

Agnieszka GORNIG
Politechnika Śląska, Gliwice

WYKORZYSTANIE REGUŁOWEGO MODELU BAZY WIEDZY DO OSZACOWANIA ILOŚCI EMISJI PYŁÓW

Streszczenie. W referacie przedstawiono propozycję modelu bazy wiedzy szacującego ilość emisji pyłów powstałych przy spalaniu badanego węgla. Baza ta może być wykorzystana w systemie ekspertowym. Przeprowadzono wielokrotnie dwuetapową klasyfikację próbek węgla znajdujących się w bazie danych i wskazano optymalny ich podział. Pierwszy podział został dokonany ze względu na udział łącznej frakcji fr_{123} o gęstości $\rho < 1800 \text{ kg/m}^3$. W drugim etapie klasyfikacji wewnątrz utworzonych klastrów dokonano podziałów ze względu na zawartość popiołu w łącznej frakcji fr_{123} . Dla optymalnej liczby klas węgla utworzono regułowy model bazy wiedzy do oszacowania ilości emisji pyłów w kotłach rusztowych i pyłowych.

THE KNOWLEDGE BASE MODEL USED TO ESTIMATE AMOUNT OF DUST EMISSION

Summary. In the article a proposition of the knowledge base model to estimate amount of dust emission is presented. This knowledge base can be adapt to expert system. Many times the 2-stage clustering of coal samples from data base was done. Next optimal classification was pointed. The first stage classification was done according to summary fraction contents of density $\rho < 1800 \text{ kg/m}^3$. The second stage classification was done according to ash contents in clusters delimited before. Based on the optimal number coal clusters the rule model of knowledge base is formed. This model can be used to estimate amount of dust emission, which is produced in fire-grate kettles or dust kettles.

1. Wprowadzenie

Głównym odbiorcą węgla na rynku krajowym jest energetyka. Dla elektrowni jako klienta parametrami węgla istotnymi w jego oszacowywaniu są przede wszystkim: zawartości po-

popiołu, wartość energetyczna, zawartość siarki, wilgotność. Określone parametry węgla energetycznego pozwalają przygotować ofertę sprzedaży (zakupu) węgla.

Powyższe parametry węgla mogą być mierzone w trybie on-line z wykorzystaniem odpowiedniej aparatury. Parametry te mogą także być wyznaczane w analizach laboratoryjnych (technika analizy jakościowej, analizy pierwiastkowej, inne). Na podstawie tych parametrów można oszacować emisję dwutlenku siarki, pyłu oraz ilość odpadów.

Zachowanie węgla podczas spalania zależy zarówno od zawartości popiołu, jak i od rozkładu wewnątrz substancji węglowej. W procesie spalania część popiołu zawartego w węglu przechodzi do frakcji popiołów lotnych (unos), a część pozostaje w odpadach stałych (żużel). Wskaźnik emisji pyłu wyznacza się według wzoru [8, 10]:

$$E_{pył} = \frac{A}{100} \cdot u_p \cdot \left(1 - \frac{\eta_0}{100}\right) \cdot 1000 \quad (1)$$

gdzie: $E_{pył}$ – emisja pyłu [kg/t],

A – zawartość popiołu w paliwie [%],

u_p – unos pyłu [%],

η_0 – skuteczność urządzeń odpylających [%].

Unos pyłu określa ilość popiołu powstałego w palenisku, która jest unoszona z gazami spalinowymi. Unos zależy między innymi od rodzaju paleniska. Przyjęto $u_u = 20\%$ dla kotłów rusztowych, $u_u = 85\%$ dla kotłów pyłowych [8, 10]. Większość elektrowni stosuje elektrofiltry lub filtry tkaninowe, dzięki którym uzyskują skuteczność odpylania $\eta_0 = 99,5\%$ [3, 10].

2. Wybrane aspekty dotyczące emisji pyłów [6]

Węgiel jest istotnym źródłem zanieczyszczeń. Istnieją generalnie trzy główne podejścia do problemu zmniejszenia emisji z węgla. Po pierwsze, surowy węgiel pochodzący z kopalni można w pewnym stopniu oczyścić z zanieczyszczeń. Po drugie, można poprawić wydajność procesów przetwarzania węgla, zmniejszając tym samym jego zużycie. Po trzecie, można opracować technologie zorientowane bezpośrednio na zmniejszenie emisji poszczególnych substancji zanieczyszczających.

Dla zanieczyszczeń, takich jak: dwutlenek siarki, tlenki azotu i cząstki stałe, opracowano technologie skutecznie zmniejszające ich koncentrację w spalinach odprowadzanych do atmosfery. W ostatnich latach trwają prace nad ograniczeniem emisji pierwiastków śladowych,

np. rtęci, mimo że nie istnieje jeszcze prawodawstwo europejskie regulujące emisje tych pierwiastków.

Ważnym zagadnieniem jest ograniczenie emisji dwutlenku węgla, gdyż jest to główny gaz cieplarniany przyczyniający się do globalnego ocieplenia. Ponieważ węgiel i inne paliwa kopalne pozostaną głównym źródłem energii w przyszłości, rośnie zainteresowanie wychwytywaniem węgla i składowaniem geologicznym.

Technologią produkcji energii z węgla jest spalanie pyłu węglowego oparte na podkrytycznych warunkach pary wodnej. Większość istniejących elektrowni działa na zasadzie podkrytycznych warunków pary i produkuje elektryczność ze sprawnością cieplną dochodzącą do 40% (w oparciu o mniejszą wartość opałową). Elektrownie z parą nadkrytyczną (wykorzystujące parę wodną powyżej jej ciśnienia krytycznego wynoszącego 221 barów), osiągające wyższą sprawność, zaczęły powstawać w Wielkiej Brytanii w późnych latach 60. Brytyjska firma Mitsui Babcock Energy (obecnie Doosan Babcock Energy) była pionierem na świecie w opracowaniu i produkcji urządzeń technologii kotłów nadkrytycznych. Elektrownie nadkrytyczne powstające w ostatnich latach w Europie wykorzystują parę przy 300 bar i 620 st. C, i osiągają sprawność 46 do 48%. Na całym świecie wzrasta zapotrzebowanie na elektrownie z cyklem pary nadkrytycznej.

Poprawa sprawności energetycznej wraz z rozpowszechnianiem się technologii odnawialnych źródeł energii i technologii jądrowych mogłyby prowadzić do zmniejszenia emisji pyłów. Można ograniczyć emisję dwutlenku węgla ze spalania paliw kopalnych przez zastosowanie wychwytu i geologicznego składowania CO₂ (CCS). Dlatego też trwają prace na skalę światową nad opracowaniem opłacalnych metod wychwytu i składowania dwutlenku węgla zarówno z technologii spalania, jak i zgazowania, oraz jego bezpiecznego składowania w dłuższej skali czasu.

Istnieje wiele barier technicznych i nietechnicznych, takich jak: środowiskowe, prawne i regulacyjne. CCS wymaga dodatkowych nakładów energetycznych w porównaniu z tradycyjnymi technologiami wytwarzania energii. Ponadto opinia publiczna powinna widzieć korzyści z szerokiego rozpowszechnienia CCS.

3. Limity emisji pyłów przyznane Polsce

W Europie paliwa kopalne, a przede wszystkim węgiel, są i w najbliższych dziesięcioleciach ciągle będą podstawowymi surowcami energetycznymi. Wykorzystanie przede wszyst-

kim węgla do produkcji energii elektrycznej wiąże się z nadmierną emisją gazów cieplarnianych. Dlatego emisja CO₂ związana z produkcją energii będzie rosła tak samo szybko, jak popyt na energię, a do 2030 roku może osiągnąć poziom 4 488 Mt - to jest o 20 % więcej niż w 2002 r. W 2030 r. wytwórcy energii elektrycznej będą największym emitentem gazów cieplarnianych, a ich udział w rynku wzrośnie z 35 % w 2002 r. do 37 % w 2030 r.

By chronić środowisko, Komisja Europejska narzuciła limity emisji pyłów dla producentów energii elektrycznej w poszczególnych państwach członkach Unii Europejskiej. Ograniczenia dotyczą również polskiego rynku.

Komisja Europejska przyznała Polsce na lata 2005–2007 prawo do emisji do atmosfery 239 mln ton dwutlenku węgla rocznie. Ponadto Komisja Europejska planuje przyznać Polsce rocznie o 74 mln ton mniej. Ze względu na szacowany wzrost gospodarczy nasz kraj może mieć potrzebę, by w następnych pięciu latach przemysł polski mógł wyemitować 284 mln ton rocznie, tj. o 45 mln ton więcej.

Uzyskanie przez Polskę limitu mniejszego niż 240 mln ton rocznie może być dużym problemem dla gospodarki. W ostatnim czasie w związku ze wzrostem inwestycji w Polsce rośnie także produkcja materiałów budowlanych i spożycie energii. Z danych z Ministerstwa Środowiska wynika, że w 2006 r. rafinerie i producenci cementu odnotowali 20% wzrost emisji CO₂, a producenci wapna – 16%.

Przyznanie Polsce zbyt małych limitów na emisję dwutlenku węgla może spowodować spowolnienie wzrostu PKB. Konsekwencjami zmniejszenia limitów emisji pyłów może być:

- znaczący wzrost cen energii elektrycznej,
- spadek produkcji przemysłowej,
- ucieczka polskich firm do krajów, które nie są objęte limitami emisji,
- trudności z wykorzystaniem funduszy unijnych.

Jeśli firmy wypuszczają do atmosfery więcej CO₂ niż przyznany limit, to muszą kupić uprawnienia do emisji od firm, które są mniejszymi trucicielami. To z kolei wpływa na wzrost końcowej ceny produktów.

4. Baza wiedzy określająca prognozę emisji pyłów

W niniejszym rozdziale proponuje się wprowadzenie klas węgla jak najlepiej odzwierciedlających charakter materiału ze względu na uzyskaną z niego wartość. Przeprowadzono dwuetapową klasyfikację parametrów jakościowo-ilościowych węgla. Pierwszy podział został

dokonany ze względu na udział łącznej frakcji fr_{123} o gęstości $\rho < 1800 \text{ kg/m}^3$, czyli ze względu na zmienną łączną $fr_1 + fr_2 + fr_3$. W drugim etapie klasyfikacji wewnątrz utworzonych klastrów dokonano podziałów ze względu na zawartość popiołu w łącznej frakcji fr_{123} . Arbitralnie obrano podział na 3 podklasy.

Wyznaczone, na podstawie parametrów ilościowo-jakościowych próbek węgla, klasy pozwalają postawić prognozę produktu końcowego dotyczącą parametrów węgla energetycznego. Mogą być także wykorzystane do prognozy ilości emisji pyłu w procesie spalania węgla w kotłach energetycznych.

4.1. Dwuetapowa klasyfikacja typu clustering parametrów ilościowo-jakościowych węgla

W przeprowadzonej klasyfikacji próbek węgla wykorzystano zbiór danych [9] obejmujący wyniki pomiarów właściwości próbek węgla. Pomiarów właściwości próbek węgla dokonano w odstępach czasu sześciominutowych w KWK „Knurów”. Dane te zawierają informacje o zawartości frakcji ziaren węgla w przedziałach o określonej gęstości oraz o procentowej zawartości popiołu w tych frakcjach. Stanowią zatem wielowymiarowe wektory parametrów ilościowo-jakościowych węgla. 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 kolejnych etapach rozwiązywania zadania przeprowadzono:

- pierwszy etap klasyfikacji próbek węgla ze względu na udział frakcji o gęstości mniejszej niż 1800 kg/m^3 dla liczby klas z przedziału $c = 2, \dots, 10$,
- rozmycie uzyskanych podziałów; wyznaczono współczynniki przynależności do poszczególnych klastrów węgla określające stopień podobieństwa próbki węgla względem każdego klastra,
- dobór kryterium wyboru optymalnej klasyfikacji próbek węgla (współczynnik podziału Dunna, entropia podziału, jakość wewnętrzna, jakość zewnętrzna),

- wtórną klasyfikację próbek węgla w obrębie utworzonych klastrów przy uwzględnieniu zawartości popiołu,
- prognozę cen węgla jako produktu końcowego, uwzględniając sumaryczną frakcję o gęstości $\rho < 1800 \text{ kg/m}^3$ oraz zawartość popiołu w tej frakcji w oparciu o system cen koncernowych [2, 3],
- rozkład klastrów węgla dla optymalnego podziału,
- utworzenie bazy wiedzy o zmienności w czasie klastrów węgla.

W analizie danych – klasyfikacji typu clustering – wykorzystano zmodyfikowany, względem algorytmu, który w 1981 r. przedstawił Bezdek [1], algorytm grupowania wokół c-centroid [7].

Analizę typu clustering zastosowano dla danych reprezentujących właściwości węgla energetycznego. Wprowadzono klasy węgla jak najlepiej odzwierciedlające strukturę populacji ze względu na udział frakcji o gęstości $\rho < 1800 \text{ kg/m}^3$, w której zawartość popiołu nie przekracza 22%.

Jako wynik pierwszego etapu przyjęto podziały dla liczby klas z przedziału $\langle 2; 10 \rangle$. Podziały te są scharakteryzowane poprzez wyznaczone wielowymiarowe współrzędne centroid reprezentujące próbki węgla znajdujące się w poszczególnych klastrach. Najważniejszą zmienną opisującą centroidę jest zawartość łącznej frakcji węgla fr_{123} :

$$fr_{123} = fr_1 + fr_2 + fr_3 \quad (2)$$

gdzie: fr_1 – udział frakcji ziaren węgla o gęstości mniejszej niż 1300 kg/m^3 ,

fr_2 – udział frakcji ziaren węgla o gęstości w granicach od 1300 do 1500 kg/m^3 ,

fr_3 – udział frakcji ziaren węgla o gęstości w granicach od 1500 do 1800 kg/m^3 .

Dokonano rozmycia uzyskanych podziałów, wyznaczając współczynniki przynależności do poszczególnych klastrów węgla, określające stopień podobieństwa próbki węgla względem każdego klastra. Współczynniki przynależności i -tej próbki węgla do k -tego klastra wyliczono według następującej zależności:

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

gdzie: $d(x_i, v_k)$ – odległość pomiędzy i -tą próbką węgla a k -tym klastrzem,

v_k – centroida k -tego klastra.

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

- współczynnik podziału Dunna,

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

Wraz ze wzrostem liczby klastrów poprawia się podział próbek węgla w sensie większej gęstości wewnątrz klastrów i większej rozbieżności pomiędzy klastrami. Przyjęto założenie, że najlepszy podział próbek węgla na klastry to taki, który po inkrementacji liczby klas dał podział najslabiej poprawiony dla badanego kryterium.

Współczynnik Dunna, entropia podziału oraz jakość wewnętrzna mają trend polepszania się wraz ze wzrostem liczby klas węgla. Dlatego nie wskazują optymalnego podziału. Miara rozmycia - jakość zewnętrzna - osiąga optimum lokalne. Przy podziale na 7 klastrów miara ta ma wartość maksymalną, która wynosi 6,3373. Wobec tego podział próbek węgla na 7 klastrów będzie traktowany jako optymalny ze względu na odmiennosc zewnętrzną klastrów.

W tabelicy 1 przedstawiono wartości współrzędnej centroid fr_{123} , która decyduje o podziale próbek węgla w optymalnym podziale na 7 klastrów.

Tabela 1

Wartości centroid przy podziale uwzględniającym frakcję fr_{123} o gęstości mniejszej niż 1800 kg/m^3 ; gdzie fr_{123} – udział frakcji; n_i – liczebność i-tego klastra

Nr klasy	fr_{123}	n_i
1	0,5833	18
2	0,6372	64
3	0,6699	96
4	0,7033	147
5	0,7376	118
6	0,7806	47
7	0,8684	8

Drugi etap klasyfikacji to warunkowy podział ze względu na średnią zawartość popiołu we frakcji o gęstości mniejszej niż 1800 kg/m^3 próbek należących do poszczególnych klas uzyskanych w pierwszym etapie klasyfikacji.

Jako wynik drugiego etapu uzyskano wewnętrzne podziały na trzy podklasy, scharakteryzowane poprzez wyznaczone średnie zawartości popiołu w badanej frakcji $fr_1+fr_2+fr_3$, w utworzonych wcześniej siedmiu klasach. W tabelicy 2 prezentowane są średnie zawartości popiołu w badanej frakcji dla poszczególnych klas węgla oraz liczebności poszczególnych klas n_{ij} .

Tablica 2

Wartości centroid w dwuetapowej klasyfikacji, gdzie fr_{123} – udział frakcji o gęstości mniejszej niż 1800 kg/m^3 , n_i – liczebność i-tego klastra po I etapie; A_{0j} – zawartość popiołu w j-tej podklasie; n_{ij} – liczebność klastra po II etapie, W_{cen} – wskaźnik cenowy dla każdego klastra z I etapu

Klaster	fr_{123}	n_i	A_{01}	n_{i1}	A_{02}	n_{i2}	A_{03}	n_{i3}	W_{cen}
1	0,5833	18	6,477	3	8,467	9	11,191	6	1,1296
2	0,6372	64	6,617	22	8,107	32	10,268	10	1,1407
3	0,6699	96	6,763	51	8,526	35	11,817	10	1,1407
4	0,7033	145	6,383	62	8,153	58	11,850	25	1,1397
5	0,7376	118	6,040	45	7,804	64	11,045	9	1,1462
6	0,7806	47	6,231	18	7,181	19	9,532	10	1,1468
7	0,8684	8	5,663	5	8,718	1	21,551	2	1,1198

Wskazany, optymalny zbiór klas węgla posłużył do utworzenia przykładowych regułowych modeli baz wiedzy, które można wykorzystać do:

- prognozy właściwości węgla energetycznego,
- oszacowania wartości węgla energetycznego powstałego w procesach wzbogacania,
- oszacowania ilości emisji pyłu przy spalaniu sklasyfikowanego węgla energetycznego.

4.2. Oszacowanie ilości emisji pyłu węgla

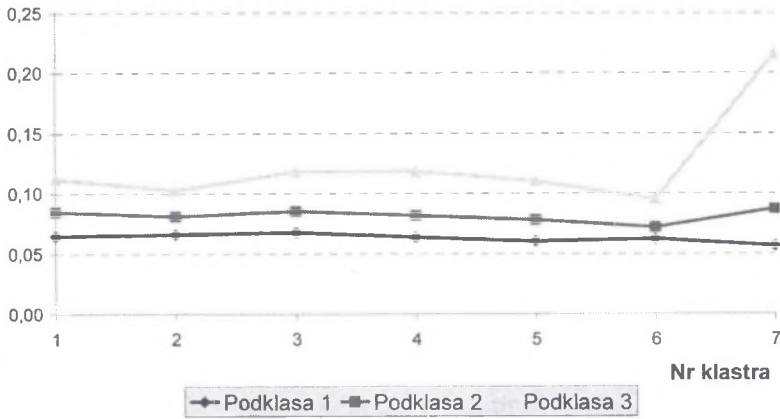
Wyznaczone klasy węgla mogą posłużyć do predykcji ilości emisji pyłu powstałego ze spalania 1 tony węgla o podanej zawartości popiołu. W analizie wykorzystano parametry centroid dwunastu klastrów - optymalnego podziału badanych próbek węgla.

Unos pyłu określa ilość popiołu powstałego w palenisku, która jest unoszona z gazami spalinowymi. Unos zależy między innymi od rodzaju paleniska. Przyjęto $u_u = 20\%$ dla kotłów rusztowych, $u_u = 85\%$ dla kotłów pyłowych [8].

Większość elektrowni stosuje elektrofiltry lub filtry tkaninowe, dzięki którym uzyskują skuteczność odpylania $\eta_0 = 99,5$ [8].

Ilość emisji pyłu zależy od zawartości popiołu w produkcie spalonym według zależności opisanej wzorem (1). Na rysunkach 1 oraz 2 przedstawiono wielkości emisji pyłu [kg/t] w elektrowniach: a) z kotłami rusztowymi, b) z kotłami pyłowymi dla 7x3 centroid klastrów otrzymanych jako optymalny podział badanej populacji próbek węgla.

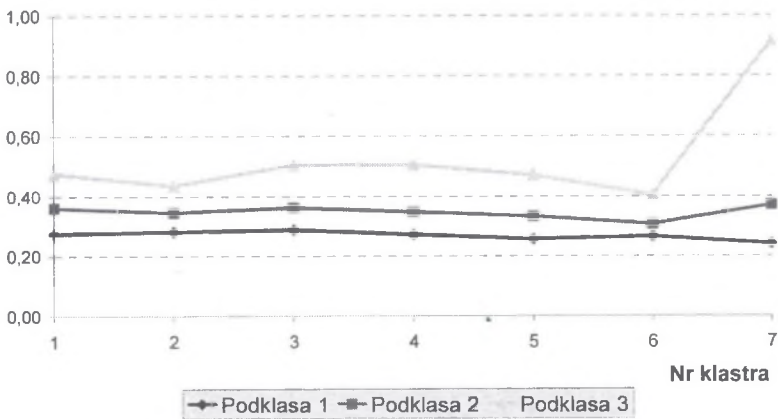
Ilość emisji pyłu dla kotła rusztowego [kg/t]



Rys. 1. Ilość emisji pyłu [kg/t] w elektrowni z kotłem rusztowym wyznaczona dla centroid podziału dwuetapowego na 7x3 klastry

Fig. 1. Amount of dust emission [kg/t] produced in power stations using the fire-grate kettles; estimation done for 7x3 centroids of clusters obtained in 2-stage classification

Ilość emisji pyłu dla kotła pyłowego [kg/t]



Rys. 2. Ilość emisji pyłu [kg/t] w elektrowni z kotłem pyłowym wyznaczona dla centroid podziału dwuetapowego na 7x3 klastry

Fig. 2. Amount of dust emission [kg/t] produced in power stations using the dust kettles; estimation done for 7x3 centroids of clusters obtained in 2-stage classification

Na podstawie ilości emisji pyłu oraz współczynników przynależności próbek węgla do klastrów można stworzyć model bazy wiedzy w postaci reguł określający stopień emisji pyłu podczas spalania węgla. Model ten można wykorzystać do wyznaczenia opłat ekologicznych związanych z emisją pyłu do atmosfery. W modelu tym przyjęto następujące skróty:

$Emisja_{pył}$ – ilość emisji pyłu, gdy spalanie odbywa się w kotłach pyłowych,

$Emisja_{rusz}$ – ilość emisji pyłu, gdy spalanie odbywa się w kotłach rusztowych.

Model obejmuje następujące reguły:

Z wagą 0,036 JEŻELI X_1 jest w 1. klastrze

TO X_2 jest w 1. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,2753$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,0648$ kg/t z wagą $w_{1'1} = 0,167$

TAKŻE X_2 jest w 2. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,3599$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,0847$ kg/t z wagą $w_{1'2} = 0,5$

TAKŻE X_2 jest w 3. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,4756$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,1119$ kg/t z wagą $w_{1'3} = 0,333$

z wagą 0,129 JEŻELI X_1 jest w 2. klastrze

TO X_2 jest w 1. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,2812$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,0662$ kg/t z wagą $w_{2'1} = 0,344$

TAKŻE X_2 jest w 2. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,3445$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,0811$ kg/t z wagą $w_{2'2} = 0,5$

TAKŻE X_2 jest w 3. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,4364$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,1027$ kg/t z wagą $w_{2'3} = 0,156$

z wagą 0,194 JEŻELI X_1 jest w 3. klastrze

TO X_2 jest w 1. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,2874$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,0676$ kg/t z wagą $w_{3'1} = 0,531$

TAKŻE X_2 jest w 2. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,3624$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,0853$ kg/t z wagą $w_{3'2} = 0,365$

TAKŻE X_2 jest w 3. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,5022$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,1182$ kg/t z wagą $w_{3'3} = 0,104$

z wagą 0,292 JEŻELI X_1 jest w 4. klastrze

TO X_2 jest w 1. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,2713$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,0638$ kg/t z wagą $w_{4'1} = 0,428$

TAKŻE X_2 jest w 2. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,3465$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,0815$ kg/t z wagą $w_{4'2} = 0,4$

TAKŻE X_2 jest w 3. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,5036$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,1185$ kg/t z wagą $w_{4'3} = 0,172$

z wagą 0,238 JEŻELI X_1 jest w 5. klastrze

TO X_2 jest w 1. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,2567$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,0604$ kg/t z wagą $w_{5'1} = 0,381$

TAKŻE X_2 jest w 2. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,3317$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,078$ kg/t z wagą $w_{5'2} = 0,542$

TAKŻE X_2 jest w 3. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,4694$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,1104$ kg/t z wagą $w_{5'3} = 0,076$

z wagą 0,095 JEŻELI X_1 jest w 6. klastrze

TO X_2 jest w 1. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,2648$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,0623$ kg/t z wagą $w_{6'1} = 0,383$

TAKŻE X_2 jest w 2. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,3052$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,0718$ kg/t z wagą $w_{6'2} = 0,404$

TAKŻE X_2 jest w 3. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,4051$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,0953$ kg/t z wagą $w_{6'3} = 0,213$

z wagą 0,016 JEŻELI X_1 jest w 7. klastrze

TO X_2 jest w 1. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,2407$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,0566$ kg/t z wagą $w_{7'1} = 0,625$

TAKŻE X_2 jest w 2. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,3705$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,0872$ kg/t z wagą $w_{7'2} = 0,125$

TAKŻE X_2 jest w 3. podklasie I $Emisja_{pył} = 0,9159$ kg/t I $Emisja_{rusz} = 0,2155$ kg/t z wagą $w_{7'3} = 0,25$

gdzie: X_1 – wartość zmiennej próbki określająca udział frakcji o gęstości mniejszej niż 1800 kg/m^3 ,

X_2 – wartość zmiennej próbki określająca zawartość popiołu tej frakcji.

5. Podsumowanie

W artykule zaproponowano wykorzystanie utworzonego regułowego modelu bazy wiedzy do oszacowania ilości emisji pyłu powstałego w procesach spalania węgla reprezentowanego przez pobrane próbki.

Algorytm grupowania wokół c-centroid zastosowano do wielowymiarowej analizy właściwości próbek węgla i wyznaczono rzeczywiste klasy węgla. W analizie właściwości próbek węgla uwzględniono tylko tę frakcję gęstościową węgla, w której zawartość popiołu jest charakterystyczna dla węgla energetycznych. Dwuetapowe grupowanie tworzyło podział najpierw ze względu na udział frakcji gęstościowej, a następnie ze względu na zawartość popiołu w określonych frakcjach.

Przy wyborze optymalnego podziału w pierwszym etapie klasyfikacji ze względu na liczbę klas badano różne kryteria. Jako optymalny wskazano podział na 7 klas ze względu na maksymalną wartość jakości zewnętrznej podziału. Optymalny podział w postaci wyznaczonych centroid klastrów posłużył do utworzenia modelu regułowego. Przedstawiono oszacowanie ilości emisji pyłu powstałego ze spalania 1 tony węgla o podanej zawartości popiołu. Utworzono regułową bazę wiedzy o wielkości emisji pyłu dla każdej klasy węgla.

W podobny sposób można analizować bazy danych zawierające informacje o węglu przetworzonym lub częściowo przetworzonym, o mieszkankach energetycznych, o węglu będącym produktem handlowym itp. Istotą analizy jest wydobywanie wiedzy z bazy danych i zaimplementowanie jej w formie, np. modelu regułowego, która jest przystosowana do wykorzystania jej w systemach wyposażonych w mechanizm wnioskowania, podejmowania decyzji czy predykcji.

LITERATURA

1. Bezdek J.C.: Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. New York. Plenum Press, 1981.

2. Blaschke W.: Propozycja nowej formuły sprzedanej węgla energetycznego przeznaczonego dla energetyki zawodowej. Studia, Rozprawy, Monografie. 112. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki.
3. Blaschke W.: System cen energetycznego węgla kamiennego. Studia, Rozprawy, Monografie 77. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2000.
4. Gornig A.: Zastosowanie metod klasyfikacji danych w analizie jakości węgla. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 2006.
5. Kacprzyk J.: Zbiory rozmyte w analizie systemowej. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1986.
6. Keith Burnard i Rabindra Chakraborty: Przegląd czystych technologii węglowych. 2007. <http://www.emisje-co2.pl>.
7. 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.
8. Lorenz U., Blaschke W., Grudziński Z.: Propozycja nowej formuły sprzedażnej węgla energetycznego przeznaczonego dla energetyki zawodowej. PAN Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Kraków 2002.
9. Praca Instytutu Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. Przeprowadzenie badań dynamicznych właściwości nadawy na zakład przerobczy. Gliwice 1980. NB-124/RG1/80 (niepublikowane).
10. Smakowski T., Budka J.: Ceny transakcyjne węgla kamiennego. Mat. Sympozjum „Koncepcje racjonalnych zmian systemowych i organizacyjnych w górnictwie węgla kamiennego”. Wyd. GIG, Katowice 1989.
11. Takagi T., Sugeno M.: Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics. 1985. vol. 15. No 1.
12. Walaszek-Babiszewska A., Kowal A.: Wykorzystanie grupowania rozmytego do klasyfikacji próbek węgla. Międzynarodowa Konferencja Górnictwo 2000. Materiały konferencyjne, Szczyrk 1999.
13. Zadeh L.: Probability measures of fuzzy events. J. Math. Anal. Appl. 1968/23. Str. 421-427.

Recenzent: Dr hab. inż. Anna Walaszek-Babiszewska