ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1992
Seria: GÓRNICTWO z. 205 Nr kol. 1179

Stanisław KRZEMIEŃ
Katedra Organizacji i Ekonomiki Górnictwa
Politechniki Śląskiej, Gliwice

WARTOŚCIOWANIE IDENTYFIKATORÓW ZAGROŻEŃ I PODZIAŁ OBIEKTÓW GÓRNICZYCH NA KATEGORIE BEZPIECZEŃSTWA

Streszczenie. W artykule przedstawiono procedurę porównania i klasyfikacji obiektów górniczych ze względu na stan bezpieczeństwa pracy opartą na taksonomicznych algorytmach grupowania i wyboru. Ustalono potencjał realizacyjny systemu bezpieczeństwa obiektu górniczego oraz funkcję tego potencjału. Stan bezpieczeństwa obiektu górniczego jest funkcją: ilości i jakości zagrożeń Z, ilości wypadków i chorób zawodowych W, ilości i jakości działań profilaktycznych S, ilości i "jakości" pracowników P oraz relacji zachodzących między Z, W, S, P. Podano sposoby normowania i agregacji cech. Dokonano podziału obiektów na zbiory statystycznie jednorodne. Określono względne różnice między podzbiorami na podstawie wyróżnika bezpieczeństwa stanowiącego odległość między punktem P_o oznaczającym idealny wzorzec bezpieczeństwa a punktami P_i stanowiącymi unormowane podzbiory cech badanych obiektów. Podano przykład wykorzystania procedur do wartościowania i klasyfikacji obiektów na powierzchni ze względu na zagrożenia wstrząsami górniczymi.

VALUATION OF HAZARD IDENTIFIERS AND DIVISION OF MINING OBJECTS INTO CATEGORIES OF SAFETY

Summary. In the paper has been presented a comparison and classification procedure of mining objects on account of work safety, based on taxonomic algorithms of grouping and selection. The realization potential of the mining objects safety system has been determined, as well as the function of this potential. The safety condition of a mining object is a function of: quantity and quality of hazards Z, amount of accidents and occupational diseases W, quantity and quality of preventive activities S, quantity and quality of employees P, and the relationships between Z, W, S, P. Methods of normalization and aggregation of characteristics have been given. Division of objects into statistically homogeneous sets has been made. Relative differences between the subsets have been determined on the basis of the safety discriminant, constituting the between P_o points denoting the ideal safety standard and P_i points constituting the normalized subsets of the characteri-

stics of the objects studied. An example has been given of applying the the procedures in the valuation and classification of the surface objects on account of mining tremor hazards.

ОЦЕНКА ИДЕНТИФИКАТОРОВ ОПАСНОСТИ И КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ОБЬЕКТОВ НА КАТЕГОРИИ БЕЗОПАСНОСТИ

Резюме. В статье представлена процедура сопоставления и классификации горных объектов по состоянию безопасности ведения работ, опирающаяся на таксономические алгоритмы группировки и выбора. Установлен реализационный потенциал системы безопасности горного объекта, а также функция этого потенциала. Состояние безопасности горного объекта является функцией: количества и качества опасностей Z, числа несчастных случаев и профессиональных заболеваний W, количества и качества профилактических действий S, количества и "качества" рабочих P, а также соотношений между Z, W, S, P. Поданы способы нормирования и агрегации признаков. Проведено деление объектов на статистически однородные множества. Определены относительные отличия между подмножествами на основании дискриминанта безопасности, являющегося расстоянием между пунктом Po, обозначающим идеальный образец безопасности и пунктами Pi, являющимися нормированными подмножествми признаков исследуемых объектов. Представлен также пример использования процедур для осценки и классификации объектов на поверхности, исходя из угрозы горных ударов.

1. WSTĘP

Jednym z ważniejszych problemów zarządzania przedsiębiorstwami górniczymi jest ich wewnętrzne porównywanie i klasyfikacja ze względu na stan bezpieczeństwa pracy. Klasyfikacja taka, przeprowadzona na podstawie ustalonej procedury badawczej może spełniać istotną rolę w wypracowywaniu optymalnych strategii decyzyjnych, może również stanowić podstawę do ustalenia zróżnicowanej składki ubezpieczeniowej, preferującej finansowo kopalnie zaliczone do grup (kategorii) niskiego ryzyka zagrożeniowego.

2. TAKSONOMICZNA PROCEDURA WARTOŚCIOWANIA CECH ZDARZEŃ NIEBEZPIECZNYCH ORAZ KLASYFIKOWANIE OBIEKTÓW GÓRNICZYCH

Pierwszym krokiem procedury jest ustalenie podzbiorów kopalń charakteryzujących się podobnym poziomem stanu bezpieczeństwa pracy (ryzyka zagrożeniowego). Celowi temu służą taksonomiczne algorytmy grupowania i wyboru.

Drugim krokiem jest ustalenie kolejności grup kopalń, a także kolejności poszczególnych kopalń w grupach. Można posłużyć się tutaj taksonomicznymi metodami hierarchizacji i np. metodą liniowego porządkowania obiektów.

Trzecim krokiem jest ustalenie wysokości składki ubezpieczeniowej ZUS dla poszczególnych kopalń uzależnionej od poziomu bezpieczeństwa pracy (ryzyka zagrożeniowego).
W opracowaniu [1] określono potencjał realizacyjny systemu bezpieczeństwa obiektu górniczego oraz funkcję tego potencjału. Pryjęto, że bezpieczeństwo obiektu jest funkcją:

$$F_B = < Z, W, S, P, R > \tag{1}$$

Z - ilości i jakości zagrożeń technosferycznych, litosferycznych i atmosferycznych (podział wg [3]),
W - ilości wypadków i chorób zawodowych,
S - ilości i jakości działań profilaktycznych,
P - ilości i "jakości" pracowników,
R - relacji (interakcji) między Z, W, S, P.

Z, W, S, P - tworzą grupy cech charakteryzujących stan bezpieczeństwa analizowanego obiektu górniczego. ***Każdej cesze należącej*** do zbioru cech "bezpieczeństwo" odpowiada wartość jednego lub kilku identyfikatorów skwantyfikowanych ilościowo lub jakościowo (zmienne ilościowe lub jakościowe).

$$\begin{aligned} Z &= \{z_1, z_2, \ldots, z_m\} \\ W &= \{w_1, w_2, \ldots, w_n\} \\ S &= \{s_1, s_2, \ldots, s_o\} \\ P &= \{p_1, p_2, \ldots, p_l\} \end{aligned} \quad \text{zbiór cech obiektu} \tag{2}$$

Przedmiotem analizy jest zbiór kopalń (obiektów) - Y

$$Y = \{y_1, y_2, \ldots, y_r\} \tag{3}$$

a także zbiór jednostek czasu (momentów lub okresów) - T

$$T = \{t_1, t_2, \ldots, t_n\} \tag{4}$$

Zagadnieniem taksonomicznym są relacje określające sposób tworzenia jednostek taksonomicznych Ω oraz przestrzeni klasyfikacji z elementów zbiorów obiektów (Y), cech (Z, W, S, P) oraz jednostek czasu (T).
Oznaczmy

$$C = \{Z, W, S, P\} \tag{5}$$

$$C = \{(z_1, z_2, \ldots, z_m), (w_1, w_2, \ldots, w_n), (s_1, s_2, \ldots, s_o), (p_1, p_2, \ldots, p_l)\}$$

Przestrzeń klasyfikacji może być utworzona przez zbiory C, Y, T, przez ich iloczyny kartezjańskie lub przez iloczyny kartezjańskie ich podzbiorów.
Przyjmijmy dla uproszczenia:

$$\begin{aligned} CY = CXY = \{&(z_1y_1, z_2y_1, \ldots, z_my_1, z_1y_2, z_2y_2, \ldots, \\ &x_my_2, \ldots, z_1y_r, z_2y_r, \ldots, z_my_r), \\ &(w_1y_1, w_2y_1, \ldots, w_ny_1, w_1y_1, w_2y_1, \ldots, \\ &w_ny_r, \ldots, w_1y_r, w_2y_r, \ldots, w_ny_r), \\ &(s_1y_1, s_2y_1, \ldots, s_oy_1, s_1y_2, s_2y_2, \ldots, \\ &s_oy_2, \ldots, s_1y_r, s_2y_r, \ldots, s_oy_r), \\ &(p_1y_1, p_2y_1, \ldots, p_1y_1, p_1y_2, p_2y_2, \ldots, \\ &p_1y_2, p_1y_r, p_2y_r, \ldots, p_1y_r)\} \end{aligned} \tag{6}$$

$$Yt = Yt = \{y_1t, y_2t, \ldots, y_rt\} \tag{7}$$

Przy określaniu wstępnego zbioru cech diagnostycznych należy mieć na uwadze charakter cechy oraz kryterium skali pomiaru cechy.

Zmienne jakościowe są mierzone w skali nominalnej i porządkowej, zmienne ilościowe mierzone są w skali przedziałowej i ilorazowej. Ponieważ w badaniach stanu zagrożenia bezpieczeństwa występują cechy o różnych kryteriach

skali pomiaru i kryteriach zbioru wartości, należy dokonać transformacji skal pomierzonych cech do jednej wybranej skali.

Kopalnie w interpretacji geometrycznej są punktami w przestrzeni cech diagnostycznych. Przyjmuje się, że przestrzeń ta powinna być przestrzenią metryczną. Ponieważ porównywać można jedynie obiekty porównywalne, ich cechy muszą tworzyć podzbiory statystycznie jednorodne. Ponieważ cechy c_i określające stan bezpieczeństwa wyrażone są w różnych, właściwych sobie jednostkach, zachodzi konieczność ich unormowania.

Normowanie można przeprowadzić przez [2]:

- przekształcene ilorazowe

$$x_i = \frac{c_{i\,min}}{c_i}, \qquad c_i \neq 0 \tag{8}$$

lub

$$x_i = \frac{c_i}{c_{i\,max}}, \qquad c_{i\,max} \neq 0 \tag{9}$$

- standaryzację

$$x_i = \frac{c_i - \bar{c}_i}{S_{c_i}}, \tag{10}$$

gdzie

$$\bar{c}_i = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} c_i,$$

$$S_{c_i} = \left[\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}(c_i - \bar{c}_i)^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{11}$$

- normalizację

$$x_i = \frac{c_i}{S_{c_i}} \tag{12}$$

- unitaryzację

$$x_i = \begin{cases} \dfrac{c_i}{c_{i\,max} - c_{i\,min}} \\[2ex] \dfrac{c_i - \bar{c}_i}{c_{i\,max} - c_{i\,min}} \end{cases} \tag{13}$$

Jako funkcje agregujące można przyjąć funkcje addytywne, np.:

$$S_i = \sum_{i=1}^{m} \alpha_i x_i \tag{14}$$

$$S_i = \frac{1}{m} \sum \alpha_i x_i \tag{15}$$

$$S_i = \frac{\sum_{i=1}^{m} \alpha_i}{\sum_{i=1}^{m} \frac{\alpha_i}{x_i}} \tag{16}$$

lub funkcje multiplikatywne

$$S_i = \prod_{i=1}^{m} (x_i)^{\alpha_i} \tag{17}$$

$$S_i = \left[\prod_{i=1}^{m} (x_i) \right]^{\frac{1}{\Sigma\alpha_i}} \tag{18}$$

gdzie:

S_i - wartość zmiennej syntetycznej,

α_i - wagi poszczególnych cech,

m - liczba agregowanych cech.

Stosując podział kopalń na zbiory statystycznie jednorodne, np. według algorytmu [4], otrzymujemy kilka możliwości i chodzi tylko o wybór jednej z nich. Z otrzymanych podziałów wybieramy ten, dla którego zachodzi nierówność:

$$F > F_{\alpha} \quad ; \quad \frac{F}{F_{\alpha}} \longrightarrow \max , \tag{19}$$

gdzie:

$$F = \frac{S^2_{mg}}{S^2_{wg}} \tag{20}$$

S^2_{mg} - wariancja międzygrupowa,

S^2_{wg} - wariancja wewnątrzgrupowa.

Przy wyborze podziału można kierować się miarą wewnętrznej spójności obiektów W^{zt} [2]:

$$W^{zt} = \frac{2}{a(a-1)} \sum d_{ik} , \tag{21}$$

gdzie:

$$d_{ik} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} |y_{ij} - y_{kj}| \tag{22}$$

a - liczba kopalń w grupie zt,

y_{ij}, y_{kj} - unormowane wartości cech w macierzy wyników.

W następnej kolejności określamy względne różnice między podzbiorami dzięki wprowadzeniu ***wyróżnika bezpieczeństwa***, tj. miary stanowiącej odległość pomiędzy abstrakcyjnym punktem P_o o współrzędnych $y_{o1}, y_{o2}, \ldots, y_{om}$ a poszczególnymi punktami $P_i (i=1.2,\ldots,N$ [1].

Punkt P_o jest tutaj wzorem idealnym, którego współrzędne spełniają warunki:

$$\begin{aligned} y_{oj} &= \max y_{ij}, \quad \text{gdy} \quad j \in s \quad (s \text{ - zbiór cech stymulant}) \\ y_{oj} &= \min y_{ij}, \quad \text{gdy} \quad j \in d \quad (d \text{ - zbiór cech destymulant}) \end{aligned} \tag{23}$$

Odległość między punktami P_i a punktem P_o obliczamy ze wzoru:

$$c_i = \left[\sum_{i=1}^{m} (y_{ij} - y_{oj})^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{24}$$

Syntetyczną miarę wyróżnika stanowi:

$$d_i = 1 - \frac{c_i}{c_o} \tag{25}$$

$$c_o = \bar{c}_o + 2s \tag{26}$$

$$s_o = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} (c_i - c_o)^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{27}$$

$$c_o = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} c_i \tag{28}$$

Dla dwóch obiektów (kopalń) O_{k_1} i O_{k_2}, przy $k_1 \neq k_2$ wyróżnik bezpieczeństwa (miarą podobieństwa zagrożeń) wyznaczamy z zależności:

$$d_{k_1,k_2} = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{m} |y^1_{kj} - y^2_{kj}| \tag{29}$$

m - liczba cech unormowanych w macierzy wyników.

Dla wyróżnionych wektorów cech unormowanych x_p i x_g wyróżnik określić możemy z zależności:

$$r_{pg} = \frac{1}{N_i}\sum_{i=1}^{N_i} x_{ip} \cdot x_{ig} \,. \tag{30}$$

3. PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA PROCEDURY DO WARTOŚCIOWANIA I KLASYFIKACJI OBIEKTÓW NA POWIERZCHNI ZAGROŻONYCH WSTRZĄSAMI GÓRNICZYMI

Przykładem zastosowania metody może być wartościowanie i klasyfikacja terenów górniczych Bytomia podzielonych umownie na obiekty idealne - parcel o wymiarach 500 x 500 m [1]. Podstawę kryterialną wartościowania i klasyfikacji stanowiły niebezpieczne zdarzenia - ***wstrząsy górnicze.***
Każda z parcel potraktowana została jako obiekt i opisana zestawem cech [1]:

$$X_j = \{x_{j,1}, X_{j,2}, \ldots, X_{j,m}\} \tag{31}$$

gdzie:

$X_{j,1}, X_{j,1}, \ldots, X_{j,m}$ - są to cechy opisujące "j-tę" parcelę na obszarze górniczym kopalni,

j - numer parceli, $j=1,2,\ldots,N$,

m - liczebność cech opisujących parcelę.

Zestaw identyfikatorów cech przyjętych do analizy obejmował:

- $X_{j,1}$ - ilość wstrząsów w "j-tej" parceli, które wystąpiły w przyjętym przedziale czasu t,
- $X_{j,2}$ - suma energii o $E \geq 10^5$ [J] wyzwolonej w j-tej parceli, w przyjętym przedziale czasu t,

$$X_{j,2} = \sum E_i \,, \tag{32}$$

gdzie:

E_i - energia "i-tego" wstrząsu w "j-tej" parceli,

- $X_{j,3}$ - średnia energia wstrząsu w "j-tej" parceli w przyjętym przedziale czasu t,

$$X_{j,3} = \frac{\sum E_i}{E_{n_i}} \tag{33}$$

gdzie:

n_i - ilość wszystkich wstrząsów w "j-tej" parceli,

- $X_{j,4}$ - stosunek ilości wstrząsów bardzo silnych o energii $\geq 10^7$ [J] o energii $\geq 10^5$ [J] w przyjętym przedziale czasu t dla danej parceli,

$$X_{j,4} = \frac{W}{\sum n_i}, \tag{34}$$

gdzie:

W - ilość wszystkich wstrząsów w "j-tej" parceli o energii $\geq 10^7$ [J] ,

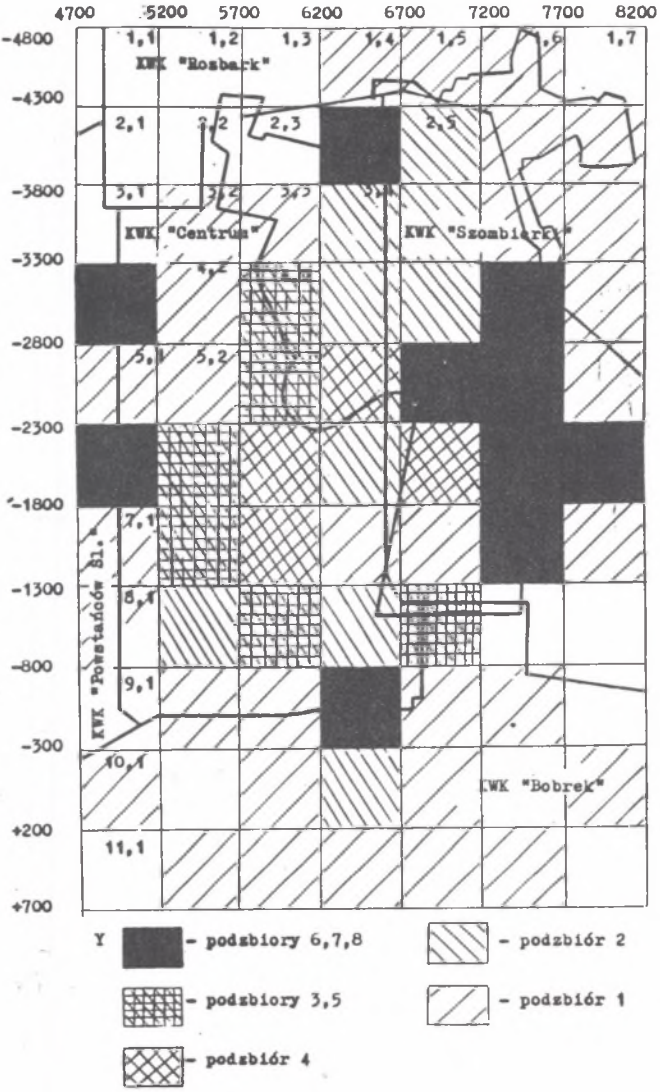
- $X_{j,5}$ - stosunek sumy energii wstrząsów o energii $\geq 10^7$ [J] do sumy energii wstrząsów o energii $\geq 10^5$ [J] dla danej parceli w przyjętym przedziale czasu t,

$$X_{j,5} = \frac{\sum_{i=1}^{W} E_i}{X_{j,2}}, \tag{35}$$

- $X_{j,6}$ - prawdopodobieństwo wystąpienia co najmniej jednego wstrząsu o energii $\geq 10^5$ [J] w danej parceli w konwencjonalnie przyjętym przedziale czasu 180 dni.

Na podstawie programu obliczeniowego przeprowadzono badania statystycznych zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami [1]. Wykorzystując metodę eliminacji, dokonano wyboru zestawu identyfikatorów cech o najmniejszych interakcjach. Obliczone wartości współczynników korelacji oraz utworzona z nich macierz incydencji pozwoliły na dokonanie wstępnej weryfikacji zbioru. Przy normowaniu cech korzystano ze standaryzacji, a przy normowaniu cech w macierzy wyników na przekształceniach ilorazowych.

Do podziału parcel na podzbiory statystycznie jednorodne korzystano z algorytmu przedstawionego w pracy [1]. Do analizy wybrano podział, przy którym stosunek F do $F_{0,05}$ był maksymalny. W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano podzbiory pozwalające wnioskować o podobieństwie parcel w podzbiorze. Określenie względnych różnic pomiędzy podzbiorami oraz parcelami nastąpiło w wyniku obliczenia wyróżnika bezpieczeństwa (w tym przypadku: wyróżnika aktywności sejsmologicznej) danego wzorem (29). Wyróżnik ten stanowi wypadkową cech parametrów) zestawu diagnostycznego i umożliwia uszeregowanie parcel wewnątrz podzbiorów.



Rys. 1. Graficzne przedstawienie stopnia zagrożenia wstrząsami eksploatacyjnymi parcel powierzchniowych obszarów górniczych w rejonie Bytomia

Fig. 1. Graphic representation of the degree of hazard from mining tremors of surface plots of the mining areas in Bytom region

Na rysunku 1 przedstawiono podział terenów górniczych w rejonie Bytomia na parcele o wymiarach 500 x 500 m i ich klasyfikację ze względu na stopień zagrożenia powierzchni wstrząsami górniczymi [1]. Przedstawione tutaj w formie granicznej wyniki można zinterpretować w następujący sposób:

1. Parcele wchodzące w podzbiory jednorodne 6, 7 i 8 zajmują 10 pierwszych lokat pod względem wartości wyróżnika aktywności sejsmologicznej. W parcelach tych co najmniej 75% energii wyzwolonej jest ze wstrząsów o $E \geq 10^7$ [J]. Tym samym istniejące obiekty na powierzchni w tych parcelach wymagać będą priorytetowych działań profilaktycznych. Obiekty przewidywane do lokalizacji na tych terenach muszą mieć zaostrzone kryteria konstrukcyjno-projektowe (PN-85)B-02170).

2. Parcele podzbiorów 3 i 5 charakteryzują się dużą aktywnością sejsmologiczną, a udział sumy energii wstrząsów silnych powyżej 10^7 [J] stanowi 25-60% sumy energii wszystkich wstrząsów o energii większej od 10^5 [J]. Zamierzenia profilaktyczne mniej zaostrzone w stosunku do parcel podzbiorów 6, 7 i 8. Lokaty wyróżnika aktywności sejsmologicznej zajmują miejsca od 11 do 16.

3. Parcele podzbioru 2 i 4 charakteryzują się dużą częstością wstrząsów, lecz o energii $< 10^7$[J]. Duża ilość wstrząsów może być uciążliwa w tym obszarze. Parcele podzbiorów 2 i 4 przylegają do parcel o wzmożonej aktywności sejsmologicznej. stąd w przyszłości możliwy jest w tych obszarach wzrost zagrożenia.

4. Parcele podzbioru 1 charakteryzują się małą aktywnością sejsmologiczną. Działania profilaktyczne mogą mieć tutaj zakres ograniczony.

Dane sejsmologiczne wykorzystane w przykładzie pochodzą z roku 1988. Obliczenia powinny być aktualizowane co pół roku.

4. ZAKOŃCZENIE

Przedstawiony przykład obliczeniowy to tylko jeden z możliwych obszarów zastosowania procedur taksonomicznych w problematyce bezpieczeństwa górniczego. W Katedrze Organizacji i Ekonomiki Górnictwa Politechniki Śląskiej realizowany jest problem badawczy w ramach prac BW pt.: "Porównywanie i klasyfikowanie kopalń węgla kamiennego ze względu na stan bezpieczeństwa pracy, z uwzględnieniem modedelu motywacyjnego zróżnicowania składki ubezpieczenia wypadkowego ZUS".

LITERATURA

[1] *Krzemień St.*: Systemowo-informacyjne modele oceny stanu zagrożenia wstrząsami górniczymi w kopalniach węgla kamiennego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Górnictwo. Nr 198/1991.

[2] *Przybyła H.*: Wybrane problemy wielowymiarowej analizy porównawczej w odniesieniu do zagadnień górniczych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Górnictwo Nr 139/1985.

[3] *Ryncarz T.*: O systematycznej klasyfikacji zagrożeń występujących w górnictwie podziemnym. Kwartalnik AGH. Górnictwo. Zeszyt 3. Kraków 1983.

[4] *Siedlecka U.*: Zastosowanie metody taksonomii stochastycznej do dyskryminacji zbiorów skończonych. Przegląd Statystyczny Nr 4. PWN, Poznań 1976.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. **Jan STACHOWICZ**

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1992 r.