}^{(c)}, m_{ij}^{(c)}, u_{ij}^{(c)})$ – siła przewagi ważności i -tego czynnika strategicznego nad j -tym uzyskana w porównaniu dokonany przez eksperta c ($c=1, \dots, Q$, Q – liczba ekspertów), reprezentowana przez trójkątną liczbę rozmytą, w której pierwszy parametr $l_{ij}^{(c)}$ oznacza pesymistyczną ocenę, drugi $m_{ij}^{(c)}$ – ocenę najbardziej prawdopodobną, a trzeci $u_{ij}^{(c)}$ – ocenę optymistyczną; $i, j = 1, \dots, (\bullet)$, (\bullet) – oznacza n – liczbę celów podrzędnych lub p_l ($l = 1, \dots, n$) – liczbę zadań w ramach celu podrzędnego l .

Tabela 1. Dziewięciostopniowa skala preferencji między dwoma porównywanymi czynnikami strategicznymi

Przewaga ważności czynników strategicznych	Preferencje opisane słownie	Siła przewagi ważności	
		klasyczna AHP	rozmyta AHP $\tilde{a} = (l, m, u)$
Równoważność	Oba czynniki przyczyniają się jednakowo do osiągnięcia celu	1	$\tilde{1} = (1, 1, 1)$
Słaba lub umiarkowana	Nieprzekonujące znaczenie lub słaba preferencja jednego czynnika nad drugim	3	$\tilde{3} = (1, 3, 5)$
Istotna, mocna	Zasadnicze lub mocne znaczenie lub mocna preferencja jednego czynnika nad innym	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	Czasami istnieje potrzeba interpolacji numerycznej kompromisowych opinii, ponieważ nie ma odpowiedniego słownictwa do ich opisania, dlatego stosuje się pośrednie wartości między dwiema sąsiednimi ocenami	2, 4, 6 i 8	$\tilde{2} = (1, 2, 4);$ $\tilde{4} = (2, 4, 6);$ $\tilde{6} = (4, 6, 8);$ $\tilde{8} = (6, 8, 9)$
Przechodność ocen	Jeżeli i -ty czynnik ma przypisany 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].

Jeżeli w macierzy $\tilde{\mathbf{A}}_k$ ważność i -tego czynnika nad j -tym ma postać $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}^{(c)}, m_{ij}^{(c)}, u_{ij}^{(c)})$, wtedy $\tilde{a}_{ji}^{-1} = \tilde{a}_{ji} = (1/u_{ji}^{(c)}, 1/m_{ji}^{(c)}, 1/l_{ji}^{(c)})$ (zasada przechodności ocen), oraz jeżeli i -ty czynnik jest równie relatywnie ważny jak j -ty, wtedy $\tilde{a}_{ij} = \tilde{a}_{ji} = (1, 1, 1)$ (równoważność ocen).

Etap 3. Sprawdzenie zgodności porównań parami czynników strategicznych. Sprawdza się, czy porównania zostały przeprowadzone poprawnie. W tym celu oblicza się wskaźnik niezgodności CR , który mierzy koherencję porównań parami, czyli określa, w jakim stopniu wzajemne porównania ważności charakterystyk są niezgodne:

$$CR = \frac{CI}{RI} \cdot 100\%,$$

gdzie $CI = (\lambda_{\max} - (\bullet)) / ((\bullet) - 1)$ jest indeksem zgodności, przy czym λ_{\max} jest maksymalną lub główną wartością własną macierzy porównań parami \mathbf{A}_k utworzoną z wartości najbardziej prawdopodobnych m_{ij} , natomiast RI jest średnim losowym indeksem zgodności obliczonym z losowo generowanej macierzy o wymiarach identycznych z macierzą porównań parami \mathbf{A}_k .

Oczekuje się, aby wskaźnik CR przyjmował wartości mniejsze lub równe 10%. Wtedy porównania są zgodne. Jeżeli w macierzy \mathbf{A}_k porównania parami są zgodne,

wtedy w macierzy \tilde{A}_k porównania parami również są zgodne [Csutora, Buckley 2001].

Etap 4. Obliczenie α -poziomów (α -cięć) dla liczb rozmytych uzyskanych z porównań parami. Jeżeli porównania ważności czynników zostały przeprowadzone poprawnie, to można obliczyć priorytety, wykorzystując α -poziomy.

α -poziomy uzyskane z macierzy porównań \tilde{A}_k : $(\tilde{x}_{ij})_\alpha = \left[(x_{ij})_\alpha^L, (x_{ij})_\alpha^U \right]$
 $(i, j = 1, \dots, (\bullet))$ dla $\alpha \in \langle 0, 1 \rangle$, gdzie $(\tilde{x}_{ij})_\alpha^L = m_{ij} - (m_{ij} - l_{ij}) \cdot (1 - \alpha)$ oraz
 $(\tilde{x}_{ij})_\alpha^U = m_{ij} + (u_{ij} - m_{ij}) \cdot (1 - \alpha)$.

Etap 5. Obliczenie wektorów własnych dla α -poziomów. Na początku tego etapu definiuje się macierze dla wartości α -cięć ($\alpha \in \langle 0, 1 \rangle$) jako $(A_k)_\alpha^L = \left[(x_{ij})_\alpha^L \right]$
i $(A_k)_\alpha^U = \left[(x_{ij})_\alpha^U \right]$ oraz macierz wartości najbardziej prawdopodobnych
 $(A_k)_{\alpha_1}^M = \left[(x_{ij})_{\alpha_1}^M \right]$ ($\alpha_1 = 1$), gdzie $(x_{ii})_\alpha^M = 1$.

Następnie oblicza się wektory własne z macierzy $(A_1)_\alpha^L, (A_1)_\alpha^U, (A_1)_\alpha^M$ dla celów podrzędnych jako średnie geometryczne i normalizuje się:

$$(w_j)_\alpha^L = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n (x_{ij})_\alpha^L} / \sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n (x_{ij})_\alpha^U}, \quad (w_j)_\alpha^U = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n (x_{ij})_\alpha^U} / \sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n (x_{ij})_\alpha^L}$$

$$(w_j)_{\alpha_1}^M = (w_j)_1^M = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n (x_{ij})_{\alpha_1}^M} / \sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n (x_{ij})_{\alpha_1}^M}.$$

Etap 6. Obliczenie priorytetów lokalnych i globalnych

Krok 1. Oblicza się współczynniki korygujące $K_{\alpha_1}^L, K_{\alpha_1}^U$ dla $\alpha_1 = 1$

$$K_{\alpha_1}^L = \min \left\{ (w_j)_{\alpha_1}^M / (w_j)_{\alpha_2}^L, \quad j = 1, \dots, n \right\},$$

$$K_{\alpha_1}^U = \max \left\{ (w_j)_{\alpha_1}^M / (w_j)_{\alpha_2}^U, \quad j = 1, \dots, n \right\}.$$

Krok 2. Oblicza się priorytety dla α_1 – poziomu: $(w_j^*)_{\alpha_1}^L = K_{\alpha_1}^L (w_j)_{\alpha_1}^L$ oraz
 $(w_j^*)_{\alpha_1}^U = K_{\alpha_1}^U (w_j)_{\alpha_1}^U$.

Rozpoczęcie pętli iteracyjnej: niech $k = 0, \delta = 0, 1$.

Krok 3. Dla $\alpha_k = \alpha_1 - \delta \times k$, $\alpha_k = 0 < \alpha_{k-1} < \dots < \alpha_1 = 1$ oblicza się współczynniki

$$\text{korygujące: } K_{\alpha_k}^L = \min \left\{ \frac{(w_j^*)^L}{(w_j)_{\alpha_k}^L}, j=1, \dots, n \right\}, K_{\alpha_k}^U = \max \left\{ \frac{(w_j^*)^U}{(w_j)_{\alpha_k}^U}, j=1, \dots, n \right\}$$

oraz priorytety dla α_k -poziomów jako: $(w_j^*)_{\alpha_k}^L = K_{\alpha_k}^L (w_j)_{\alpha_k}^L$ i $(w_j^*)_{\alpha_k}^U = K_{\alpha_k}^U (w_j)_{\alpha_k}^U$.

Jeśli $\alpha_k = 0$, to proces iteracyjny kończy się. W przeciwnym przypadku należy powtórzyć krok 3, przyjmując $k = k + 1$. Priorytety lokalne przyjmuje się jako $\tilde{w}_j = \left((w_j^*)_0^L, (w_j)_1^M, (w_j^*)_0^U \right)$, przy czym $\sum_{i=1}^n (w_j^*)_{\alpha_k}^L = K_{\alpha_k}^L$, $\sum_{j=1}^n (w_j)_{\alpha_1}^M = 1$,

$$\sum_{i=1}^n (w_j^*)_{\alpha_k}^U = K_{\alpha_k}^U.$$

Priorytety lokalne określają względną ważność czynników (celów i zadań) na każdym poziomie hierarchii. Natomiast priorytety globalne danego poziomu reprezentują udział czynnika strategicznego w osiągnięciu celu głównego. Priorytety lokalne i globalne na poziomie II – dla celów podrzędnych są takie same.

W analogiczny sposób, według etapów 5-6, oblicza się priorytety lokalne dla zadań w ramach każdego celu podrzędnego. Priorytety globalne dla zadań uzyskuje się, mnożąc wartości priorytetów lokalnych zadań przez wartość priorytetu globalnego dla odpowiedniego celu podrzędnego.

3. Wyniki badań

W pierwszy etapie została utworzona struktura hierarchiczna czynników strategicznych wpływających na rozwój gminy Rokietnica. Przyjęto, że głównym celem strategicznym dla tej gminy będzie zapewnienie wielofunkcyjnego rozwoju. Cel główny został uszczegółowiony przez następujące cele podrzędne i zadania:

I cel podrzędny: zapewnienie mieszkańcom możliwie najwyższego poziomu życia (poziom życia)³.

Zadania:

1. Rozwój skali kształcenia mieszkańców gminy (edukacja).
2. Rozszerzenie działalności ośrodka pomocy (pomoc społeczna).
3. Stały rozwój komunikacji podmiejskiej ROKBUS (transport i komunikacja).
4. Zmiana proporcji środków przeznaczanych na zasiłki i aktywne formy walki z bezrobociem na korzyść tych ostatnich (walka z bezrobociem).

³ W nawiasach podano hasła, które będą w dalszej części pracy używane jako skróty do przyjętych celów i zadań.

II cel podrzędny: poprawa naturalnego środowiska przyrodniczego (środowisko naturalne).

Zadania:

1. Poprawa stanu i ochrona zabytków przyrody (zabytki przyrody).
2. Modernizacja urządzeń melioracyjnych i odwadniających (urządzenia melioracyjne).
3. Racjonalna gospodarka odpadami stałymi (gospodarka odpadami).
4. Działania mające na celu zmniejszenie emisji spalin (zanieczyszczenie środowiska).

III cel podrzędny: poprawa stanu gospodarki na terenie gminy (gospodarka).

Zadania:

1. Rozwój poprzez lokowanie na terenie gminy produkcji przemysłowej (przemysł).
2. Rozwój gospodarki poprzez zachowanie i wspieranie rolnictwa z powiązaniem z agroturystyką (rolnictwo).
3. Rozwój poprzez lokowanie na terenie gminy działalności usługowej (usługi).
4. Rozwój gospodarki poprzez wspieranie budownictwa (budownictwo).

IV cel podrzędny: istotna poprawa stanu infrastruktury technicznej (infrastruktura techniczna).

Zadania:

1. Budowa i modernizacja dróg gminnych (drogi).
2. Rozbudowa sieci kanalizacyjnej na terenie gminy (sieć kanalizacyjna).
3. Zapewnienie stałego dostępu do sieci wodociągowej (sieć wodociągowa).
4. Rozbudowa sieci gazowej na terenie gminy (sieć gazowa).
5. Budowa i modernizacja oczyszczalni ścieków (oczyszczalnie ścieków).

W etapie II radni gminy Rokietnica porównali parami ważność czynników strategicznych przy wykorzystaniu dziewięciostopniowej skali Saaty'ego. Zostały porównane parami ważności celów podrzędnych w odniesieniu do celu głównego oraz zadań w odniesieniu do celów podrzędnych. Następnie obliczono wskaźniki niezgodności CR , które określiły stopnie zgodności uzyskanych porównań. Wskaźnik ten dla wszystkich przypadków kształtował się na poziomie poniżej 10%, co oznacza, że dokonane porównania były zgodne.

Poniżej zaprezentowano przykład obliczenia priorytetów dla celów podrzędnych. Porównania parami zostały zagregowane za pomocą średniej geometrycznej i zestawione w rozmytą macierz porównań:

$$\tilde{A}_1 = \begin{bmatrix} (1,00; 1,00; 1,00) & (2,20; 3,15; 3,84) & (1,31; 2,07; 3,09) & (0,57; 0,87; 1,21) \\ (0,26; 0,32; 0,45) & (1,00; 1,00; 1,00) & (1,07; 1,75; 2,47) & (1,28; 1,90; 2,68) \\ (0,32; 0,48; 0,77) & (0,41; 0,57; 0,94) & (1,00; 1,00; 1,00) & (0,93; 1,11; 1,30) \\ (0,83; 1,15; 1,74) & (0,37; 0,53; 0,78) & (0,77; 0,90; 1,07) & (1,00; 1,00; 1,00) \end{bmatrix}$$

Następnie utworzono dla

$$\alpha_1 = 1 \quad (A_1)_1^L = (A_1)_1^U = (A_1)_1^M = \begin{bmatrix} 1,00 & 3,15 & 2,07 & 0,87 \\ 0,32 & 1,00 & 1,75 & 1,90 \\ 0,48 & 0,57 & 1,00 & 1,11 \\ 1,15 & 0,53 & 0,90 & 1,00 \end{bmatrix},$$

wtedy $(w_1)_1^L = (w_1)_1^U = (w_1)_1^M = [0,371; 0,243; 0,179; 0,207]$.

$$\text{Dla } \alpha_2 = 0,9 \quad (A_1)_{0,9}^L = \begin{bmatrix} 1,00 & 0,31 & 0,47 & 1,12 \\ 3,06 & 1,00 & 0,56 & 0,51 \\ 1,99 & 1,68 & 1,00 & 0,89 \\ 0,84 & 1,84 & 1,09 & 1,00 \end{bmatrix}, \quad (A_1)_{0,9}^U = \begin{bmatrix} 1,00 & 0,33 & 0,51 & 1,21 \\ 3,22 & 1,00 & 0,61 & 0,55 \\ 2,17 & 1,82 & 1,00 & 0,92 \\ 0,90 & 1,98 & 1,13 & 1,00 \end{bmatrix},$$

wtedy $(w_1)_1^L = [0,370; 0,243; 0,180; 0,207]$, $(w_1)_1^U = [0,370; 0,244; 0,180; 0,206]$,

a współczynniki korygujące wynoszą $K_{\alpha_1}^L = 0,996$, $K_{\alpha_1}^U = 1,003$. Stąd

$(w_1^*)_{0,9}^L = [0,368; 0,242; 0,179; 0,207]$ i $(w_1^*)_{0,9}^U = [0,371; 0,244; 0,180; 0,207]$.

W analogiczny sposób przeprowadzono obliczenia na poziomach od

$\alpha_3 = 0,8$ do $\alpha_{10} = 0$ i uzyskano: $(w_1^*)_0^L = [0,335; 0,228; 0,175; 0,207]$ i

$(w_1^*)_0^U = [0,371; 0,251; 0,187; 0,210]$.

Na tej podstawie priorytety lokalne dla celów podrzędnych wynoszą $\tilde{w}_1 = ((0,335; 0,371; 0,371); (0,228; 0,243; 0,251); (0,175; 0,179; 0,187); (0,207; 0,207; 0,210))$. Oznacza to, że największe znaczenie w osiągnięciu celu głównego miał cel podrzędny I związany z zapewnieniem mieszkańcom gminy możliwie najwyższego poziomu życia (priorytet globalny – $(0,335; 0,371; 0,371)$). Drugim ważnym celem podrzędnym była poprawa naturalnego rozwoju środowiska przyrodniczego $(0,228; 0,243; 0,251)$. Nieco mniejsze znaczenie uzyskał cel IV dotyczący infrastruktury technicznej $(0,207; 0,207; 0,210)$. Najmniejsze znaczenie miał cel podrzędny III dotyczący gospodarki $(0,175; 0,179; 0,187)$. Pośród celów podrzędnych największą zgodność w opinii ekspertów wykazała ocena celu IV. Rozstęp pomiędzy oceną optymistyczną a pesymistyczną wyniósł tylko 0,003.

Do najważniejszych zadań należy zaliczyć działania związane z edukacją (priorytet globalny – $(0,137; 0,178; 0,178)$). Drugie w kolejności jest zadanie związane z gospodarką odpadami $(0,086; 0,093; 0,096)$. Natomiast najmniejszy wpływ na osiągnięcie celu głównego w tej gminie miało zadanie związane z rozbudową sieci gazowej na terenie gminy (priorytet globalny – $(0,019; 0,020; 0,024)$).

Porównując wartości priorytetów globalnych uzyskane za pomocą klasycznej metody AHP i rozmytej hierarchicznej analizy, należy zauważyć, że FHA jest rozszerzeniem AHP. Wartości uzyskane w AHP są wartościami najbardziej prawdopo-

Tabela 2. Ocena ważności czynników wywierających wpływ na rozwój gminy Rokietnica

Cele/zadania		FHA			FAHP ^{a)}	AHP ^{b)}
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>		
Cel I	Poziom życia	0,335	0,371	0,371	0,431	0,371
Zadania	Edukacja	0,137	0,178	0,178	0,273	0,178
	Pomoc społeczna	0,037	0,040	0,043	0,000	0,040
	Transport i komunikacja	0,059	0,079	0,090	0,094	0,079
	Walka z bezrobociem	0,064	0,074	0,081	0,064	0,074
Cel II	Środowisko naturalne	0,228	0,243	0,251	0,298	0,243
Zadania	Zabytki przyrody	0,046	0,053	0,059	0,063	0,053
	Urządzenia melioracyjne	0,040	0,043	0,045	0,018	0,043
	Gospodarka odpadami	0,086	0,093	0,096	0,146	0,093
	Zanieczyszczenie środowiska	0,051	0,055	0,060	0,071	0,055
Cel III	Gospodarka	0,175	0,179	0,187	0,109	0,179
Zadania	Przemysł	0,027	0,027	0,029	0,009	0,027
	Rolnictwo	0,038	0,046	0,050	0,030	0,046
	Usługi	0,056	0,061	0,064	0,041	0,061
	Budownictwo	0,040	0,045	0,050	0,029	0,045
Cel IV	Infrastruktura	0,207	0,207	0,210	0,162	0,207
Zadania	Drogi	0,057	0,060	0,061	0,052	0,060
	Sieć kanalizacyjna	0,041	0,042	0,043	0,038	0,042
	Sieć wodociągowa	0,042	0,042	0,044	0,037	0,042
	Sieć gazowa	0,019	0,020	0,024	0,000	0,020
	Oczyszczalnie ścieków	0,040	0,042	0,046	0,035	0,042

^{a)} FAHP – rozmyty analityczny proces hierarchiczny [Chang 1996; Łuczak, Wysocki 2011].

^{b)} AHP – analityczny proces hierarchiczny [Saaty 1980; Łuczak, Wysocki 2005].

Źródło: obliczenia własne na podstawie badań ankietowych przeprowadzonych wśród radnych w gminie Rokietnica w 2009 r. [Korsak 2009].

dobnymi w FHA. Ponadto w FHA nie ma możliwości eliminacji zadań najmniej istotnych tak jak w rozmytym analitycznym procesie hierarchicznym (FAHP), gdzie zostały wyeliminowane dwa zadania związane z pomocą społeczną i siecią gazową. Ich priorytety globalne wyniosły zero.

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i analiz można sformułować następujące stwierdzenia i wnioski.

Za pomocą rozmytej hierarchicznej analizy (FHA) poszczególnym zarówno celem, jak i zadaniom można przyporządkować zróżnicowane rozmyte współczynniki wagowe. Proponowane podejście pozwala dokładniej aniżeli podejście klasyczne uwzględnić rozkłady wartości cech w badanych obiektach dzięki wykorzystaniu dekompozycji wartości cechy na α -poziomy.

W przypadku podejścia klasycznego AHP i FAHP rozkład reprezentuje jedna wartość – ocena, natomiast w proponowanej metodzie trzy oceny: pesymistyczna, najbardziej prawdopodobna oraz optymistyczna. Rozstęp pomiędzy oceną optymistyczną a pesymistyczną pokazuje poziom zgodności w ocenianiu czynników strategicznych przez ekspertów lokalnych.

W metodzie tej nie ma możliwości wyeliminowania cech o najmniejszym znaczeniu (mało istotnych) jak w przypadku metody FAHP.

Zaproponowane podejście ma wymiar praktyczny i może być wykorzystane przez władze jednostek administracyjnych przy opracowywaniu programów rozwoju.

Literatura

- Buckley J.J., Feuring T., Hayashi Y., *Fuzzy hierarchical analysis revisited*, "European Journal of Operational Research" 2001, 129, s. 48-64.
- Buckley J.J., Uppuluri R.R.V., *Fuzzy Hierarchical Analysis*, [w:] *Uncertainty in Risk Assessment, Risk Management, and Decision Making Advances in Risk Analysis*, tom 4, 1987, s. 389-401.
- Chang D.-Y., *Application of the extent analysis method on fuzzy AHP*, "European Journal of Operational Research" 1996, 95(3), s. 649-655.
- Csutora R., Buckley J.J., *Fuzzy hierarchical analysis: the Lambda-Max method*, "Fuzzy Sets and Systems" 2001, 120, s. 181-195.
- Gwo-Hshiang T., Tzeng G.H., Huang J.J., *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, CRC Press, 2011.
- Korsak S., *Zastosowanie metody AHP do opracowywania planów strategicznych jednostek samorządowych na przykładzie gminy wiejskiej Rokietnica w województwie wielkopolskim*, Materiał źródłowy, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Poznań 2009.
- Łuczak A., Wysocki F., *Porządkowanie liniowe obiektów z wykorzystaniem rozmytych metod AHP i TOPSIS*, „Przegląd Statystyczny” 2011, tom 53(1-2), s. 3-23.
- Łuczak A., Wysocki F., *Wykorzystanie metod taksonometrycznych i analitycznego procesu hierarchicznego do programowania rozwoju obszarów wiejskich*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, Poznań 2005.
- Saaty T.L., *The Analytic Hierarchy Process Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, MacGraw-Hill, New York International Book Company, 1980.
- Suresh V.S.M., *Fuzzy hierarchical analysis an applications*, "International Journal of Engineering Science and Technology" t. 4, no. 9, 2012, s. 4099-4110.
- Triantaphyllou E., *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*, Kluwer Academic Publishers, 2010.
- Wang J.-W., Cheng C.-H., Kun-Cheng H., *Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection*, "Applied Soft Computing" 2009, 9, s. 377-386.

THE APPLICATION OF FUZZY HIERARCHICAL ANALYSIS TO THE EVALUATION OF VALIDITY OF STRATEGIC FACTORS IN ADMINISTRATIVE DISTRICTS

Summary: The fuzzy hierarchical analysis is one of the mathematical methods which can be used for solving multi-criterial decision problems. Decisions problem is presented as a hierarchic tree, where the main goal is on the top and basic goals and activities are on lower levels in the hierarchy. On respective levels, elements are pairwise compared using nine-level scale of fuzzy triangular numbers. Next priorities of each element are estimated based on α -level sets of priorities. The paper is a trial of application of fuzzy hierarchical analysis (FHA) to the evaluation of strategic factors in commune of Rokietnica in Wielkopolska Voivodeship. This method is useful at development programming.

Keywords: fuzzy hierarchical analysis (FHA), α -level, strategic factors, priorities (local and global).