

Agnieszka GORNIG  
Politechnika Śląska, Gliwice

## MODEL BAZY WIEDZY O JAKOŚCI WĘGLA DLA SYSTEMU EKSPERTOWEGO

**Streszczenie.** W referacie przedstawiono propozycję modelu bazy wiedzy o jakości węgla dla systemu ekspertowego. Przeprowadzono wielokrotnie klasyfikację próbek węgla znajdujących się w bazie danych i wskazano optymalny ich podział. Dla 12 klas węgla utworzono regułowy model bazy wiedzy do prognozy klas węgla w ujęciu rozmytym. Wskazano przykładowe funkcje systemu ekspertowego wykorzystującego utworzoną bazę wiedzy o jakości węgla.

## THE KNOWLEDGE BASE'S MODEL ABOUT COAL QUALITY FOR EXPERT SYSTEM

**Summary.** In the article a proposition of the knowledge base's model about coal quality for expert system is presented. Many times the clustering of coal samples from data base was done. As the result optimal classification is pointed. Based on 12 coal clusters the rule model of knowledge base is formed and this model uses to fuzzy prognosis of coal class. Examples of expert system functions, which utilize formed knowledge base, are suggested.

### 1. Systemy ekspertowe - wprowadzenie

W inteligentnych systemach przemysłowych [13] przetwarza się bazę wiedzy w sposób naśladujący postępowanie człowieka-eksperta rozwiązującego podobny problem [6]. Systemy ekspertowe są systemami starającymi się naśladować decyzje eksperta-człowieka i potrafią to robić w wielokrotnie powtarzalny sposób.

Systemy ekspertowe są programami komputerowymi wykorzystującymi wiedzę i procedury rozumowania, przeznaczonymi do wspomaganie rozwiązywania specjalistycznych problemów, które wymagają profesjonalnej ekspertyzy. Systemy ekspertowe mogą do-

tyczyć rozwiązywania problemów o różnej złożoności i szczegółowości, zawsze jednak wymagają wykorzystania pewnej wiedzy właściwej i dostępnej ekspertom w danej dziedzinie, czyniąc to w sposób sformalizowany bez udziału tych ekspertów. Systemy ekspertowe tworzy się indywidualnie do określonej dziedziny wiedzy lub określonego problemu (systemy dedykowane).

Rozróżnia się 3 kategorie systemów ekspertowych:

- doradcze (ang.: *advisory expert system*),
- podejmujące decyzje (ang.: *dictatorial expert system*),
- krytykujące (ang.: *criticizing expert system*).

Cechą charakteryzującą strukturę systemu ekspertowego jest oddzielenie zgromadzonej wiedzy (bazy wiedzy) od mechanizmu rozumowania (mechanizmu wnioskowania). Zdolność do wnioskowania i prezentowania rozwiązań powinna być zachowana nawet w przypadku dostarczenia systemowi informacji nieprecyzyjnej, niepewnej i niekompletnej.

Jakość systemu ekspertowego zależy przede wszystkim od zakodowanej w nim wiedzy, a więc od sposobu reprezentacji, jakości i ilości wiedzy o danym przedmiocie. Wyróżnia się 2 typy reprezentacji wiedzy:

- proceduralną, polegającą na określeniu zbioru procedur, których działanie reprezentuje wiedzę o dziedzinie,
- deklaratywną, w której określone są zbiory specyficznych faktów i reguł.

Baza wiedzy zawiera dane numeryczne i lingwistyczne, określające m.in. doświadczenie, intuicję ekspertów, uwzględnia relacje występujące między zmiennymi. Tego typu wiedza wymaga specyficznej reprezentacji w postaci poprawnie dobranego modelu. Informacje potrzebne do działania każdego systemu komputerowego to zasób wiedzy potrzebny do wykonania procesu, jego sterowania, kontroli lub oceny otrzymanych wyników. Informacje te powinny być pełne, nienadmiarowe oraz w formacie zrozumiałym dla systemu. Do wyodrębnienia i zaimplementowania potrzebnej wiedzy tworzy się model stanowiący uproszczoną reprezentację rzeczywistości [5], będącej dziedziną tworzonego systemu komputerowego.

W artykule tym przedstawiono sposób tworzenia bazy wiedzy. Celem jest stworzenie modelu układu reprezentującego pełną wiedzę. W tworzeniu modelu istotne jest pozyskanie wiedzy, która pozwoli podejmować optymalne decyzje. Służą temu metody empiryczne oraz rozmyte metody klasyfikacji danych. Wcześniej jednak bazę poddaje się transformacji i normalizacji poprzez oczyszczanie, ujednolicanie, przesiewanie danych.

Dobrze spreparowana wiedza stanowi podstawę systemów wnioskowania. Szczególnym przypadkiem są rozmyte systemy wnioskowania, które w oparciu o modele Mamdaniego lub Takagi-Sugeno pozwalają operować wiedzą niekompletną, nieprecyzyjną i z dużymi anomaliami.

## **2. Idea systemu ekspertowego w zakładzie przeróbki surowców mineralnych**

Złożona charakterystyka jakościowa surowców mineralnych, a także liczne potrzeby odbiorców produktów otrzymywanych z tych surowców wymuszają konieczność przeprowadzenia kolejno znacznej liczby operacji jednostkowych, przybliżających stopniowo cechy jakościowe materiału wejściowego (surowca) stanowiącego nadawę procedury utylizacyjnej do zamierzonych cech jakościowych żadanego produktu wyjściowego (końcowego) [12]. Większość 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 kopalni a produktem docierającym do klientów jest istotą działalności kopalnianych zakładów wzbogacania węgla. Obróbka w zakładach wzbogacania przeobraża górnicy 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 poprzez 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 wymaga 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 [12]. 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 [12]. Otrzymane w wyniku zastosowania metod klasyfikacji typu clustering, klasy węgla mogą być wykorzystywane m.in. do oszacowania wartości nadawy jako surowca oraz do prognozowania wartości produktu końcowego będącego produktem handlowym.

Zmienna jakość węgla wpływa na różne wartości gospodarcze węgla. 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.

### 3. Propozycja modelu bazy wiedzy o jakości węgla

Tworzenie systemu ekspertowego dla dużego przedsiębiorstwa jest zadaniem wieloetapowym. Jednym z etapów jest utworzenie bazy wiedzy o materiale poddawany wzbogacaniu. W rozdziale tym przedstawiono propozycję utworzenia modelu bazy wiedzy o jakości węgla na podstawie danych ilościowo-jakościowych określających parametry węgla surowego.

#### 3.1. Wyznaczenie optymalnych klas węgla

W rozdziale 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 [11] 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, algorytm grupowania wokół c-centroid opisany we wcześniejszych pracach autorki [7], a przedstawiony w 1981 r. przez Bezdeka [1].

Zastosowano jednoetapowe grupowanie wielowymiarowych wektorów parametrów ilościowo-jakościowych węgla. O podziale próbek węgla decydują dwie zmienne:  $fr_{123}$  - sumaryczny wychód dla gęstości mniejszej niż  $1800 \text{ kg/m}^3$  oraz  $A_{0123}$  - średnia zawartość popiołu w tym wychodzie. Zmienne te zostały wyznaczone w oparciu o parametry występujące w pierwotnej bazie danych według wzorów:

$$fr_{123} = fr_1 + fr_2 + fr_3 \quad (1)$$

$$A_{0123} = \frac{(fr_1 \cdot A_1) + (fr_2 \cdot A_2) + (fr_3 \cdot A_3)}{fr_1 + fr_2 + fr_3} \quad (2)$$

gdzie:

$fr_1$  - udział frakcji ziaren węgla o gęstości mniejszej niż  $1300 \text{ kg/m}^3$ ,

$fr_2$  - udział frakcji ziaren węgla o gęstości w granicach od  $1300$  do  $1500 \text{ kg/m}^3$ ,

$fr_3$  - udział frakcji ziaren węgla o gęstości w granicach od  $1500$  do  $1800 \text{ kg/m}^3$ ,

$A_1, A_2, A_3$  - zawartości procentowe popiołu w poszczególnych frakcjach gęstościowych.

Zbiór próbek węgla poddano wielokrotnie klasyfikacji, przyjmując liczbę klastrów z przedziału  $c \in \langle 5; 50 \rangle$ . Dobór wartości skrajnych liczby klastrów jest arbitralny i wynika z dążenia do nietworzenia ani klastrów jednoelementowych, ani klastrów bardzo licznych. Celem tego etapu analizy danych jest wyznaczenie optymalnej liczby klastrów według przyjętego kryterium.

Dla wszystkich 46 podziałów, w oparciu o wartości centroid, wyznaczono prognozę cen węgla jako produktu końcowego, otrzymanego z badanej nadawy, uwzględniając sumaryczną frakcję o gęstości  $\rho < 1800 \text{ kg/m}^3$  oraz zawartość popiołu w tej frakcji. W wyznaczaniu ceny posłużono się systemem cen koncernowych zaproponowanym przez prof. W. Blaschkego [3], [4]. W analizie wykorzystano wskaźniki węgla wzorcowego o parametrach:  $21 \text{ MJ/kg}$  wartości opałowej,  $0,9\%$  siarki,  $22\%$  popiołu. Przyjęto zasadę, że formuła ma przebieg liniowy w całym zakresie zawartości popiołu. W prognozie cen węgla skoncentrowano się na zależności ceny węgla od zawartości popiołu.

Dla każdego podziału wyznaczono wartość prognozowanego współczynnika cenowego węgla handlowego, będącego sumarycznym produktem, powstałego z jednej tony nadawy dla podziałów próbek węgla. Aby wyznaczyć cenę  $1 \text{ t}$  węgla, należy wartość współczynnika cenowego pomnożyć przez cenę normatywną węgla sprzedażnego. Różnice cenowe są minimalne i dlatego jest to kryterium oceny klasyfikacji próbek węgla słabo różnicujące. Wobec

tego kryterium doboru optymalnego podziału próbek węgla utworzono na podstawie wskaźników oceny rozmytości podziału.

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  $k$ -tym klastrem,

$v_k$  - centroida  $k$ -tego klastra,

$c$  - liczba klastrów.

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

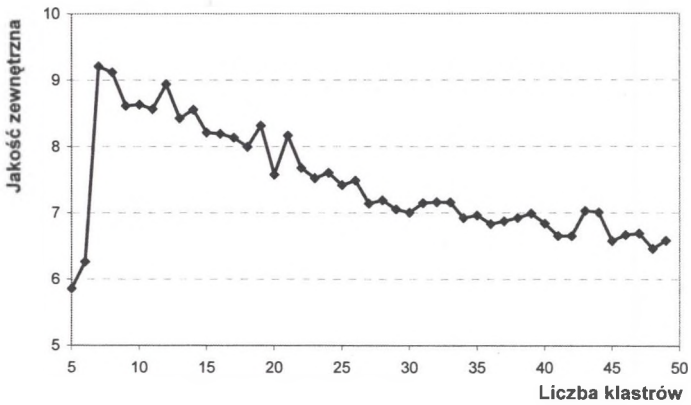
- współczynnik podziału Dunna,
- entropia podziału,
- jakość wewnętrzna podziału,
- jakość zewnętrzna podziału.

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  $\langle 5, 50 \rangle$ .

Na rysunku 1 widać, że występują lokalne optima tej miary, m.in. dla liczby podziałów: 12, 19, 21, 33. Jako najlepszy podział przyjęto tę liczbę klas, dla której występuje lokalne minimum jakości zewnętrznej. Jest to także najmniejsza liczba klas spełniająca ten warunek.

Wynika to z podstawowego założenia grupowania - ograniczania liczby klastrów. Jako rozwiązanie optymalne przyjęto podział na 12 klastrów.



Rys. 1. Wskaźnik jakości zewnętrznej dla klasyfikacji próbek węgla na liczbę klastrów od 5 do 50  
Fig. 1. Outside quality coefficient for the clustering of coal samples; number of cluster is 5 ... 50

W tabelicy 1 przedstawiono wartości współrzędnych centroid  $fr_{123}$  oraz  $A_{O123}$ , które decydują o podziale próbek węgla w optymalnym podziale na 12 klastrów.

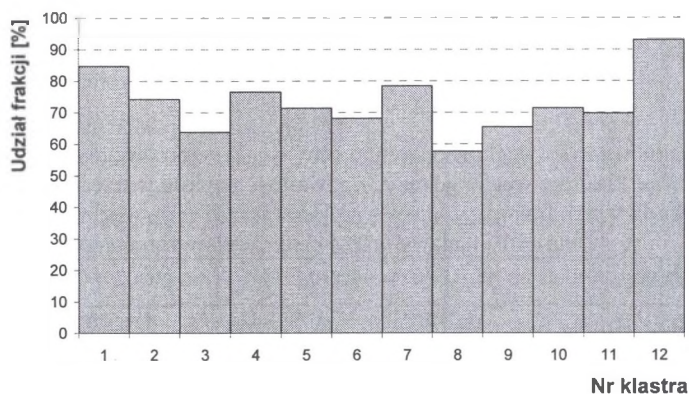
Tabela 1

Wartości centroid przy podziale  
uwzględniającym frakcję  $fr_{123}$  o gęstości mniejszej niż  $1800 \text{ kg/m}^3$   
oraz  $A_{O123}$ - zawartość popiołu w tej frakcji węgla

Nr klasy	$fr_{123}$	$A_{O123}$
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

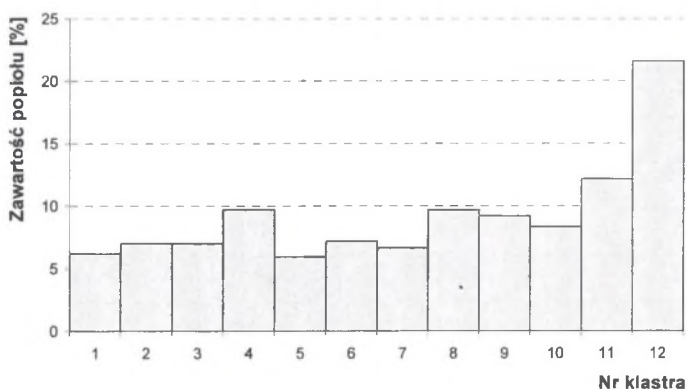


Na rysunku 2 przedstawiono udział sumarycznej frakcji  $fr_{123}$  o gęstości  $\rho < 1800 \text{ kg/m}^3$  dla podziału na optymalnych 12 klastrow przy kryterium najwyższej wartości (optimum lokalne) miary rozmytości – jakości zewnętrznej. Rysunek 3 prezentuje procentową zawartość popiołu we frakcji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



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

Fig. 2. Values of density fraction shares for 12 cluster centroids; clustering according to 2 summary variables



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

Fig. 3. Percentage ash contents in the density fraction for 12 cluster centroids; clustering according to 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%). Jedynie 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.

Tablica 2

Oszacowanie wartości węgla w oparciu o ceny węgla wzorcowego dla podziału na dwanaście klastrów węgla, gdzie  $y_1$  – zawartość popiołu w trzech frakcjach,  $y_2$  – wychody trzech frakcji,  $y_3$  – cena względna (część ceny węgla wzorcowego),  $y_4$  – cena za 1 t nadawy (część ceny węgla wzorcowego)

Nr klasy	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$
1	0,8477	6,1724	1,1583	0,9819
2	0,7433	6,9922	1,1501	0,8549
3	0,6387	6,9993	1,1500	0,7345
4	0,7659	9,6982	1,1230	0,8601
5	0,7143	5,9353	1,1606	0,8291
6	0,6822	7,1809	1,1482	0,7833
7	0,7839	6,652	1,1535	0,9042
8	0,5774	9,6642	1,1234	0,6486
9	0,6544	9,1782	1,1282	0,7383
10	0,7141	8,3234	1,1368	0,8118
11	0,6971	12,1114	1,0989	0,7660
12	0,9305	21,5513	1,0045	0,9347

Poniżej przedstawiono oszacowanie cen dla optymalnego podziału próbek węgla przy przyjęciu wyżej opisanych kryteriów. Tablica 2 przedstawia oszacowanie cen dla wyznaczonych dwunastu klastrów węgla w oparciu o ceny węgla wzorcowego według formuły Blaschkego dla węgla wzorcowego o postaci 4:

$$S = W_e \cdot r_e \cdot C_e^b \left( \frac{Q_w^r}{21} - \frac{S_t^r - 0,9}{10} - \frac{A^r - 22}{100} \right) \quad (5)$$

gdzie:

$S$  - cena węgla energetycznego [zł/t],

$W_e$  – wskaźnik zależny od zawartości popiołu w węglu,

$r_e$  – wskaźnik relacji cen pomiędzy sortymentami,

$C_e^b$  – cena węgla wzorcowego [zł/t],

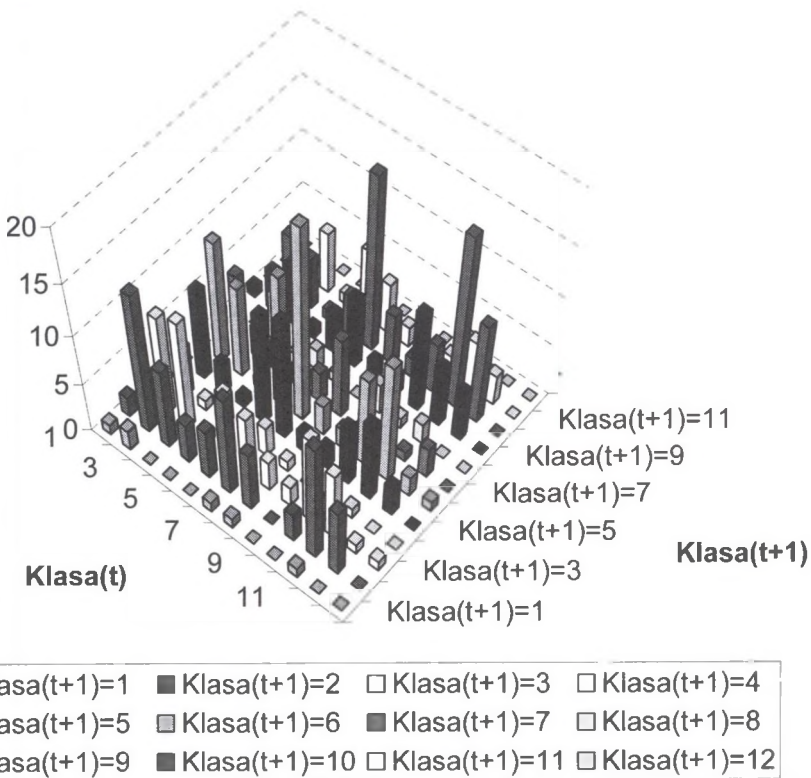
$Q_w^r$  – wartość opałowa w stanie roboczym [MJ/kg],

$S_t^r$  – zawartość siarki całkowitej w stanie roboczym [%],

$A^r$  – zawartość popiołu w stanie roboczym [%].

### 3.2. Utworzenie bazy wiedzy o jakości węgla z wykorzystaniem optymalnych klas węgla

Wyznaczone klastry węgla są wykorzystane w budowie modelu Mamdaniego służącego do prognozy klasyfikowanego węgla. Poniżej przedstawiono szereg rozdzielczy klastrów węgla w czasie dla optymalnego podziału na dwanaście klastrów węgla.



Rys. 4. Liczebność próbek węgla w poszczególnych klastrach, przy klasyfikacji uwzględniającej udział frakcji o gęstości mniejszej niż  $1800 \text{ kg/m}^3$  i zawartość popiołu w tej frakcji

Fig. 4. Numbers of coal samples in the clusters; clustering according to 2 summary variables: fraction share for density less then  $1800 \text{ kg/m}^3$  and percentage ash contents

Dla podziału na 12 klastrow węgla określono siatkę składającą się z 144 obszarów w przestrzeni  $X_t \times X_{t+1}$ . Liczby par  $\{Klasa(t), Klasa(t+1)\}$  w poszczególnych obszarach zostały przedstawione na rysunku 4.

Zbiór wartości w dziedzinie poprzednika  $Klasa(t)$  oraz następnika  $Klasa(t+1)$  jest zdefiniowany jako zbiór numerów wyznaczonych klas węgla, uzyskanych w klasyfikacji w oparciu o udział frakcji o gęstości mniejszej niż  $1800 \text{ kg/m}^3$  oraz o zawartość popiołu w tej frakcji. Struktura ta określona jest ilościowo, poprzez nadanie wag stanowiących prawdopodobieństwa brzegowe występowania klastrow w chwili  $t$  oraz prawdopodobieństwa warunkowe występowania klastrow w chwili  $(t+1)$ .

Prawdopodobieństwo warunkowe, że dla poprzednika  $x_t$  ma miejsce następnik  $x_{t+1}$  określa wagę następnika reguły  $w_{ij}$  na obszarze  $X_t \times X_{t+1}$ , przy czym, biorąc pod uwagę prawdopodobieństwo warunkowe, zachodzi równość:  $w_{i1} + w_{i2} + w_{i3} = 1$ ; gdzie  $i = 1, 2, 3$ .

Wartości wag reguł stanowią brzegowe prawdopodobieństwa dotyczące zmiennej poprzednika dla podziału na 12 klastrow.

Baza reguł dla prognozy klasyfikacji węgla, przy podziale optymalnym na 12 klastrow, składająca się z formuł plikowych oraz z odpowiednich formuł elementarnych, została przedstawiona poniżej w formie skróconej:

Z wagą 0,0121 JEŻELI  $X_t$  jest w 1. klastrze, TO

$$X_{t+1} \text{ jest w klastrze } 0,1667/1 + 0,3333/2 + 0/3 + 0/4 + 0/5 + 0,1667/6 + 0,1667/7 + 0/8 + 0/9 + 0,1667/10 + 0/11 + 0/12$$

z wagą 0,1437 JEŻELI  $X_t$  jest w 2. klastrze, TO

$$X_{t+1} \text{ jest w klastrze } 0,0282/1 + 0,1972/2 + 0,1127/3 + 0,0563/4 + 0,0774/5 + 0,1408/6 + 0,0845/7 + 0/8 + 0,0423/9 + 0,169/10 + 0,0986/11 + 0/12$$

z wagą 0,1174 JEŻELI  $X_t$  jest w 3. klastrze, TO

$$X_{t+1} \text{ jest w klastrze } 0/1 + 0,1724/2 + 0,1897/3 + 0,0172/4 + 0,1207/5 + 0,1034/6 + 0,0517/7 + 0,0345/8 + 0,1552/9 + 0,1207/10 + 0,0172/11 + 0,0172/12$$

z wagą 0,0324 JEŻELI  $X_t$  jest w 4. klastrze, TO

$$X_{t+1} \text{ jest w klastrze } 0/1 + 0,3125/2 + 0,0625/3 + 0,1875/4 + 0,125/5 + 0,1875/6 + 0,0625/7 + 0/8 + 0/9 + 0,0625/10 + 0/11 + 0/12$$

z wagą 0,1154 JEŻELI  $X_t$  jest w 5. klastrze, TO

$$X_{t+1} \text{ jest w klastrze } 0/1 + 0,1579/2 + 0,0526/3 + 0,0175/4 + 0,193/5 + 0,2105/6 + 0,0351/7 + 0,0351/8 + 0,1053/9 + 0,1404/10 + 0,0526/11 + 0/12$$

z wagą 0,1680 JEŻELI  $X_t$  jest w 6. klastrze, TO

$$X_{t+1} \text{ jest w klastrze } 0/1 + 0,1446/2 + 0,1084/3 + 0,012/4 + 0,1566/5 + 0,2289/6 + 0,0361/7 + 0,0241/8 + 0,1084/9 + 0,1446/10 + 0,0241/11 + 0,012/12$$

z wagą 0,0668 JEŻELI  $X_t$  jest w 7. klastrze, TO

$$X_{t+1} \text{ jest w klastrze } 0,0606/1 + 0,2121/2 + 0,0909/3 + 0,0909/4 + 0,0606/5 + 0,0909/6 + 0,2424/7 + 0/8 + 0,0303/9 + 0,0303/10 + 0,0909/11 + 0/12$$

z wagą 0,0283 JEŻELI  $X_t$  jest w 8. klastrze, TO

$X_{t+1}$  jest w klastrze  $0/1 + 0/2 + 0,3571/3 + 0/4 + 0,1429/5 + 0,0714/6 + 0/7 + 0,2143/8 + 0,0714/9 + 0,1429/10 + 0/11 + 0/12$

z wagą 0,0972 JEŻELI  $X_t$  jest w 9. klastrze, TO

$X_{t+1}$  jest w klastrze  $0,0208/1 + 0,0833/2 + 0,125/3 + 0,0208/4 + 0,0833/5 + 0,1458/6 + 0,0417/7 + 0,0417/8 + 0,0283/9 + 0,125/10 + 0,1042/11 + 0/12$

z wagą 0,1457 JEŻELI  $X_t$  jest w 10. klastrze, TO

$X_{t+1}$  jest w klastrze  $0/1 + 0,0833/2 + 0,0694/3 + 0,0139/4 + 0,0556/5 + 0,2361/6 + 0,0694/7 + 0,0278/8 + 0,0694/9 + 0,2361/10 + 0,1389/11 + 0/12$

z wagą 0,0688 JEŻELI  $X_t$  jest w 11. klastrze, TO

$X_{t+1}$  jest w klastrze  $0/1 + 0,0588/2 + 0,1765/3 + 0,0294/4 + 0,2059/5 + 0,1471/6 + 0,0588/7 + 0,0294/8 + 0,0588/9 + 0,1471/10 + 0,0882/11 + 0/12$

z wagą 0,004 JEŻELI  $X_t$  jest w 12. klastrze, TO

$X_{t+1}$  jest w klastrze  $0/1 + 0/2 + 0/3 + 0/4 + 0/5 + 0/6 + 0/7 + 0/8 + 1/9 + 0/10 + 0/11 + 0/12$

### 3.3. Propozycje wykorzystania utworzonej bazy wiedzy o jakości węgla

Powyższy model można zastosować 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 to:

- prognoza ilości i jakości produktu wzbogacania jako oferty sprzedaży zakładu górniczego z przeznaczeniem dla branży energetycznej,
- prognoza ilości i jakości produktu wzbogacania w celu planu realizacji długoterminowego zamówienia zakupu węgla przez elektrownię,
- prognoza ilości i jakości produktu wzbogacania będącego składnikiem tworzenia mieszanek energetycznych,
- prognoza ilości i jakości produktu wzbogacania stanowiąca wiedzę potrzebną do sterowania procesami odpowielania i odsiarczania przez elektrownię (w celu określenia metody odsiarczania),
- prognoza ilości i jakości odpadów górnich w celu oszacowania opłat ekologicznych (ewentualnie kar),
- prognoza ilości i jakości odpadów górnich w celu oszacowania strat ekonomicznych w procesie wzbogacania węgla, wykorzystywanych m.in. w wyznaczaniu cen węgla, badaniu rentowności zakładu górniczego.

## LITERATURA

1. Bezdek J.C.: Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. Plenum Press. New York 1981.
2. Blaschke W.: Problemy produkcji czystych węgla 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. Fayyad U. M.: Data Mining and Knowledge Discovery: Making Sense Out of Data. Microsoft Research. IEEE Expert 11. 1996.
6. Jagielski J.: Inżynieria wiedzy w systemach ekspertowych. Lubuskie Towarzystwo naukowe. Zielona Góra 2001.
7. Kowal A.: Zmodyfikowany algorytm grupowania próbek węgla wokół c-centroidów. Konferencja Naukowa „Górnictwo Zrównoważonego Rozwoju 2002”. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo z. 255. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2002.
8. Lorenz U., Blaschke W., Grudziński Z.: Propozycja nowej formuły sprzedażnej węgla energetycznego przeznaczonego dla energetyki zawodowej. Rozprawy, Monografie nr 112. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Kraków 2002.
9. 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.
10. Mielecki T.: Wiadomości o badaniu i własnościach węgla. Wydawnictwo Śląsk. Katowice 1972.
11. Praca Instytutu Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. Przeprowadzenie badań dynamicznych właściwości nadawy na zakład przerobczy. Gliwice. 1980. NB-124/RG1/80 (niepublikowane).
12. Smakowski T., Budka J.: Ceny transakcyjne węgla kamiennego. Mat. Sympozjum „Koncepcje racjonalnych zmian systemowych i organizacyjnych w górnictwie węgla kamiennego”. Wyd. GIG. Katowice 1989.
13. 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.
14. Zimmermann H.-J.: Fuzzy Set Theory and its Applications. Second, Revised Edition. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, the Netherlands. 1992, p. 399.