

Agnieszka GORNIG  
Politechnika Śląska, Gliwice

## PROGNOZA ILOŚCI MIESZANKI ENERGETYCZNEJ W OPARCIU O WYNIKI KLASYFIKACJI PRÓBEK WĘGLA

**Streszczenie.** W referacie przedstawiono prognozę ilości mieszanki energetycznej, która może być wykorzystana w modelu bazy wiedzy dla systemu ekspertowego w zakładzie górniczym. Przeprowadzono wielokrotnie jednoetapową klasyfikację próbek węgla znajdujących się w bazie danych i wskazano optymalny ich podział. Dla 12 klas węgla przedstawiono prognozę ilości mieszanki energetycznej. Wskazano przykładowe funkcje systemu ekspertowego wykorzystującego utworzoną prognozę.

## THE PROGNOSIS OF ENERGETIC BLEND QUANTITY BASED ON THE RESULTS OF COAL SAMPLES CLUSTERING

**Summary.** In the article a prognosis of energetic blend quality is presented. This prognosis can be used in the model of knowledge base constructed for the expert system in the mining. Many times the 1-stage clustering of coal samples from data base was done. As the result optimal classification is pointed. Based on 12 coal clusters the prognosis of energetic blend quantity is formed. Examples of expert system functions, which utilize formed prognosis, are suggested.

### 1. Idea systemu ekspertowego w zakładzie przeróbki surowców mineralnych

Złożona charakterystyka jakościowa surowców mineralnych, a także liczne potrzeby odbiorców produktów otrzymywanych z tych surowców powodują konieczność przeprowadzenia kolejno znacznej liczby operacji jednostkowych, przybliżających stopniowo cechy jakościowe materiału wejściowego (surowca) stanowiącego nadawę procedury utylizacyjnej do zamierzonych cech jakościowychżądanego produktu wyjściowego (końcowego) [15]. Więk-

szość tych operacji służy uzyskaniu z materiału wejściowego (nadawy) lub z surowców wtórnych kilku produktów o właściwościach wzajemnie zróżnicowanych, odpowiadających standardom określonego produktu użytecznego. Zatem różnica pomiędzy urobkiem z podziemia kopalń a produktem docierającym do klientów jest istotą działalności kopalnianych zakładów wzbogacania węgla. Obróbka w zakładach wzbogacania przeobraża górniczy urobek w towar o wartości handlowej.

Zakłady przeróbki surowców mineralnych posiadają strukturę złożoną z wielu pojedynczych procesów, tworzących ciągi technologiczne o określonych zadaniach. Surowy materiał uziarniony, zanim stanie się produktem handlowym, poddawany jest procesom przeróbki mechanicznej i chemicznej, których celem jest rozdrobnienie zbyt dużych ziarn, rozdział materiału na klasy ziarnowe przez przesiewanie, rozdział na frakcje o różnej zawartości składnika użytecznego dla uzyskania produktów handlowych o wysokiej jakości, mieszanie materiałów o różnej zawartości składnika użytecznego, uśrednianie materiału ze względu na wybrany parametr i inne. Oprócz ww. operacji występują systemy realizujące procesy pomocnicze, do których należą: system zamkniętego obiegu wody, układy regulacji gęstości cieczy ciężkich, układy regulacji pulsacji dla osadzarek, urządzenia filtracji, suszenia, transportu, itp. Kontrola bieżąca i regulacja automatyczna oraz optymalizacja zadań całego zakładu wymagają mierzenia, rejestracji i analizy wielu parametrów.

Celowe jest stworzenie systemu ekspertowego w zakładzie przeróbki surowców mineralnych, który obejmowałby m.in.:

- bazy wiedzy zawierające charakterystyki materiału, charakterystyki statyczne procesów, pomiary,
- modele procesów i algorytmy identyfikacji,
- procedury pomiarowe z uwzględnieniem błędów wielkości mierzonych,
- kryteria sterowania pojedynczych procesów,
- plany produkcji i sprzedaży produktów.

System ekspertowy powinien operować takimi pojęciami, jak: ceny, koszty, zyski, rentowność, oraz obejmować: wycenę kosztów funkcjonowania poszczególnych operacji w powiązaniu z różnymi czynnikami składającymi się na warunki przebiegu procesu, określenie ilościowego wpływu poszczególnych operacji procesu na jego wyniki ilościowe i jakościowe, określenie wartości rynkowej głównych produktów przejściowych oraz końcowych etapów procesów [4].

Każdy proces technologiczny realizuje się z przyjętym celem [15]. Do oceny stopnia osiągnięcia tego celu służy określenie skuteczności procesu. Jest to stosunek rzeczywiście osiągniętych wyników procesu do wyników założonych, przewidywanych lub teoretycznie możliwych do osiągnięcia. Przy ocenie skuteczności procesów technologicznych występują różnorodne wymagania szczegółowe. Realizacja wieloproduktowych procesów technologicznych może wymagać określenia ich skuteczności zarówno w odniesieniu do wybranego, pojedynczego produktu, jak i do grupy kilku lub wszystkich produktów, przy czym indywidualne charakterystyki produktów mogą uzasadniać zróżnicowane traktowanie ich rangi gospodarczej [15]. Otrzymane, w wyniku zastosowania metod klasyfikacji typu clustering, klasy węgla mogą być wykorzystywane m.in. do oszacowania ilości mieszanki energetycznej o zadanych parametrach jakościowych oraz do prognozowania wartości tej mieszanki będącej produktem handlowym.

Zmienna jakość węgla wpływa na różne jego wartości gospodarcze. Decyduje to o złożoności wyznaczania poprawnych relacji pomiędzy jakością węgla a jego ceną. Dlatego system cen oparty na właściwościach technologicznych węgla powinien uwzględniać indywidualne cechy każdego urobku. Dla producentów węgla korzystniejsze jest funkcjonowanie indywidualnych cenników węglowych dostosowanych do oferty jakościowej węgla tego zakładu [4]. Stworzenie takich cenników wymaga znajomości klas węgla, które powinny jak najwierniej przedstawiać właściwości węgla. Rozwiązaniem może być wyznaczenie rzeczywistych klas węgla w oparciu o istniejący zbiór właściwości węgla i przyjęte formuły cenowe. Klasyfikacja danych umożliwia wyznaczenie rzeczywistych klas węgla, które stanowią wiedzę potrzebną w sterowaniu procesami technologicznymi i przy podejmowaniu decyzji związanych ze sterowaniem.

## **2. Propozycja modelu wiedzy o ilości mieszanki energetycznej**

Tworzenie systemu ekspertowego dla dużego przedsiębiorstwa jest zadaniem wieloetapowym. Jednym z etapów jest utworzenie bazy wiedzy o materiale poddawanych wzbogacaniu. Wiedzę tę można wykorzystać do prognozowania ilości mieszanki energetycznej o zadanych parametrach utworzonej z węgla surowego, którego dane ilościowo-jakościowe stanowią podzbiór bazy wiedzy.

## 2.1. Wyznaczenie optymalnych klas węgla

W artykule tym prezentowana jest analiza typu clustering zastosowana dla danych reprezentujących właściwości węgla energetycznego. Proponuje się wprowadzenie klas węgla jak najlepiej odzwierciedlających strukturę populacji ze względu na udział frakcji o gęstości  $\rho < 1800 \text{ kg/m}^3$ , w której zawartość popiołu nie przekracza 22%. Do analizy wykorzystano zbiór danych [14] zawierający wyniki pomiarów właściwości próbek węgla. Zbiór danych KWK „Knurów” obejmuje dane ilościowo-jakościowe. Dane te zawierają informacje o zawartości frakcji ziaren węgla w przedziałach o określonej gęstości oraz o procentowej zawartości popiołu w tych frakcjach. Kolejne zmienne określają:

$x_1$  - udział (wyrażony ułamkiem) frakcji ziaren węgla o gęstości  $\rho < 1300 \text{ kg/m}^3$ ,

$x_2$  - udział frakcji ziaren węgla o gęstości  $1300 < \rho < 1500 \text{ kg/m}^3$ ,

$x_3$  - udział frakcji ziaren węgla o gęstości  $1500 < \rho < 1800 \text{ kg/m}^3$ ,

$x_4$  - udział frakcji ziaren węgla o gęstości  $\rho > 1800 \text{ kg/m}^3$ ,

$x_5$  - zawartość popiołu we frakcji pierwszej o gęstości  $\rho < 1300 \text{ kg/m}^3$ ,

$x_6$  - zawartość popiołu we frakcji drugiej o gęstości  $1300 < \rho < 1500 \text{ kg/m}^3$ ,

$x_7$  - zawartość popiołu we frakcji trzeciej o gęstości  $1500 < \rho < 1800 \text{ kg/m}^3$ ,

$x_8$  - zawartość popiołu we frakcji czwartej o gęstości  $\rho > 1800 \text{ kg/m}^3$ .

W analizie wykorzystano zmodyfikowany, względem algorytmu, który w 1981 r. przedstawił Bezdek [1], algorytm grupowania wokół c-centroid opisany we wcześniejszych pracach autorki [7].

Przeprowadzona klasyfikacja jest jednoetapowa. O podziale próbek węgla decydują dwie zmienne:  $fr_{123}$  - sumaryczny wychód dla gęstości mniejszej niż  $1800 \text{ kg/m}^3$  oraz  $A_{0123}$  - sumaryczna zawartość popiołu w tym wychodzie. Zmienne te zostały wyznaczone w oparciu o parametry występujące w pierwotnej bazie danych według wzorów:

$$fr_{123} = x_1 + x_2 + x_3 \quad (1)$$

$$A_{0123} = \frac{(x_1 \cdot x_5) + (x_2 \cdot x_6) + (x_3 \cdot x_7)}{x_1 + x_2 + x_3} \quad (2)$$

Zbiór próbek węgla poddano wielokrotnie klasyfikacji, przyjmując liczbę klastrów z przedziału  $c \in \langle 5; 50 \rangle$ . Otrzymano 46 podziałów. Dobór wartości skrajnych liczby klastrów

jest arbitralny i wynika z dążenia do nietworzenia ani klastrów jednoelementowych, ani klastrów bardzo licznych.

W celu doboru optymalnej liczby klas z przedziału  $\langle 5; 50 \rangle$  zaproponowano jako kryterium miary oceny rozmytości podziału. Aby móc wykorzystać wymienione miary, należy przeprowadzić rozmycie uzyskanych optymalnych podziałów dla zadanej liczby klas  $k$ .

Dokonano rozmycia uzyskanych podziałów. Dla każdej próbki węgla wyznaczono współczynniki przynależności do poszczególnych klastrów węgla, określające stopień podobieństwa próbki węgla względem każdego klastra. Współczynniki przynależności wyliczono ze wzorów:

$$\mu_{ik} = \frac{1 - d(x_i, v_k)}{c - \sum_{j=1 \dots c} \sum_{i=1 \dots n} d(x_i, v_j)} \quad (3)$$

$$\mu_{ik} = \frac{1}{\sum_{i=1 \dots n} \sum_{j=1 \dots c} \frac{1}{d(x_i, v_j)}} \quad (4)$$

gdzie:

$d(x_i, v_k)$  - odległość pomiędzy  $i$ -tą próbką węgla a centroidą  $k$ -tego klastra,

$v_k$  - centroida  $k$ -tego klastra,  $k = 1, \dots, 50$ ,

$c$  - liczba klastrów.

Współczynniki przynależności  $\mu_{ik}$  przyjmują wartości z przedziału  $\langle 0; 1 \rangle$ . Zachodzi relacja, że suma wartości współczynników przynależności dla danej próbki względem każdego klastra  $k$  wynosi 1.

W oparciu o wyznaczone współczynniki przynależności obliczono następujące miary oceny rozmytości podziału:

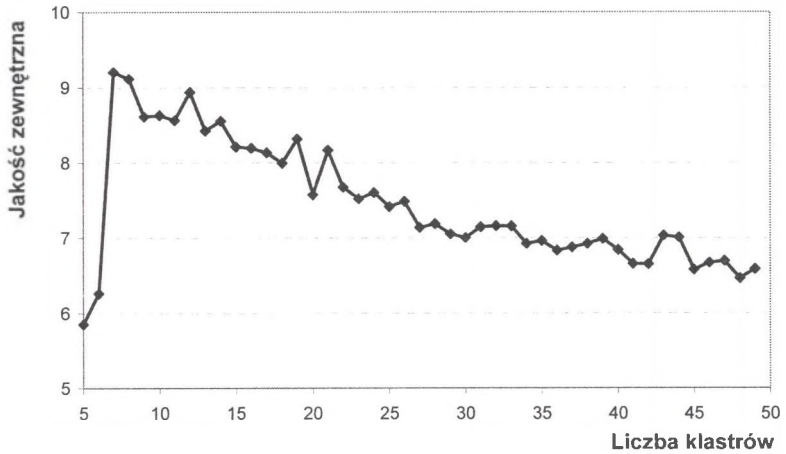
- współczynnik podziału Dunna,
- entropia podziału,
- jakość wewnętrzna podziału,
- jakość zewnętrzna podziału.

Miary oceny rozmytości podziału: współczynnik podziału Dunna, entropia podziału i jakość wewnętrzna podziału nie mają trendu polepszania się wraz z dodaniem kolejnej jednej klasy. Dlatego nie należy się nimi posługiwać do wskazania optymalnej liczby klas.

Jako kryterium doboru optymalnej liczby klas przyjęto jakość zewnętrzną podziału określającą stopień niepodobieństwa klas względem siebie. Tym lepszy podział, im próbki należące do różnych klastrów są do siebie bardziej niepodobne. Wobec tego podział jest tym lepszy,

im większa jest wartość jakości zewnętrznej. Rysunek 1 przedstawia wartości jakości zewnętrznej dla podziałów próbek węgla na liczbę klastrów z przedziału  $\langle 5, 50 \rangle$ .

Istnieją lokalne optima dla liczby podziałów: 12, 19, 21, 33. Jako rozwiązanie optymalne przyjęto podział na 12 klastrów.



Rys. 1. Jakość zewnętrzna podziału mierzona sumą odległości próbek węgla należących do różnych klastrów; liczba klastrów od 5 do 50

Fig. 1. Outside quality coefficient as a sum of distances between coal samples, which belong to different clusters; number of cluster is 5 ... 50

W tabelicy 1 przedstawiono wartości współrzędnych centroid  $fr_{123}$  oraz  $A_{0123}$ , które decydują o podziale próbek węgla w optymalnym podziale na 12 klastrów.

Tablica 1  
Wartości centroid przy podziale uwzględniającym frakcję  $fr_{123}$   
o gęstości mniejszej niż  $1800 \text{ kg/m}^3$   
oraz  $A_{0123}$ - zawartość popiołu w tej frakcji węgla

| Nr klasy | $fr_{123}$ | $A_{0123}$ |
|----------|------------|------------|
| 1        | 0,8477     | 6,1724     |
| 2        | 0,7433     | 6,9922     |
| 3        | 0,6387     | 6,9993     |
| 4        | 0,7659     | 9,6982     |
| 5        | 0,7143     | 5,9353     |
| 6        | 0,6822     | 7,1809     |
| 7        | 0,7839     | 6,652      |
| 8        | 0,5774     | 9,6642     |
| 9        | 0,6544     | 9,1782     |
| 10       | 0,7141     | 8,3234     |
| 11       | 0,6971     | 12,1114    |
| 12       | 0,9305     | 21,5513    |



Kolejnym etapem analizy jest przypisanie wartościom centroid ze zbioru liczb rzeczywistych – wartości lingwistycznych ze zbioru {„b. mało”, „mało”, „średnio”, „dużo”, „b. dużo”}. Wprowadzone wartości lingwistyczne będą wykorzystane przy tworzeniu reguł będących bazą wiedzy systemu ekspertowego wykorzystywanego w przedsiębiorstwie górnictwym.

W tabelicy 2 przedstawiono wartości lingwistyczne centroid dwunastu klastrów przy klasyfikacji uwzględniającej 2 zmienne sumaryczne.

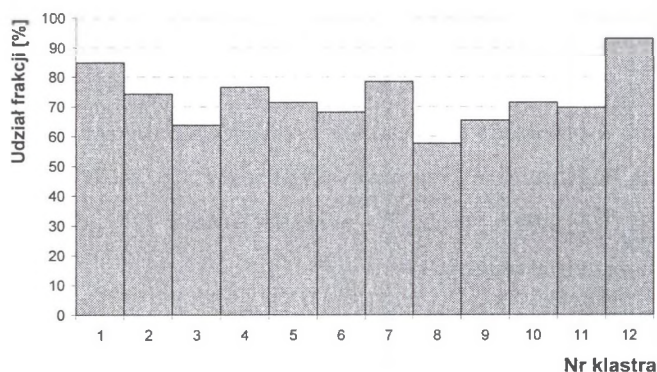
Udział frakcji gęstości  $\rho < 1800 \text{ kg/m}^3$  przyjmuje wartości z przedziału  $<0,5774; 0,9305>$ . Ponieważ w przedziale tym wartości rozkładają się równomiernie, wobec tego następujące zmienne lingwistyczne przypisano przedziałom: „b. mało” – przedział  $<0; 0,6>$ ; „mało” – przedział  $(0,6; 0,66>$ ; „średnio” – przedział  $(0,66; 0,73>$ ; „dużo” – przedział  $(0,73; 0,85>$ ; „b. dużo” – przedział  $(0,85; 0,95>$ .

Zawartość popiołu w badanej frakcji (zmienna  $A_{O123}$ ) waha się w przedziale  $<5,9353; 21,5513>$ . Jest to zawartość popiołu poniżej wartości granicznej węgla wzorcowego (energetycznego), choć zawartość popiołu dla ostatniej klasy jest zbliżona do parametru węgla energetycznego (22%). W przedziale tym występuje pojedyncza wartość skrajna maksymalna 21,5513, wobec tego można stwierdzić, że grupa dwunasta wyróżnia się dużą zawartością popiołu w badanej frakcji. Następujące wartości lingwistyczne przypisano przedziałom: „b.mało” – przedział  $<5,5; 6,8>$ ; „mało” – przedział  $(6,8; 8>$ ; „średnio” – przedział  $(8; 11>$ ; „dużo” – przedział  $(11; 15>$ ; „b.dużo” – przedział  $(15; 22>$ .

Tablica 2  
Lingwistyczne wartości  
centroid podziału optymalnego na 12 klas węgla

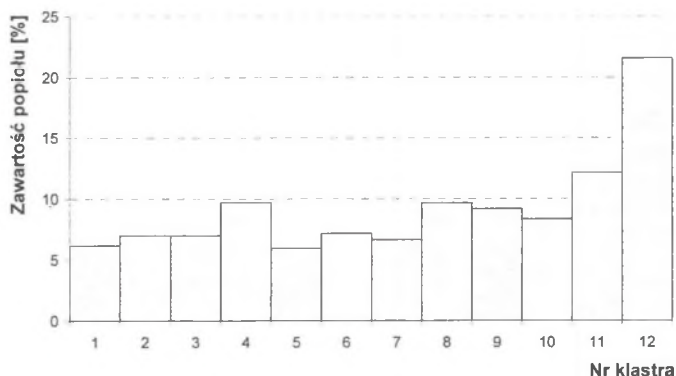
| Nr klasy | $fr_{123}$ | $A_{O123}$ |
|----------|------------|------------|
| 1        | b.dużo     | b.mało     |
| 2        | dużo       | mało       |
| 3        | mało       | mało       |
| 4        | dużo       | średnio    |
| 5        | średnio    | b.mało     |
| 6        | średnio    | mało       |
| 7        | dużo       | b.mało     |
| 8        | b.mało     | średnio    |
| 9        | mało       | średnio    |
| 10       | średnio    | średnio    |
| 11       | średnio    | dużo       |
| 12       | b.dużo     | b.dużo     |

Na rysunku 2 przedstawiono udział sumarycznej frakcji  $fr_{123}$  o gęstości  $\rho < 1800 \text{ kg/m}^3$  dla podziału na optymalnych 12 klastrów przy kryterium najwyższej wartości (optimum lokalne) miary rozmytości – jakości zewnętrznej. Rysunek 3 prezentuje procentową zawartość popiołu we frakcji  $fr_{123}$  dla tego samego optymalnego podziału.



Rys. 2. Wartości udziałów frakcji gęstościowej dla centroid dwunastu klastrów przy klasyfikacji uwzględniającej 2 zmienne sumaryczne

Fig. 2. Values of density fractions for 12 clusters centroids according to clustering based on 2 summary variables



Rys. 3. Procentowe zawartości popiołu we frakcji gęstościowej w centroidach dwunastu klastrów przy klasyfikacji uwzględniającej 2 zmienne sumaryczne

Fig. 3. Values of ash contents in fractions for 12 clusters centroids according to clustering based on 2 summary variables

Występuje zróżnicowanie wartości zmiennych centroid. Zawartość badanej frakcji (na rysunku 2) o gęstości mniejszej niż  $1800 \text{ kg/m}^3$  jest powyżej 50%. Największy udział frakcji uzyskała grupa dwunasta (93%), a najmniejszy – grupa ósma (58%).

Zawartość popiołu w badanej frakcji gęstościowej charakteryzuje się dużą rozpiętością wartości (rysunek 3). Grupa piąta ma bardzo niską zawartość popiołu (około 6%). Większość



grup charakteryzuje się niską zawartością popiołu (poniżej 10%). Jedyne grupa jedenasta (12%) ma zawartość popiołu zbliżoną do parametru węgla wskaźnikowego, a grupa dwunasta (22%) ma zawartość popiołu zbliżoną do parametru węgla energetycznego. Dwunasta grupa najlepiej odpowiada zapotrzebowaniu na węgiel energetyczny.

## 2.2. Utworzenie wiedzy o ilości mieszanki energetycznej z wykorzystaniem optymalnych klas węgla

Jednym ze sposobów przygotowania produktu handlowego przez zakład górniczy jest tworzenie mieszanek energetycznych. W Polsce tworzy się mieszanki energetyczne z węgla surowego i węgla wzbogaconego. Wynika to z potrzeb rynku. Zachodzące zmiany związane z zaostreniem wymagań ochrony środowiska powodują, że coraz mniej opłacalne staje się stosowanie gorszego jakościowo węgla. Mieszanki można tworzyć w różny sposób, mieszając w odpowiednich proporcjach dwie strugi węgla o różnych właściwościach jakościowych. Może to być mieszanie koncentratu z osadzarki m.in. z [5]:

- boczniową strugą miału surowego,
- boczniową strugą miału surowego przy równoczesnej produkcji miału wzbogaconego,
- materiałem ze zwału,
- koncentratem uzyskiwanym z równoległe pracującego wzbogacalnika.

Istotnymi parametrami procesu produkcji mieszanki energetycznej są:

- parametry węgla surowego,
- parametry koncentratu,
- parametry mieszanki jako produktu końcowego.

Zadaną zawartość popiołu w mieszance  $A_m$  uzyskuje się dla danej proporcji materiału kierowanego do wzbogacania i do bocznej strugi przez odpowiedni dobór gęstości rozdziału osadzarki [5].

Wyniki przeprowadzonej jednoetapowej klasyfikacji próbek węgla w postaci parametrów  $(fr_i, A_{oi}, n_i)$ , gdzie indeks  $i$  oznacza numer klastra w podziale uwzględniającym zawartość frakcji o gęstości mniejszej niż  $1800 \text{ kg/m}^3$  oraz zawartość popiołu w tej frakcji, posłużą do symulacji, w której przewidywana jest ilość mieszanki o zadanych parametrach. Dla obliczeń przyjęto następujące założenia:

- zawartość popiołu w mieszance  $A_m = 20\%$ ,
- stała zawartość popiołu w nadawie  $A_s = 24\%$ ,
- zawartość popiołu  $A_k$  w koncentracie uzyskanym przy stałej gęstości rozdziału  $1800 \text{ kg/m}^3$  jest zmienna i wynosi  $A_{oi}$ , zgodnie z wynikami klasyfikacji.

Możliwe do uzyskania proporcje ilości mieszanki ( $Q_m$ ) do ilości koncentratu ( $Q_k$ ) wyznaczono ze wzoru [5], [6]:

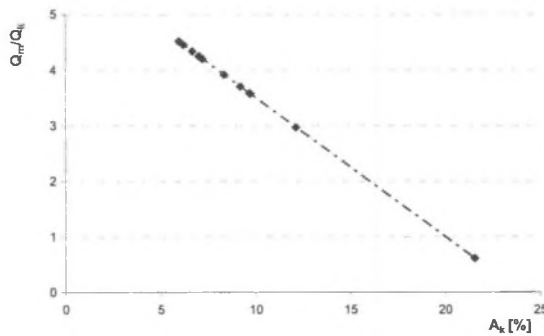
$$\frac{Q_m}{Q_k} = \frac{A_s - A_k}{A_s - A_m} \quad (5)$$

gdzie

$Q_k$  – ilość koncentratu,  $Q_k = w_i f r_i$ ,

$w_i$  – waga wyznaczona na podstawie liczebności  $i$ -tego klastra.

Zależność [5] jest funkcją liniową względem  $A_k$ . Jej przebieg dla  $A_k = A_i$  w poszczególnych klastrach przedstawia rysunek 4. Dodatkowo wprowadzono na rysunku linię trendu o równaniu:  $Q_m/Q_k = -0,25 A_k + 6$ .



Rys. 4. Względna zależność ilości mieszanki do ilości koncentratu od zawartości popiołu w koncentracie dla dwunastu klastrów

Fig. 4. Relative dependence between quantity of energetic blend to quantity of concentration and ash content in concentration for 12 clusters

Przedstawione obliczenia pokazują możliwość zastosowania wyników klasyfikacji typu clustering dla oszacowania efektów mieszania materiałów o różnym składzie. Przy zadanych parametrach  $A_m$  i  $A_s$  oraz wyliczonej proporcji  $Q_m/Q_k = k_j$  można również wyznaczyć wartość masy mieszanki  $M_m$ , przy założeniu że całkowita masa materiału poddanego klasyfikacji typu clustering wynosiła  $M$ , a całkowita frakcja o gęstości mniejszej niż  $1800 \text{ kg/m}^3$  wejdzie w skład mieszanki:

$$M_m = M \sum_{i=1}^{12} w_i f r_i \quad (6)$$

gdzie

$w_i$  - wagi wyznaczone na podstawie liczności poszczególnych klastrów.

### 3. Propozycje wykorzystania utworzonej bazy wiedzy o ilości mieszanki energetycznej

Powyższa baza wiedzy może być zastosowana, w dalszej pracy, w systemie ekspertowym, który potrafi prognozować produkcję węgla jako produktu energetycznego. Stanowi on bazę wiedzy o klasach węgla charakteryzowanych przez parametry spełniające wymagania energetyki polskiej. Przykładowe funkcje systemu ekspertowego wykorzystującego utworzoną ww. bazę wiedzy:

- prognoza ilości mieszanki energetycznej o zadanych parametrach jakościowych jako oferty sprzedaży z przeznaczeniem dla branży energetycznej,
- prognoza ceny (wskaźnika cenowego) mieszanki energetycznej o zadanych parametrach jakościowych w ofercie sprzedaży,
- prognoza zużycia składników (produktów wejściowych) do produkcji mieszanki energetycznej o zadanych parametrach jakościowych.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Bezdek J.C.: *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*. New York. Plenum Press 1981.
2. Blaschke W.: *Problemy produkcji czystych węgli jako źródła wytwarzania czystej energii*. Międzynarodowa Konferencja „Przyszłość węgla w gospodarce świata i Polski”. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi PAN, Kraków-Katowice. Wyd. GIPH, Katowice 2004.
3. Blaschke W.: *Problematyka cen węgla kamiennego w polskim kompleksie paliwowo-energetycznym*. Przegląd Górniczy nr 6. Wydawnictwo ZG Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Górnictwa, Katowice 2002.
4. Blaschke W.: *System cen energetycznego węgla kamiennego*. Studia, Rozprawy, Monografie 77. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2000.
5. Cierpisz S.: *Automatyzacja zakładów przeróbki mechanicznej węgla*. Mat. Konf. pt. Automatyzacja zakładów przeróbki mechanicznej węgla. Szczyrk 1995, s. 1-13.
6. Cierpisz S.: *Optymalizacja produkcji jednego zakładu i grupy zakładów wzbogacania węgla*. XI Konferencja Automatyzacji Procesów Przeróbki Kopaliny. Materiały konferencyjne, Szczyrk 2005.
7. Fayyad U. M.: *Data Mining and Knowledge Discovery: Making Sense Out of Data*. Microsoft Research, IEEE Expert 11, 1996.
8. Gornig A.: *Zastosowanie metod klasyfikacji danych w analizie jakości węgla* (praca doktorska). Gliwice 2006.

9. Jagielski J.: Inżynieria wiedzy w systemach ekspertowych. Lubuskie Towarzystwo Naukowe, Zielona Góra 2001.
10. Kowal A.: Zmodyfikowany algorytm grupowania próbek węgla wokół c-centroidów. Konferencja Naukowa Górnictwo Zrównoważonego Rozwoju 2002, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, z. 255, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
11. Lorenz U., Blaschke W., Grudziński Z.: Propozycja nowej formuły sprzedażnej węgla energetycznego przeznaczonego dla energetyki zawodowej. Studia, Rozprawy, Monografie nr 112. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2002.
12. Lorenz U.: Metoda oceny wartości węgla kamiennego energetycznego uwzględniająca skutki jego spalania dla środowiska przyrodniczego. Studia, Rozprawy, Monografie 64. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 1999.
13. Mielecki T.: Wiadomości o badaniu i własnościach węgla. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1972.
14. Praca Instytutu Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. Przeprowadzenie badań dynamicznych właściwości nadawy na zakład przeróbczy. Gliwice 1980. NB-124/RG1/80 (niepublikowane).
15. Smakowski T., Budka J.: Ceny transakcyjne węgla kamiennego. Mat. Sympozjum „Koncepcje racjonalnych zmian systemowych i organizacyjnych w górnictwie węgla kamiennego”. Wyd. GIG, Katowice 1989.
16. Sztaba K.: Identyfikacja i ocena wybranych właściwości surowców mineralnych oraz procesów ich przeróbki. Praca zbiorowa. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2003.
17. Zimmermann H.-J.: Fuzzy Set Theory and its Applications. Second, Revised Edition. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, the Netherlands. 399 s. 1992.

Recenzent: Dr hab. inż. Anna Walaszek-Babiszewska