



Adam Sojda

Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
Instytut Ekonomii i Informatyki
adam.sojda@polsl.pl

WIELOWYMIAROWA OCENA ZAKŁADÓW PRODUKCYJNYCH ZRZESZONYCH W GRUPIE PRODUCENCKIEJ*

Streszczenie: W artykule przedstawiono wielowymiarową ocenę zakładów produkcyjnych zrzeszonych w grupie producenckiej. W przypadku takiej struktury przedsiębiorstwa istotna jest zarówno możliwość oceny poszczególnych zakładów względem innych zrzeszonych w danej grupie, jak i wskazanie zakładów podobnych do siebie. W artykule przedstawione zostały metody analizy skupień oraz metoda wzorca. Metody te zastosowano do budowy oceny kopalń węgla kamiennego, zrzeszonych w grupie producenckiej, na podstawie danych z 2013 r.

Słowa kluczowe: analiza wielowymiarowa, kopalnia, analiza skupień.

Wprowadzenie

Reforma górnictwa w Polsce sięga roku 1989, kiedy to funkcjonowało 70 kopalń, przy czym 3 były w budowie. Produkowały one 177,4 mln Mg i sprzedawały na rynek krajowy w granicach 147,5 mln Mg. Proces reform można podzielić na 6 wyraźnych okresów, w których kopalnie były różnie traktowane. Na początku działały jako samodzielne podmioty gospodarcze, co oceniane jest negatywnie [Pascza, 2010, s. 66]. W kolejnych okresach następowała konsolidacja kopalń w grupy producenckie wraz z działaniami mającymi na celu ko-

* Praca powstała w ramach realizacji projektu badawczego nr N N524 341640 „Metoda wyznaczania wartości kopalni węgla kamiennego”, finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.

nieczne ograniczenia zdolności produkcyjnych, zatrudnienia. Górnictwo dostosowywało się do warunków gospodarki rynkowej i międzynarodowej konkurencji. Ostatni etap doprowadził do ukształtowania się grup producenckich: Kompanii Węglowej S.A., Katowickiego Holdingu Węglowego S.A., Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A., działających na obszarze Śląska, oraz przedsiębiorstwa Lubelski Węgiel „Bogdanka” S.A., będącego jedyną kopalnią zajmującą się eksploatacją węgla kamiennego w Lubelskim Zagłębiu Węglowym. Na terenie Śląska istnieją jeszcze: Zakład Górniczy „Siltech” sp. z o.o. oraz Przedsiębiorstwo Górnicze „Silesia” sp. z o.o., które prowadzą działalność wydobywczą węgla kamiennego jako prywatne przedsiębiorstwa. Ich udział w rynku jest jednak niewielki. Kopalnie działające w grupie producenckiej odpowiadają za realizację planu wydobycia, ocenianego głównie pod kątem ilości wydobytego węgla oraz kosztu. Sprzedażą węgla zajmuje się grupa producencka i to ona odpowiada za przychody ze sprzedaży. W wyniku reform, z 70 istniejących w 1989 r. kopalń w 2009 r. pozostało 31. Produkcja z 177,4 mln Mg spadła do 77,5 mln Mg, a sprzedaż na rynku krajowym spadała z 145,1 mln Mg do 64,2 mln Mg. Począwszy od 2009 r., wydobycie utrzymuje się na względnie stałym poziomie i w 2014 r. wynosiło 76,5 mln Mg.

Z uwagi na rosnące koszty wydobycia oraz niewykorzystane moce wydobywcze należy spodziewać się kolejnych działań restrukturyzacyjnych, w tym zamykania najgorszych kopalń. Dlatego konieczna jest ocena poszczególnych kopalń wchodzących w skład grupy producenckiej. Do oceny nie można stosować tylko i wyłącznie jednego kryterium, jakim jest zysk. Obecnie realizowana filozofia zrównoważonego rozwoju wskazuje na obszary, w których należy przyrzeć się działalności przedsiębiorstwa. W artykule Karbownika i Wodarskiego [2010] przedstawiono różne kryteria, za pomocą których można oceniać kopalnie węgla kamiennego.

Metody wielokryterialne mogą być z powodzeniem stosowane do budowy rankingów bądź klasyfikacji obiektów podobnych ze względu na wybrane do oceny kryteria. Za pomocą metod wielokryterialnych oceniano sytuację ekonomiczną indywidualnych gospodarstw rolnych [Ryś-Jurek, 2008], przeprowadzana była klasyfikacja powiatów województwa wielkopolskiego ze względu na sytuację demograficzną [Szwarc, 2012], a także klasyfikacja krajów Unii Europejskiej ze względu na ubóstwo energetyczne [Szamrej-Baran, 2012]. Za pomocą tych metod badano zarówno funkcje turystyczne przedsiębiorstwa [Jakowska-Suwalska, 2012], jak i kopalnie bez uwzględnienia grup producenckich pod względem czynników ekonomicznych [Jakowska-Suwalska, 2014].

Celem niniejszego artykułu jest klasyfikacja 15 kopalń zrzeszonych w grupie producenckiej, ze wskazaniem kopalń najlepszych i najgorszych. Do realizacji założonego celu zaproponowana została analiza skupień oraz metoda wzorca rozwoju.

1. Zmienne charakteryzujące poszczególne zakłady

Do scharakteryzowania kopalń przyjęto następujące zmienne, przedstawione w tab. 1.

Tabela 1. Charakterystyka zmiennych opisujących kopalnię

Z ₁	średnia cena sprzedaży węgla [zł/Mg]
Z ₂	wielkość sprzedaży węgla [Mg]
Z ₃	średni poziom wynagrodzeń [zł/os.]
Z ₄	wielkość zatrudnienia [os.]
Z ₅	koszt zużycia materiałów w procesie produkcji węgla [zł/Mg]
Z ₆	koszt amortyzacji [zł/Mg]
Z ₇	koszt zużycia energii w procesie produkcji węgla [zł/Mg]
Z ₈	koszt usług obcych w procesie produkcji węgla [zł/Mg]
Z ₉	koszt wynagrodzeń z narzutami [zł/Mg]
Z ₁₀	koszty pozostałe [zł/Mg]
Z ₁₁	wynik finansowy brutto [zł]
Z ₁₂	wielkość sprzedaży na zatrudnionego [Mg/os.]
Z ₁₃	wartość sprzedaży na zatrudnionego [Mg/os.]
Z ₁₄	procent kosztów wynagrodzeń w kosztach całkowitych [%]
Z ₁₅	koszt wynagrodzeń na tonę sprzedaży [zł/Mg]
Z ₁₆	średnia kaloryczność tony sprzedanego węgla [kcal/Mg]
Z ₁₇	zasoby przemysłowe [Mg]

Przedstawiona lista zmiennych została poddana procedurze oceny ze względu na kryteria merytoryczne i statystyczne na podstawie danych z 2013 r. Odrzucono zmienne o współczynniku zmienności mniejszym niż 10% [Dziechciarz (red.), 2002]. Przeprowadzono analizę macierzy współczynników korelacji liniowej Pearsona (tab. 2).

Analizując zależności pomiędzy zmiennymi, wyznaczono zbiór zmiennych powiązanych ze sobą dla poziomu istotności 0,01. Zbiór ten stanowiły zmienne: Z₂, Z₄, Z₅, Z₆, Z₇, Z₈, Z₉, Z₁₁, Z₁₂, Z₁₃, Z₁₄, Z₁₅. Analogicznie do metody grafów doboru zmiennych do modelu ekonometrycznego, wyznaczono dwie zmienne – Z₉ i Z₁₅ – które mają najwięcej powiązań z pozostałymi. Wybrano zmienną Z₉, uznając, że ważniejszy dla oceny jest koszt wytworzenia przypadający na tonę wydobycia. Z tej analizy wyłączono zmienne Z₁₆ i Z₁₇ jako zmienne związane z posiadanymi przez kopalnie zasobami węgla w odniesieniu do jakości i ilości. Ostatecznie otrzymano końcową listę zmiennych: Z₁, Z₃, Z₉, Z₁₀, Z₁₆, Z₁₇.

Tabela 2. Tabela z zaznaczonymi współczynnikami korelacji liniowej Pearsona

	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁	Z ₁₂	Z ₁₃	Z ₁₄	Z ₁₅	Z ₁₆	Z ₁₇
Z ₁					*		*	*									*
Z ₂				**							**	*				*	*
Z ₃																*	
Z ₄		**									*						*
Z ₅	*					**	**	**	**		*	*			**		
Z ₆					**		**	*	**		**	**	*		**		
Z ₇	*				**	**			**		*	**			**		
Z ₈	*				**	*											*
Z ₉					**	**	**				**	**	**	*	**		
Z ₁₀																	
Z ₁₁		**		*	*	**	*		**			**	**		**		
Z ₁₂					*	**	**		**		**		**	*	**		
Z ₁₃		*				*			**		**	**		**	**		
Z ₁₄									*			*	**				
Z ₁₅					**	**	**		**		**	**	**				
Z ₁₆		*	*														
Z ₁₇	*	*		*				*									

Objaśnienia:

Szare pola w tabeli wskazują na zależność korelacyjną pomiędzy zmiennymi Z_i , Z_j , która jest statystycznie istotna przy odpowiednich poziomach istotności * – 0,05, ** – 0,01.

W następnym etapie przeprowadzono analizę zmiennych ze względu na formę zależności w odniesieniu do zakładu wzorcowego, i tak uznano, że destymulantami są zmienne Z_3 i Z_9 . Zmienne te zamieniono w stymulanty, przemnażając je przez -1 .

Zmienne wyrażone są w różnych jednostkach; aby umożliwić dalsze analizy, poddano je procesowi unitaryzacji celem ujednoczenia i doprowadzenia do porównywalności [Kukuła, 2000]. Nowe zmienne otrzymano jako:

$$z_{i,j}^U = \frac{z_{i,j} - \min\{z_{i,j} : j = 1..15\}}{\max\{z_{i,j} : j = 1..15\} - \min\{z_{i,j} : j = 1..15\}}, i \in I$$

gdzie $I = \{1,3,9,10,16,17\}$ – zbiór indeksów zmiennych wybranych.

W dalszej analizie wykorzystano zunitaryzowane zmienne.

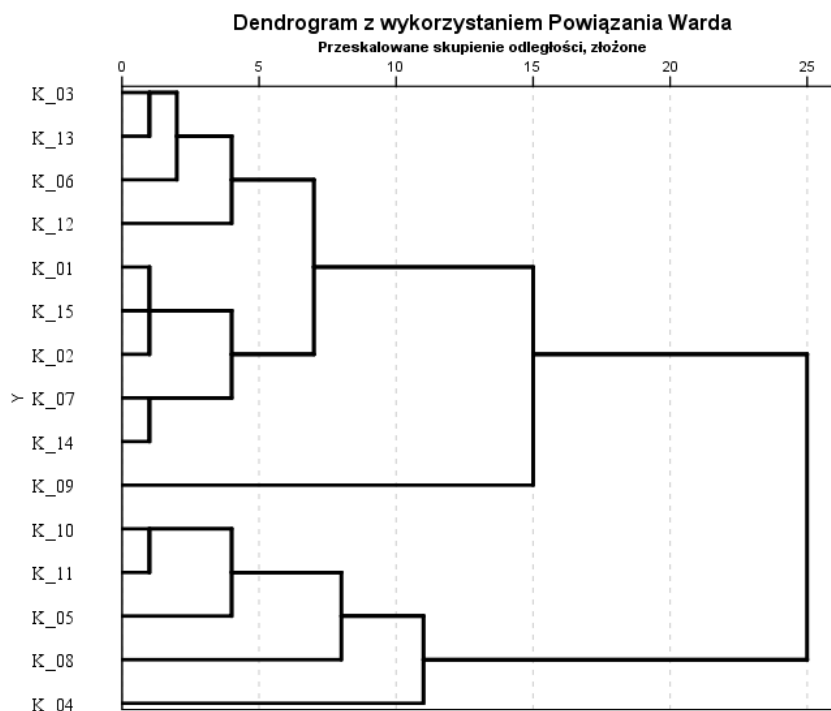
2. Klasyfikacja zakładów

Jednym z celów grupowania, klasyfikacji jest uzyskanie jednorodnych grup badanych obiektów, co sprzyja wyodrębnieniu ich zasadniczych cech. Rozróżnia się dwie główne grupy metod klasyfikacji: hierarchiczne i niehierarchiczne. Dla metod hierarchicznych najpopularniejsza jest hierarchiczna analiza skupień, a w przypadku metod niehierarchicznych – metoda k -średnich.

2.1. Hierarchiczna analiza skupień

Hierarchiczna analiza skupień jest to metoda pozwalająca na podział zbioru obserwacji na podzbiory (tzw. klastry) w taki sposób, że obiekty (zakłady produkcyjne) w tym samym klastrze są do siebie podobne. Metoda ta wywodzi się z zakresu metod eksploracji danych i odnosi się do klasyfikacji bezwzorcowej. Zauważmy, że liczba klas, na jakie zbiór zostanie podzielony, nie jest pierwotnie ustalona. Ważne dla każdej metody grupowania jest określenie zarówno metryki, na podstawie której wyznaczana jest odległość pomiędzy poszczególnymi obiektami, jak i oceny. Odległość była mierzona na podstawie metryki euklidesowej. Do najczęściej stosowanych metod oceny w przypadku hierarchicznej analizy skupień jest metoda Warda, opierająca się nie tyle na mierniku odległości, ile na analizie wariancji. Skupienia są tak dobierane, aby minimalizować sumę kwadratów odchyłeń dwóch dowolnie wybranych skupień, które mogą być uformowane na każdym etapie. Metoda ta jest uznawana za bardzo efektywną, choć prowadzi do tworzenia skupień o małej wielkości [Szamrej-Baran, 2012].

Na rys. 1 przedstawiono dendrogram otrzymany dla badanych zakładów przy zastosowaniu metody Warda. Przecinając dendrogram na różnych wysokościach, otrzymujemy różną liczbę skupień. Na tej podstawie wydaje się, że liczba skupień, jaką można rozważać, wynosi od 2 do 6.



Rys. 1. Dendrogram otrzymany dla analizowanych kopalń

W przypadku trzech skupień, przy przecięciu w granicach przeskalowanej odległości pomiędzy 13 a 14, widać pojawienie się jednej odstającej kopalni K_09. Pojawia się grupa kopalń K_04, K_05, K_08, K_10, K_11 – są to kopalnie do siebie podobne; następna grupa składa się z kopalń: K_01, K_02, K_03, K_06, K_07, K_12, K_12, K_13, K_14, K_15. W tej grupie można jeszcze wyróżnić dwa skupiska kopalń; pierwsze z nich to: K_03, K_06, K_12, K_13, a drugie: K_01, K_02, K_07, K_14, K_15.

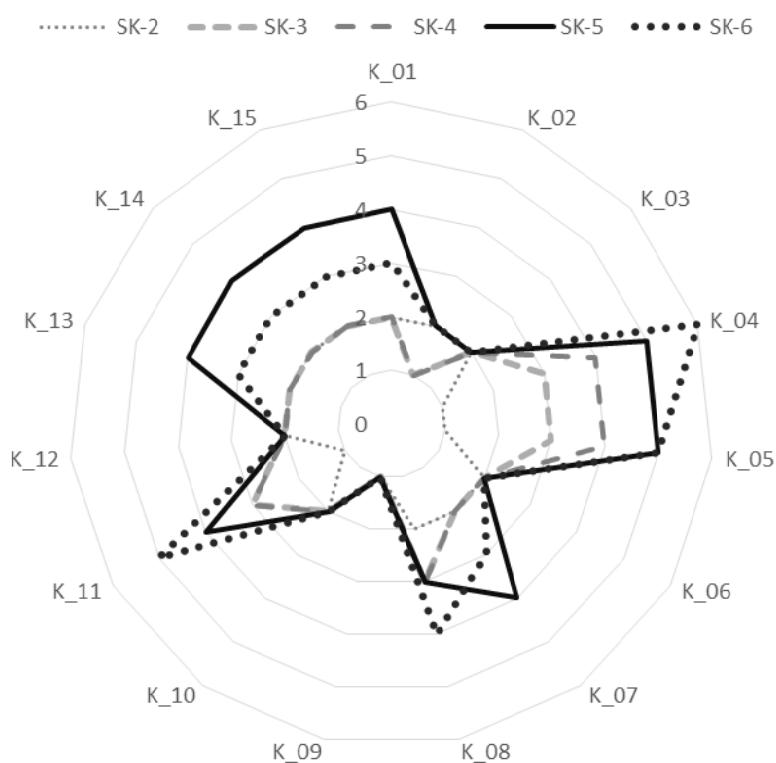
2.2. Grupowanie metodą k -średnich

Metoda k -średnich należy do metod podziałowych analizy skupień. Metody podziałowe dzielą cały zbiór obiektów zgodnie z ogólną zasadą maksymalizacji wariancji pomiędzy poszczególnymi grupami, jednocześnie minimalizując wariancję wewnątrz tworzonych grup. Metoda k -średnich należy zatem do metod optymalizacyjno-iteracyjnych. Działanie metody zaczyna się od wstępnego podziału zbioru na k skupień poprzez arbitralne przypisanie obiektów do grup. Metoda ta jest efektywna dlatego, że nie jest wyliczana odległość pomiędzy

wszystkimi parami obserwacji. Problemem w metodzie k -średnich jest jednak wyznaczenie wstępnego podziału na określoną liczbę skupień [Panek, 2009].

Podczas grupowania hierarchicznego wyznaczono, że liczba skupień, klas dla badanej grupy kopalń, przy wybranych zmiennych, może wynosić od 2 do 6. Mając ustaloną liczbę klas, zaproponowano metodę k -średnich jako metodę grupowania niehierarchicznego.

W wyniku działania algorytmu analizy skupień metodą k -średnich otrzymano dla różnej ilości klas następujący podział przedstawiony na rys. 2.



Rys. 2. Zestawienie wyników klasyfikacji kopalń do różnych klas, przy ustalonych liczbach skupisk od 2 do 6 (SK-2 do SK-6)

Na podstawie powyższych danych wskazano na rozwiązanie otrzymane dla 4 skupień. Pierwsze skupienie tworzą: K_02, K_09, drugie: K_01, K_03, K_06, K_07, K_10, K_12, K_13, K_14, K_15, trzecie: K_08, K_11, czwarte: K_04, K_05.

Na podstawie powyższych metod grupowania można otrzymać różne grupy podobnych obiektów, jednak nie są one w żaden sposób uszeregowane.

3. Wielokryterialna ocena za pomocą metody wzorca

Pozyskana na tym etapie wiedza powinna być uzupełniona o ocenę pozwalającą na uszeregowanie kopalń oraz wskazanie najlepszych i najgorszych. W celu ustalenia porządku liniowego wyznaczono metodę wzorca rozwoju. Jako wzorzec rozwoju przyjęto wektor $[1,1,1,1,1,1]$, gdyż wszystkie zmienne zostały przekształcone w stymulanty. Dla każdej z kopalń wyznaczono odległość od wzorca jako:

$$d_j = \sum_{i \in I} |z_{i,j}^u - 1|, j = 1, 2, \dots, 15$$

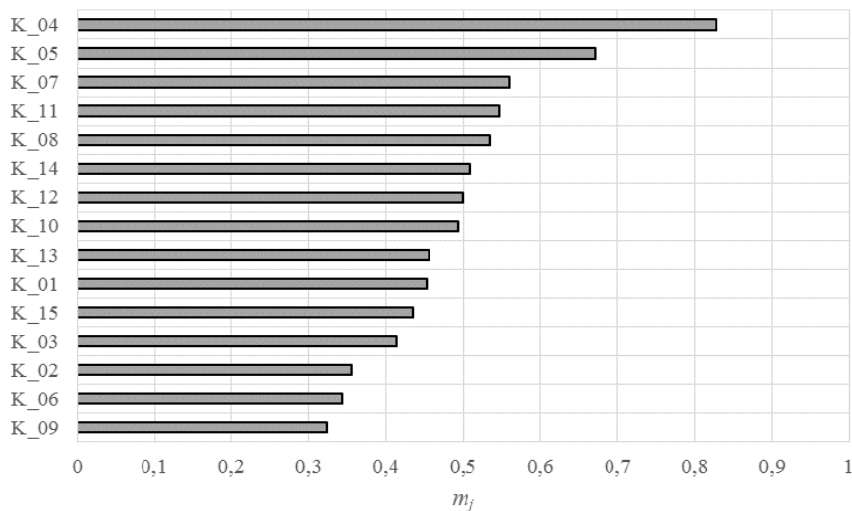
oraz wielkość miary rozwoju:

$$m_j = 1 - \frac{d_j}{6}$$

Miara rozwoju jest tak skonstruowana, że spełnia następujące własności:

- im wyższy jest poziom zjawiska złożonego, tym wyższa jest miara rozwoju,
- wartości miary rozwoju są zawarte w przedziale $[0,1]$; miara rozwoju obliczona dla wzorca jest równa jeden, dla antywzorca zaś zero.

Dodatkowo wyznaczono średnią wartość dla wzorca rozwoju równą 0,495 i odchylenie standardowe równe 0,125. Dwie kopalnie, K_04 i K_05, miały wartości miernika rozwoju powyżej średniej powiększonej o odchylenie standardowe, a kopalnie K_09, K_06, K_02 – poniżej średniej pomniejszonej o odchylenie standardowe. Na wykresie poniżej (rys. 3) przedstawiono otrzymane wartości miary rozwoju dla badanych kopalń.



Rys. 3. Otrzymany porządek liniowy na podstawie metody wzorca

Na podstawie metody porządku liniowego otrzymano, że najgorszą kopalnią jest kopalnia K_09, a najlepsze to kopalnie K_04 i K_05. Metody analizy skupień tylko częściowo potwierdziły taką sytuację.

W przypadku hierarchicznej analizy skupień otrzymano skupienie z jednym obiektem, jakim była kopalnia K_09, a analiza skupień metodą k -średnich wskazała na skupienie złożone z kopalń K_04 i K_05.

Dalsza analiza polegała na pogrupowaniu kopalń bez wskazanych K_04, K_05, K_09. Na pozostałej grupie zastosowano algorytm k -średnich, otrzymując następujące grupy:

- a) K_01, K_07, K_11, K_13, K_14, K_15,
- b) K_08,
- c) K_02, K_03, K_06, K_10, K_12.

Otrzymane grupy są już zbliżone do wyznaczonego porządku liniowego.

Podsumowanie

Uzyskane wyniki dla metod grupowania i porządkowania są porównywalne. Obiekty skrajne okazały się najlepiej identyfikowalne. Analiza skupień, po odrzuceniu elementów skrajnych, pozwoliła na zbliżenie się do otrzymanego uszeregowania metodą wzorca.

Jeśli ważne jest ustalenie pewnego uporządkowania oraz wskazania kopalni najlepszych i najgorszych, to metoda wzorca jest tu dobrym uzupełnieniem metod grupowania, i odwrotnie.

Prowadząc badania analogiczne do danych z różnych lat, można wykorzystać metody do badania rozwoju poszczególnych kopalń w kolejnych latach. Dokładna analiza odległości kopalni od wzorca może pozwalać na formułowanie działań mających na celu poprawę pozycji w rankingu.

Literatura

- Dziechciarz J., red. (2002), *Ekonometria. Metody, przykłady, zadania*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Wrocław.
- Jakowska-Suwalska K. (2012): *Wielokryterialna ocena gmin uzdrowiskowych* [w:] A. Szromek (red.), *Uzdrowiska i ich funkcja turystyczno-lecznicza*, Proksenia, Kraków.
- Jakowska-Suwalska K. (2014): *Wielokryterialna ocena przedsiębiorstw górniczych* [w:] Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Organizacja i Zarządzanie, z. 68, s. 171-180.

- Karbownik A., Wodarski K. (2010), *Metodyka wielokryterialnej oceny kopalń dla potrzeb budowy strategii spółki węglowej*, „Przegląd Górniczy”, nr 9 (1054), t. 66(CVI).
- Kukuła K. (2000), *Metoda unitaryzacji zerowej*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Panek T. (2009) *Statystyczne metody wielowymiarowej analizy porównawczej*, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa.
- Paszczka H. (2010), *Procesy restrukturyzacyjne w polskim górnictwie węgla kamiennego w aspekcie zrealizowanych przemian i zmiany bazy zasobowej*, „Górnictwo i Geoinżynieria”, R. 34, Z. 3.
- Ryś-Jurek R. (2008), *Ocena sytuacji ekonomicznej indywidualnych gospodarstw rolnych z wykorzystaniem wybranych metod ilościowych*, Monografia, Rozprawy Naukowe nr 391, Wydawnictwo Akademii Rolniczej.
- Szamrej-Baran I. (2012), *Klasyfikacja krajów UE ze względu na ubóstwo energetyczne* [w:] K. Jajuga, M. Walesiak (red.), *Taksonomia 19. Klasyfikacja i analiza danych – teoria i zastosowania*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Wrocław.
- Szwarc K. (2012), *Klasyfikacja powiatów województwa wielkopolskiego ze względu na sytuację demograficzną* [w:] K. Jajuga, M. Walesiak (red.), *Taksonomia 19. Klasyfikacja i analiza danych – teoria i zastosowania*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Wrocław.

MULTIDIMENSIONAL RATING PRODUCTION FACILITIES GROUPED IN THE PRODUCER GROUP

Summary: This article presents a multidimensional evaluation associated production facilities in the the producer group. In the case of the structure of the company is the opportunity to evaluate importance of each undertaking in relation to other grouped in the group, as well as an indication of plants similar to each other. The article presents the methods of cluster analysis and the method of pattern. These methods were used for the construction of coal mines evaluation affiliated producer group on the basis of data from 2013.

Keywords: multivariate analysis, mine, cluster analysis.