

*Edyta Brzychczy**

TECHNIKI EKSPLOACJI DANYCH W ZAGADNIENIACH EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ ZŁÓŻ WĘGLA KAMIENNEGO**

1. Wstęp

W dobie społeczeństwa informacyjnego i gospodarki opartej na wiedzy, istotnego znaczenia nabiera jakość informacji, na podstawie których są podejmowane decyzje w przedsiębiorstwie. Ogromna liczba danych, które przechowywane są w stale rozrastających się bazach danych i informacje w nich zawarte, często przez brak odpowiedniego procesu odkrywania wiedzy pozostają niewykorzystane, a mogą one znacząco wpływać na ocenę trafności danej decyzji i jej wpływu na stan bieżący i przyszły przedsiębiorstwa.

W przedsiębiorstwach górniczych, w bazach danych gromadzone są standardowe informacje o wynikach produkcyjnych, przychodach, kosztach, zużyciu materiałów, posiadanym kapitale ludzkim oraz zaangażowanych w proces produkcyjny maszynach i urządzeniach. Bazy te również przechowują ważne, z punktu widzenia możliwości i warunków prowadzenia dalszej działalności, dane o zasobach surowca mineralnego oraz parametrach złóż będących przedmiotem eksploatacji. Ta specyfika działalności górniczej i warunki prowadzenia procesu wydobywczego wymagają często analizy wielu zmiennych z różnych dziedzin działalności przedsiębiorstwa (różnych działów), a odgrywających istotną rolę w całości opisywanego zjawiska, a także danych zewnętrznych, np. makroekonomicznych i innych.

Proces eksploatacji złóż jest procesem bardzo złożonym, stąd wiele jego elementów może być poddawanych analizie w zakresie ich występowania i wyznaczania zależności między nimi. Najczęściej w tym celu wykorzystuje się podstawowe metody statystyczne, np. rachunek korelacji i regresji.

W niniejszej publikacji omówiono pokrótce rolę informacji w procesie eksploatacji górniczej złóż, zaproponowano model eksploracji danych oraz podano przykłady wykorzystania nowoczesnych technik analizy danych w tym procesie.

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, brzych3@agh.edu.pl

** Artykuł opracowany w ramach prowadzonych badań statutowych 11.11.100.279

2. Eksploatacja górnicza złóż

Pod pojęciem eksploatacji górnicznej rozumie się [13]:

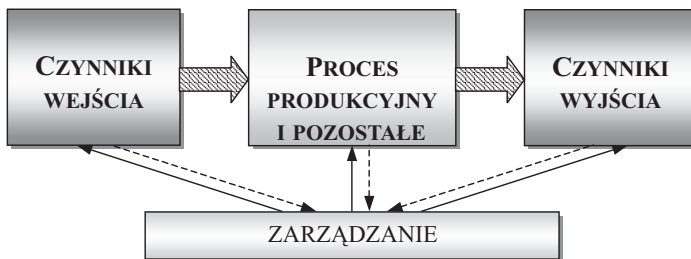
- ogół czynności związanych z pozyskiwaniem surowców mineralnych ze złóż naturalnych,
- wydobywanie surowców mineralnych ze złóż naturalnych uprzednio udostępnionych górnicznymi robotami przygotowawczymi.

Aby uściślić zatem obszar zagadnień, które będą analizowane ze względu na możliwość zastosowania w nich nowoczesnych technik eksploracji danych, w niniejszej publikacji przyjęto znaczenie eksploatacji górnicznej wg definicji drugiej. Przedmiotem dalszych rozważań będzie eksploatacja prowadzona w przedsiębiorstwach wydobywających węgiel kamienny.

Do elementów, które składają się na proces eksploatacji węgla kamiennego, w ujęciu analizy systemowej, można zaliczyć:

- czynniki wejścia:
 - zasoby naturalne – złoża,
 - zasoby ludzkie,
 - środki produkcji (maszyny i urządzenia),
 - materiały,
 - czynniki energetyczne (tj. woda, powietrze, ciepło, energia elektryczna),
 - odpowiednie informacje;
- proces produkcyjny i pozostałe:
 - prowadzenie robót przygotowawczych w ramach udostępnionych części złoża,
 - prowadzenie robót eksploatacyjnych,
 - prowadzenie robót zbrojeniowo-likwidacyjnych,
 - przewóz i transport dołowy,
 - transport szybowy,
 - przeróbka mechaniczna surowca mineralnego.
- czynniki wyjścia:
 - produkty: węgiel i inne (np. metan),
 - odpady i zanieczyszczenia,
 - informacje.

Ich wzajemną relację przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Elementy procesu eksploatacji górnicznej

Warto podkreślić w tym miejscu nadrzędną rolę obszaru zarządzania procesem eksploatacji, w którym realizowane są następujące podstawowe działania:

- planowanie,
- organizowanie,
- kierowanie,
- kontrolowanie.

W procesie zarządzania i właściwego wypełniania jego funkcji istotne są informacje (na rysunku zaznaczone przerywaną linią), które spływają w postaci sprzężeń zwrotnych z realizacji procesu, jak i dane wyjściowe o jakości produktu finalnego, faktycznym koszcie produkcji i pozostałych wielkościach charakterystycznych dla prowadzonego procesu i technologii.

Wyróżnione podprocesy i czynniki wejścia wymagane do ich właściwego prowadzenia dają bardzo ogólny pogląd na złożoność procesu eksploatacji górniczej. Należy pamiętać, że informacja ma podstawowe znaczenie dla procesu zarządzania, a jej przygotowanie na potrzeby jakiegokolwiek decyzji wymaga sięgnięcia do odpowiednich danych. W przypadku tak złożonego procesu, jakim jest eksploatacja górnicza, decydent ma do czynienia z dużą liczbą danych, które niosą wprost informacje o przebiegu procesu (na potrzeby zarządzania bieżącego), oraz z ogromną liczbą danych z przeszłości o prowadzonej eksploatacji, na podstawie których, poprzez proces eksploracji danych, można określić modele przydatne do wspomagania decyzji w zakresie prowadzonej produkcji i planowania przyszłej działalności.

Etapy procesu eksploracji danych i tworzenia modeli opisano w następnej części artykułu.

3. Charakterystyka procesu eksploracji danych

Dane gromadzone w bazach danych można opisać szeregiem atrybutów, np.: postać danych, ich aktualność, forma matematyczna, i inne bardziej szczegółowe cechy.

Ogół danych będących w gestii przedsiębiorstwa ze względu na czas, którego dotyczą, można podzielić na dane archiwalne, dane bieżące, dane dotyczące przyszłości. Czas, którego dotyczą dane, określa ich przydatność do różnego rodzaju zagadnień badawczych.

Innym kryterium podziału może być postać tych danych, według którego można wyróżnić dane elektroniczne oraz dane w wersji pisemnej. Postać danych w wysokim stopniu determinuje możliwość ich wykorzystania, ponieważ obecnie analiza danych jest powszechnie przeprowadzana w środowisku właściwego oprogramowania dla zdefiniowanego zagadnienia. Wersja papierowa nie dyskwalifikuje danych do użycia, jedynie wymaga ich odpowiedniego opracowania i przeniesienia do bazy elektronicznej (jednakże czas takiego przygotowania może być bardzo długi, np. w przypadku map pokładowych).

Wchodząc nieco głębiej w charakterystykę danych, można je podzielić na zmienne ilościowe (opisane liczbowo) oraz jakościowe (opisane symbolami). Ponadto zmienne ilościowe mogą mieć charakter dyskretny lub ciągły.

Istnieje wiele metod analizy danych (zamiennie stosuje się również pojęcie eksploracja danych) właściwych dla zadań, jakie sobie stawiamy. Najczęściej spotykane zadania eksploracji danych to [11]:

- opis,
- szacowanie (estymacja),
- predykcja,
- klasyfikacja,
- grupowanie,
- odkrywanie reguł.

W celu realizacji każdego zadania można wykorzystać różne techniki analizy danych, stosownie do sformułowanego celu badań, jak i postaci zmiennych będących przedmiotem obserwacji. Zestawienie takiego przyporządkowania przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Techniki analizy danych dla zadań eksploracji

Lp.	Zadanie	Przykładowe techniki analizy danych
1	opis	eksploracyjna analiza danych (EDA)
2	szacowanie (estymacja)	szacowanie wartości punktu, przedziały ufności, regresja liniowa, korelacja, regresja wielokrotna
3	klasyfikacja	algorytm k -najbliższych sąsiadów, sieci neuronowe, drzewa decyzyjne
4	grupowanie	metoda k -średnich, sieci Kohonena
5	odkrywanie reguł	algorytmy reguł asocjacyjnych

Źródło: opracowanie własne na podstawie [11]

Do zadania predykcji mogą zostać użyte, pod odpowiednimi warunkami, wszystkie techniki i metody wykorzystywane do klasyfikacji i szacowania [11].

Ważnym elementem każdej analizy danych jest utworzenie modelu eksploracji. Można wykorzystać w tym celu znane już metodologie, np. CRISP-DM, SEMMA.

Założenia CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining), opracowanej w 1996 roku przez analityków DaimlerChrysler, SPSS i NCR, przedstawiono między innymi w [12]. Kolejne etapy analizy danych zostały w niej określone następująco:

- zrozumienie uwarunkowań badawczych,
- zrozumienie danych,
- przygotowanie danych,
- modelowanie,
- ewaluacja,
- wdrożenie.

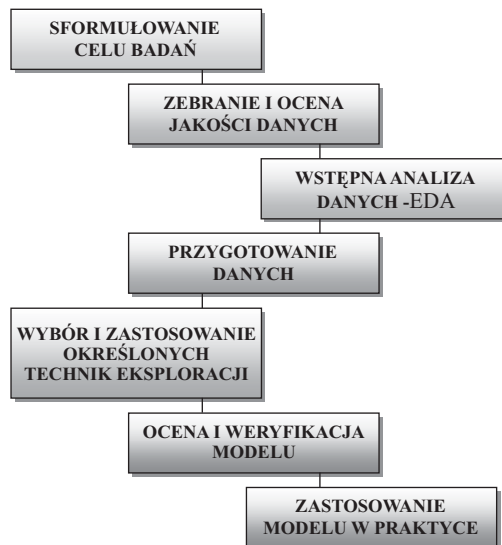
Natomiast metodologia SEMMA, opracowana w SAS Institute, jako pomoc przy korzystaniu z narzędzi programu SAS Enterprise Miner, wyróżnia pięć etapów eksploracji danych [7]:

- próbkowanie,
- eksploracja,
- modyfikacja,
- modelowanie,
- ocena.

Opisana metodologia jest częścią cyklu inteligencji biznesowej (Business Intelligence Cycle), w którym również rozpoczyna się analizę danych od zidentyfikowania problemu badawczego, niemniej jednak eksploracji dokonuje się na zestawie danych (próbce) z większego zbioru danych.

W niniejszej pracy proponuje się przyjąć model eksploracji danych, który zaprezentowano na rysunku 2.

W pierwszym etapie należy sformułować cel, któremu będzie służyć opracowany przez nas model. Następnie należy zebrać odpowiednie dane i dokonać ich analizy pod względem jakości (właściwe jednostki, braki, poprawność, zróżnicowanie). W kolejnym etapie należy przeprowadzić wstępną analizę danych w postaci graficznej (EDA) w celu oceny struktury danych (wartości odstające) i wychwycenia wstępnych zależności pomiędzy zmiennymi. Na etapie przygotowania danych (który jest najbardziej pracochłonny) należy przygotować ostateczny zbiór danych. W tym etapie wykonuje się m.in. zabiegi czyszczenia, transformacji i konsolidacji danych. W kolejnym kroku należy wybrać metodę (metody) eksploracji danych z uwzględnieniem różnych możliwych algorytmów i przeprowadzić odpowiednie obliczenia.



Rys. 2. Etapy eksploracji danych

Na etapie modelowania można wykorzystać kilka modeli eksploracji danych, mogą one jednak wymagać różnej postaci danych i powrotu do etapu przygotowania danych. Po oszacowaniu modelu badanego zjawiska należy dokonać jego weryfikacji pod względem jakości (wyrażonej jako stopień wyjaśniania badanego zjawiska) i poprawności merytorycznej. Po pomyślnej ocenie i weryfikacji model nadaje się do wdrożenia w określonej formie i właściwym dla niego miejscu (komórce organizacyjnej/biznesowej, procesie, itp.).

4. Zastosowania wybranych technik eksploracji danych w analizie elementów procesu eksploatacji górniczej

Z uwagi na mnogość zagadnień i możliwych do sformułowania problemów badawczych w obszarze eksploatacji górniczej złóż, w niniejszej części artykułu zostaną przedstawione wybrane przykłady zastosowania technik drażenia danych do analizy elementów tego procesu.

4.1. Regresja liniowa

Najwięcej przykładów zastosowania regresji liniowej można spotkać w analizie parametrów techniczno-ekonomicznych. Jest ona dość popularną metodą do wyznaczania zależności pomiędzy zmiennymi (najczęściej ilościowymi), stąd też w niniejszym artykule nie zostanie ona szczegółowo omówiona. Przykłady prowadzonych badań w tym zakresie na potrzeby górnictwa węgla kamiennego opisano m.in. w [14, 9, 19]. Na uwagę zasługuje przykład opisany w [8], gdzie oprócz modelu ekonometrycznego przedstawiono również procedurę jego weryfikacji składającą się z 13 kroków, wykorzystującą szerokie spektrum testów statystycznych. O budowie modeli liniowych do analizy zależności w tym zakresie pisano również w [3, 4]. Natomiast modele nieliniowe opisujące zależności techniczno-ekonomiczne można spotkać m.in. w [15, 16].

4.2. Sieci neuronowe

Do bardziej zaawansowanych technik drażenia danych, które można wykorzystać do analizy danych górniczych różnego rodzaju zalicza się sieci neuronowe.

Ideą sieci neuronowych jest odwzorowanie pracy komórek nerwowych organizmów żywych (neuronów) do analizy danych dotyczących różnego rodzaju procesów. Pojedynczy neuron składa się z: wejścia, wag, bloku sumującego, bloku aktywacji oraz wyjścia. Połączenie neuronów ze sobą tworzy sieć neuronów. Każda sieć składa się z warstwy wejścia, warstwy ukrytej i warstwy wyjścia. W efekcie działania sieci neuronowej otrzymuje się model z wyznaczonymi wagami dla poszczególnych neuronów, który opisuje badane zjawisko. Sieci te poddaje się procesowi uczenia (dobór odpowiednich wag dla neuronów) prowadzonemu z wykorzystaniem zbioru uczącego oraz weryfikującego. Sieci neuronowe klasyfikuje się ze względu na [10]: typ sygnału wejściowego, budowę sieci oraz sposób ich treningu.

W zagadnieniach procesu eksploatacji górniczej znalazły one zastosowanie między innymi do prognozowania zagrożenia metanowego w rejonach wyrobisk ścianowych, co

opisano w [1]. Innymi przykładami wykorzystania sieci neuronowych są zagadnienia: wyznaczania parametru górotworu $\tan \beta$ [17] oraz prognozowanie zaciskania chodników przyścianowych [18]. Sieci neuronowe, w postaci sieci Kohonena, mogą znaleźć również zastosowanie w ocenie kondycji finansowej przedsiębiorstwa górniczego, o czym pisano m.in. w [21].

4.3. Drzewa decyzyjne

Kolejną techniką, którą można wykorzystać zarówno do analizy zmiennych ilościowych, jak i jakościowych, są drzewa decyzyjne.

Efektom tego rodzaju analiz jest zestaw reguł zadany w postaci drzewa, które określa wychwycone zależności i prawidłowości pomiędzy zmiennymi. Przykład takiego drzewa przedstawiono na rysunku 3.

Drzewo to powstało jako wynik analizy wykorzystania kombajnów ścianowych w zależności od parametrów przodka ścianowego (wysokości ściany i jej długości) w jednym z przedsiębiorstw górniczych.

Strukturze drzewiastej odpowiada zestaw reguł przedstawiony na rysunku 4.

Z przeprowadzonej analizy wynika, iż w ścianach powyżej wysokości 2,9 m najczęściej wykorzystywany był kombajn KGS 600. W zakresie wysokości ścian 2,9–3,5 m wykorzystanie danego typu kombajnu połączono z długością ściany (dla której określono przedziały: poniżej 120 m, 120–180 m, 180–190 m oraz powyżej 190 m). Natomiast dla wysokości ścian powyżej 3,5 m zastosowanie znalazły dwa dominujące typy kombajnów: JOY 6LS oraz KSW 1140 (po 40% obserwacji).

Przykład zastosowania drzew decyzyjnych w analizie wykorzystania kombajnów chodnikowych w wyrobiskach korytarzowych kopalni węgla kamiennego przedstawiono w [5]. Mogą one również znaleźć zastosowanie w analizie danych dotyczących np. organizacji pracy, gospodarki remontowej maszyn i urządzeń oraz w analizie problemów produkcyjnych.

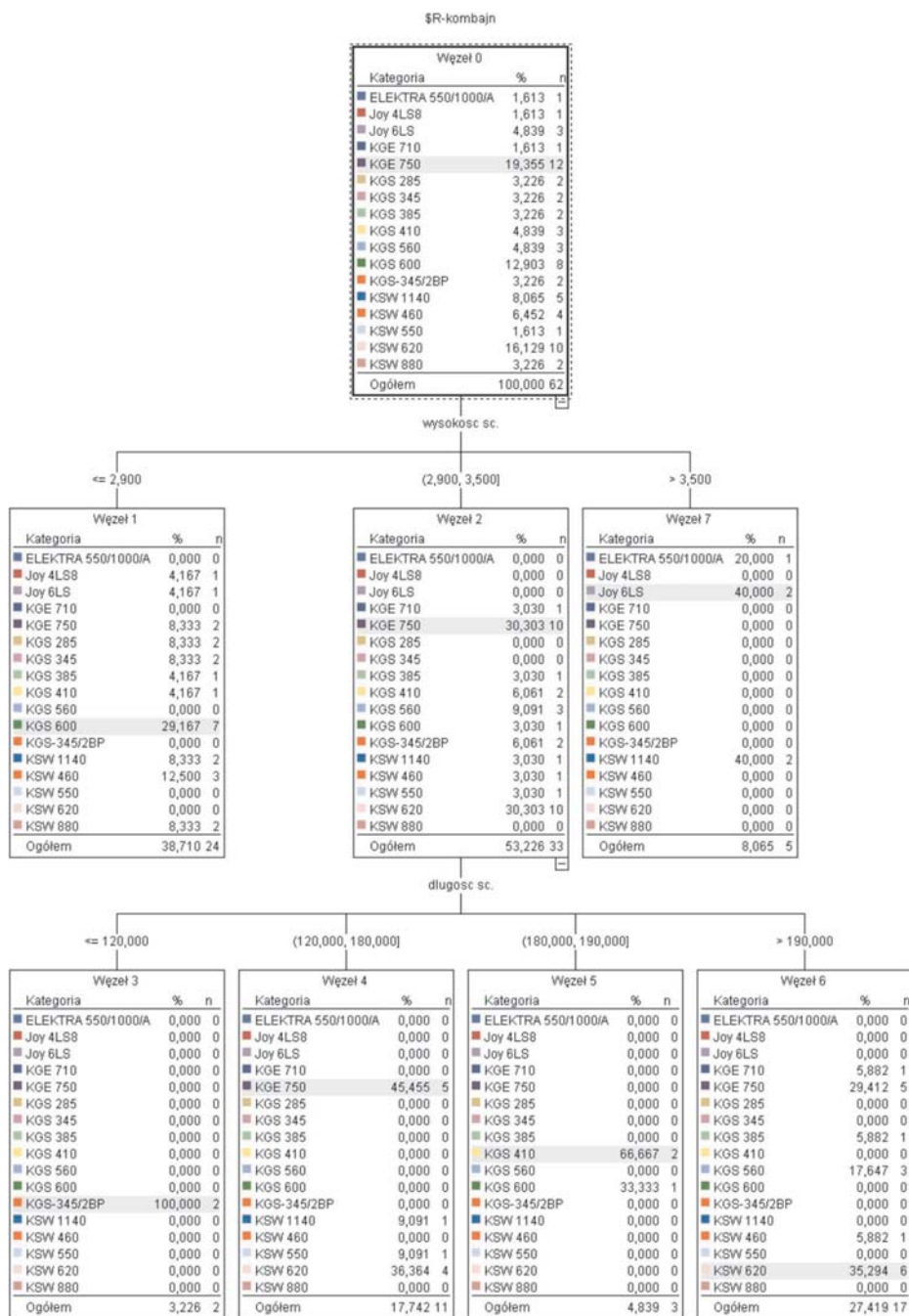
4.4. Algorytmy grupowania

Powszechnie stosowaną metodą wspomagającą grupowanie danych jest wielowymiarowa analiza porównawcza opierająca się na badaniu podobieństwa obiektów. O jej wykorzystaniu w zagadnieniach eksploatacji górniczej pisano m.in. w [20, 23, 22, 2]. Wynikiem grupowania przeprowadzonego według odpowiednich algorytmów są skupiska obiektów podobnych do siebie pod względem określonego zbioru cech.

Na rysunku 5 przedstawiono przykładowe wyniki grupowania wyrobisk ścianowych pod względem wybranych parametrów górniczo-geologicznych oraz ich parametrów geometrycznych.

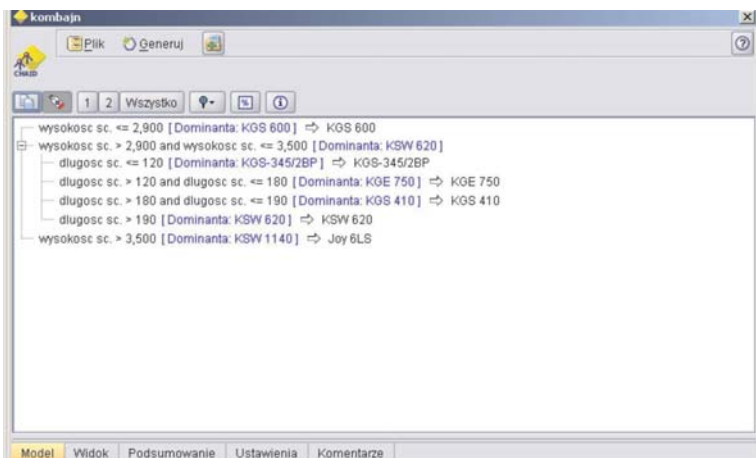
W badaniach wykorzystano algorytm k -średnich dla zadanej liczby grup (przyjęto 5).

Na podstawie przeprowadzonej analizy utworzono pięć grup, w których znalazły się wyrobiska podobne do siebie pod względem badanych cech, takich jak: długość ściany, wysokość ściany, kategoria zagrożenia metanowego, klasa zagrożenia wybuchem pyłu węglowego oraz stopień zagrożenia tąpnięciami.



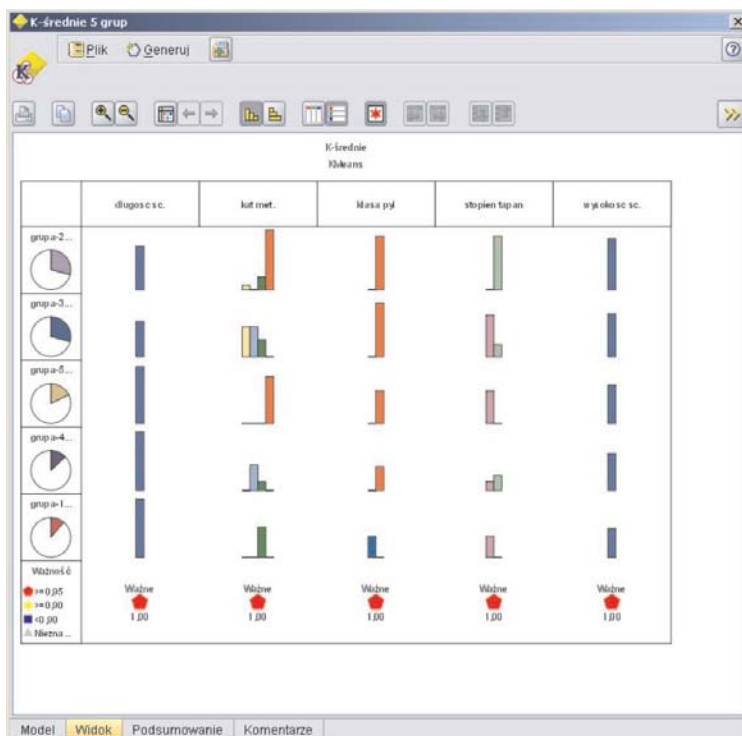
Rys. 3. Drzewo decyzyjne

Źródło: opracowanie własne z zastosowaniem programu SPSS Clementine



Rys. 4. Zestaw reguł

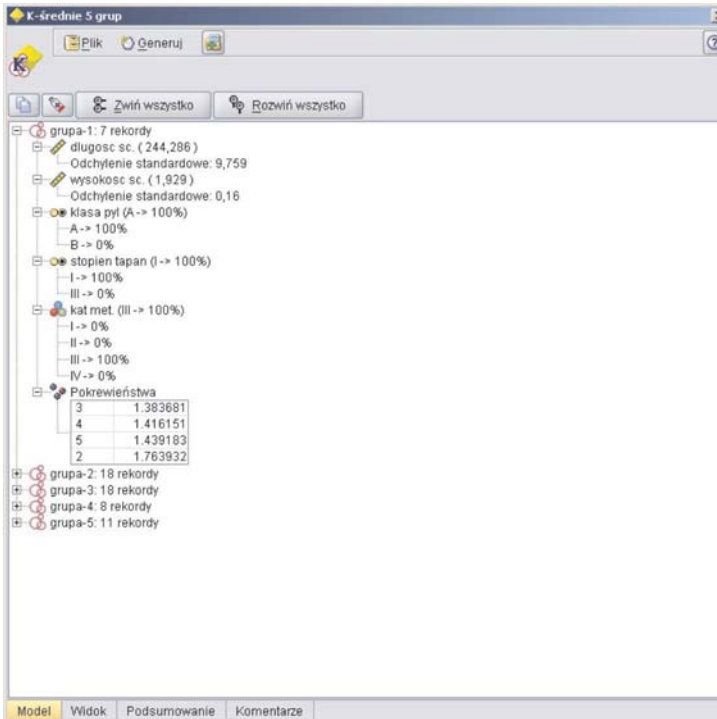
Źródło: opracowanie własne z zastosowaniem programu SPSS Clementine



Rys. 5. Wyniki grupowania

Źródło: opracowanie własne z zastosowaniem programu SPSS Clementine

Każda grupa opisana jest szczegółowo przez charakterystyki badanych parametrów, jak przedstawiono to na rysunku 6.



Rys. 6. Charakterystyka wyróżnionych grup

Źródło: opracowanie własne z zastosowaniem programu SPSS Clementine

Z przeprowadzonego procesu grupowania wynika, że np. w grupie 1 znalazły się ściany długie (śr. 244 m), niewysokie (śr. 1,92) z III kategorią zagrożenia metanowego, z klasą A zagrożenia wybuchem pyłu węglowego oraz I stopniem zagrożenia tapaniami. Na podstawie wyróżnionych grup wyrobisk można gromadzić informacje o przebiegu prowadzonego w nich procesu produkcyjnego, a także proponować podobne wyposażenie dla planowanych w nich robót górniczych.

Grupowanie można wykorzystać do wyróżnienia np. wyposażenia o podobnych parametrach produkcyjnych, pracowników o podobnych kwalifikacjach lub doświadczeniu, pól ścianowych o podobnych parametrach jakościowych węgla, itp.

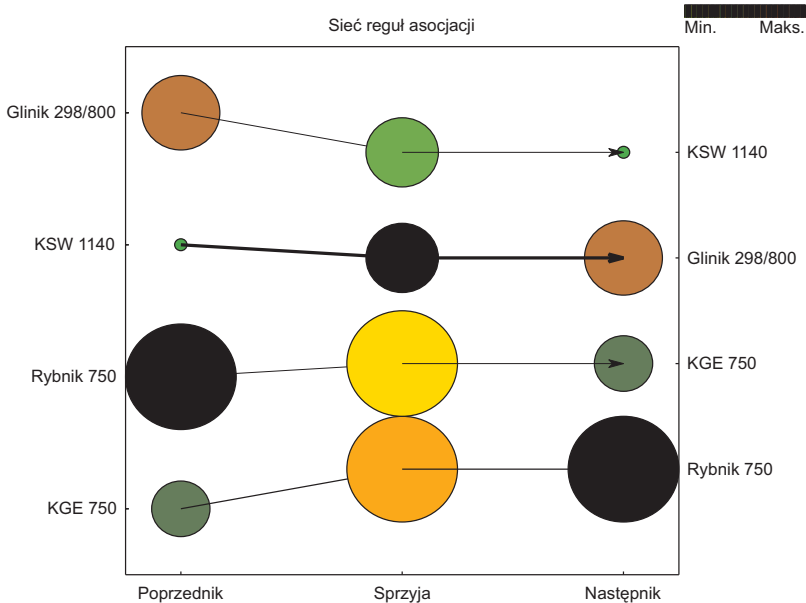
4.5. Reguły asocjacyjne

Dość ciekawym zagadnieniem jest proces odkrywania reguł, którego powszechne zastosowanie w badaniach marketingowych skutkuje m.in. nazywaniem tego procesu analizą koszykową (analizą zakupów).

Istotą tej analizy jest wyznaczenie na podstawie posiadanych danych reguł występowania i współwystępowania między nimi. Reguły określają dwie podstawowe miary: wsparcie (częstość występowania danych elementów) oraz zaufanie (czyli jak często element 1 (poprzednik) występował z elementem 2 (następnikiem)).

Możliwość wykorzystania reguł asocjacyjnych do analizy wyposażenia przodków ścianowych opisano szczegółowo w [6]. W podanej pracy poszukiwano zasad (reguł) zestawiania ze sobą w kompleksach ścianowych maszyn i urządzeń. Analizę tę prowadzono w wyróżnionych układach: kombajn–obudowa ścianowa, kombajn–przełożnik ścianowy, przełożnik ścianowy–przełożnik podścianowy.

Przykład wyników podobnej analizy przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Reguły w układach kombajn ścianowy–przełożnik ścianowy

Źródło: opracowanie własne z zastosowaniem programu Statistica Data Miner

Na podstawie danych określono regułę zestawiania ze sobą kombajnu KGE 750 z przełożnikiem Rybnik 750 oraz kombajnu KSW 1140 z przełożnikiem Glinik 298/800. Dane te zostały wyznaczone dla określonych parametrów algorytmu: minimalnych współczynników wsparcia i zaufania. Na wykresie wielkość węzła oznacza wsparcie, czyli inaczej częstość występowania lub współwystępowania danego układu maszyn, natomiast grubość linii oznacza zaufanie danej reguły (prawdopodobieństwo, że z poprzednikiem zostanie zestawiony następnik).

Wyniki takiej analizy mogą wspomóc automatyzację procesu tworzenia zestawów ścianowych przeznaczonych do wyrobisk projektowanych w kopalni węgla kamiennego. Technika ta może zostać wykorzystana również do analizy warunków geologiczno-górnicych wyrobisk, zmierzającej do określenia współwystępowania parametrów ich opisujących.

5. Podsumowanie

Jak widać z przeprowadzonego przeglądu możliwych zastosowań znanych oraz zaawansowanych technik eksploracji danych są one dość często stosowane w badaniach związanych z eksploatacją górniczą złóż. Artykuł ten miał na celu przybliżenie teoretycznych podstaw popularnej i szybko rozwijającej się dziedziny, jaką jest drażnienie danych (Data Mining) oraz pokazanie wybranych przykładów zastosowania tych technik.

Powszechny dostęp do technologii informatycznej i oprogramowania przeznaczonego do tego typu analiz niesie jednak ze sobą niebezpieczeństwo modelowania bez uprzedniego zrozumienia i przygotowania danych. Efektem tego zjawiska może być brak poprawy lub pogorszenie się jakości informacji przygotowanych na potrzeby procesu decyzyjnego. Stąd też istotne jest właściwe zaplanowanie procesu drażnienia danych i wybór właściwych do sformułowanego problemu metod modelowania, a także znajomość metod, których wyniki poddajemy interpretacji.

LITERATURA

- [1] *Borowski M., Szlązak N., Obracaj D.*: Prognozowanie zagrożenia metanowego w rejonie ścian eksploatacyjnych prowadzonych w kopalniach węgla kamiennego, Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Szczyrk 2007
- [2] *Brzywczy E.*: Zastosowanie wybranych metod ekonometrycznych w modelowaniu robót górniczych, Szkoła Ekonomiki i Zarządzania w Górnictwie, Krynica 2006
- [3] *Brzywczy E.*: Budowa modeli ekonometrycznych wybranych parametrów techniczno-ekonomicznych kopalni węgla kamiennego, Wiadomości Górnicze 2007, R. 58, nr 11
- [4] *Brzywczy E.*: Etapy weryfikacji modeli ekonometrycznych opracowanych dla potrzeb analizy charakterystyk techniczno-ekonomicznych kopalni węgla kamiennego, Wiadomości Górnicze 2008, R. 59, nr 3
- [5] *Brzywczy E.*: Analiza wykorzystania kombajnów chodnikowych w przodkach korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego z zastosowaniem drzew decyzyjnych. Zarządzanie: doświadczenia i problemy, red. W. Sitko, Wyd. System-Graf, Lublin 2008
- [6] *Brzywczy E.*: Analiza wyposażenia przodków ścianowych na podstawie reguł asocjacyjnych, Wiadomości Górnicze 2009, R. 60, nr 3
- [7] Data Mining and the Case for Sampling, Solving Business Problems Using SAS Enterprise Miner Software. Best Practices Paper. <http://www.sas.com/technologies/analytics/datamining/miner/semma.html> z dn. 20.02.2009
- [8] *Gawlik L.*: Budowa i weryfikacja modelu ekonometrycznego dla określenia liniowej zależności pomiędzy kosztami pozyskania węgla a wielkością wydobycia, Gospodarka Surowcami Mineralnymi 2008, T. 24, z. 1/1
- [9] *Jabłońska-Firek B., Pater K.*: Metody i narzędzia modelowania statystycznego kosztów technicznej likwidacji kopalń węgla kamiennego, Szkoła Ekonomiki i Zarządzania w Górnictwie, Bukowina Tatrzańska 2002
- [10] *Knosala i zespół*: Zastosowania metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002
- [11] *Larose T.D.*: Odkrywanie wiedzy z danych, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2006
- [12] *Larose T.D.*: Metody i modele eksploracji danych, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2008
- [13] Leksykon górniczy, portal Trybuny Górniczej, <http://www.nettg.pl/Sloownik/E,eksploatacja-gornicza,12460> z dn. 20.02.2009
- [14] *Lisowski A.*: Metoda regresyjnego prognozowania efektywności kopalń i pól górniczych dla potrzeb planowania, w: Komputeryzacja zarządzania, Katowice 1972
- [15] *Magda R.*: Analityczne modelowanie kosztów wybierania pól ścianowych w polu eksploatacyjnym, Górnictwo (kwartalnik AGH) 1990, z. 3

- [16] *Magda R.*: Modelowanie i optymalizacja elementów kopalń, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Seria z lampką górniczą nr 3, Kraków 1999
- [17] *Pawluś D.*: Zastosowanie sieci neuronowych do wyznaczenia parametru górotworu $tg\beta$ teorii Budryka-Knotheo, w: Materiały Krakowskiej Konferencji Młodych Uczonych 2007, Kraków 2007
- [18] *Prusek S.*: Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do prognozowania zaciskania chodników przyścianowych, *Wiadomości Górnicze* 2007, R. 58, nr 11
- [19] *Przybyła H.*: Wykorzystanie modeli statystycznych w ocenie i prognozowaniu wyników produkcyjnych i ekonomicznych górnictwa węgla kamiennego, w: Szkoła Ekonomiki i Zarządzania w Górnictwie, Krynica 2004
- [20] *Sucheta A.*: Dobór stymulatorów techniczno-ekonomicznych wywierających wpływ na efektywność majątku trwałego w kopalniach węgla kamiennego, *Górnictwo (kwartalnik AGH)* 1988, R. 12, nr 4
- [21] *Sukiennik M.*: Koncepcja analizy porównawczej metod oceny kondycji finansowej kopalń węgla kamiennego w Polsce, *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej* nr 120, konferencje nr 49, Oficyna Wydawnicza PW, Wrocław 2007
- [22] *Ślósarz M.*: Możliwości wykorzystania metod taksonomicznych w zarządzaniu przedsiębiorstwem wydobywczym Mieczysław, w: *Komputerowo zintegrowane zarządzanie*, T. 2, pod red. Ryszarda Knosali, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2004
- [23] *Zajac E.*: Wielowymiarowa analiza porównawcza pracy kopalń węgla kamiennego, *Skrypty Uczelniane* 1291, Wydawnictwa AGH, Kraków 1992