

# Propozycja systemu ekspertowego opartego o rozmyte wnioskowanie do oceny jakości węgla

*W artykule przedstawiono potrzebę utworzenia systemu ekspertowego opartego o rozmyte wnioskowanie do oceny jakości węgla. We wprowadzeniu opisano podstawowe założenia systemu ekspertowego. W dalszej części sprecyzowano pojęcie jakości węgla i opisano parametry węgla pod kątem prognozowanego procesu wzbogacania wytwarzającego produkt handlowy. Ukazano specyfikę zakładu przeróbki węgla, która powinna być uwzględniona w utworzonym systemie ekspertowym.*

## 1. WPROWADZENIE – SYSTEMY EKSPERTOWE

---

W inteligentnych systemach przemysłowych [24] przetwarza się bazę wiedzy w sposób naśladujący postępowanie człowieka-eksperta rozwiązującego podobny problem [9]. 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 wspomagania rozwiązywania specjalistycznych problemów, które wymagają profesjonalnej ekspertyzy. Systemy ekspertowe mogą dotyczyć rozwiązywania problemów o różnej złożoności i szczegółowości, zawsze jednak wymagają wykorzystania pewnej wiedzy właściwej i dostępnej ekspertom danej dziedziny, 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 charakterystyczną 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 [3] będącej dziedziną tworzonego systemu komputerowego.

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.

W tworzeniu modelu istotnym 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 oczyszczenie, ujednocianie, przesiewanie danych.

## **2. IDEA SYSTEMU EKSPERTOWEGO W ZAKŁADZIE PRZERÓBKİ SUROWCÓW MINERALNYCH**

Surowce mineralne pełnią zasadniczą funkcję w gospodarce i dlatego należy w sposób przemysłowy prowadzić ich użytkowanie [22]. Jest to powiązane m.in. z wieloskładnikowością kopaliny i koniecznością kompleksowego wykorzystywania jej różnorodnych składników i właściwości. Wobec tego rozpatruje się procesy inżynierii mineralnej jako system, którego głównym zadaniem jest osiągnięcie zamierzonych efektów techniczno-ekonomicznych, przy zapewnieniu minimalizacji nakładów, a także minimalizacja nieodwracalnych zmian w środowisku.

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 jakościowych żądanego produktu wyjściowego (końcowego) [24]. 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 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 określo-

nych 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.

Celowym 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 [1, 2].

Każdy proces technologiczny realizuje się z przyjętym celem [24]. 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

[24]. 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.

Według profesorów K. Sztaby i W. Blaschkego, trwają prace nad wdrożeniem w gospodarce surowcami mineralnymi systemów oceny procesów przemysłowych opartych na zastosowaniu kryteriów ekonomicznych, aby utworzyć wspólny system ocen obowiązujący w gospodarce [22, 1]. Systemy te powinny 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.

Klasyczne podejście do sterowania procesami, polegające na budowie modeli matematycznych i optymalizacji w oparciu o te modele, zaowocowało licznymi opracowaniami dotyczącymi automatyzacji procesów przeróbki węgla [6, 7, 14, 26, 29]. W tym nurcie można znaleźć prace poświęcone identyfikacji właściwości węgla surowego decydujących o efektywności stosowanych modeli matematycznych i kryteriów sterowania procesami przeróbczymi.

### 3. POJĘCIE JAKOŚCI WĘGLA

Pojęcie jakości węgla jest ściśle związane z procesami przetwarzania węgla kamiennego i jego efektów jako produktów handlowych. Parametry jakości węgla ściśle zależą od wykorzystania węgla jako produktu procesów przeróbki, jego wartości handlowej, a także od obciążalności środowiska naturalnego powstałymi odpadami. W związku z tym, jakość węgla jest rozumiana jako zbiór parametrów wpływających na jego cenę i wartość, jako produktu handlowego, oraz jako zbiór parametrów wpływających na wielkość obciążenia środowiska w analizowanych procesach.

Jakość węgla kamiennego jako materiału surowego do procesów przeróbczych, z punktu widzenia sterowania procesami elementarnymi oraz całości zakładu przeróbczego, była przedmiotem wielu prac specjalistów automatyków i technológów [8, 14, 18, 28, 30].

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.

Przedziały wartości parametrów klas handlowych węgla energetycznego określają polskie normy: PN-G-04512:1980, PN-G-04513:1981, PN ISO 334:1997, PN-G-04584:2001, PN-G-04511:1980. Wartości parametrów klas handlowych zależą od wartości opałowej węgla w stanie roboczym  $Q_i^r$ , zawartości popiołu w węglu w stanie roboczym  $A^r$  i zawartości siarki w węglu w stanie roboczym  $S_i^r$ . Wyróżnikiem klasy węgla do celów energetycznych, wchodzących w skład oznaczenia są trzy liczby przedzielone ukośną kreską, z których:

- pierwsza wskazuje najniższą wartość opałową węgla w stanie roboczym  $Q_i^r$  (MJ/kg),
- druga wskazuje najwyższą zawartość popiołu w węglu w stanie roboczym  $A^r$  (%),
- trzecia wskazuje dziesięciokrotność najwyższej zawartości siarki w węglu w stanie roboczym  $S_i^r$  (%).

W Polsce wyróżnia się następujące sortymenty węgla:

- węgle sortowane, wzbogacane o uziarnieniu pomiędzy 8 a 200 mm sprzedawane jako: kostka, orzech I, orzech II, groszek, groszek I, groszek II stosowane w gospodarstwach domowych i niewielkich elektrociepłowniach; węgle te charakteryzują się niewielką zawartością podziarna, niską zawartością popiołu i siarki oraz dużą odpornością na kruszenie,
- miały energetyczne o uziarnieniu 0-20 mm lub 0-30 mm i określonej wartości opałowej; charakteryzują się dużą podatnością przemiałową, niską lub średnią zawartością siarki oraz jednorodnością; używane są w dużych elektrowniach i elektrociepłowniach oraz cementowniach,
- miały koksujące – używane w koksowniach jako główny składnik mieszanek wsadowych do produkcji różnych rodzajów koksu,
- groszki specjalne do produkcji żelazostopów,
- groszki niskopopiołowe do produkcji sadzy,
- miały do palenisk rusztowych o określonym uziarnieniu.

Węgiel energetyczny stosowany jest głównie do wytwarzania energii elektrycznej lub ciepła. Właściwości użytkowe węgla charakteryzują następujące parametry jakościowe [1, 20]:

- wartość opałowa [MJ/kg] – wpływa na ilość węgla potrzebną do wytworzenia zadanej ilości energii,

- zawartość popiołu [%] – wpływa na system nawęglania i usuwania popiołu, poziom emisji pyłów, ilość niedopalonego węgla w popiele,
- zawartość siarki [%] – wpływa na tworzenie się siarczanów (żużlowanie), korozję, poziom emisji SO<sub>3</sub>, sposoby zagospodarowania odpadów;
- zawartość wilgoci [%] – wpływa na system nawęglania, magazynowania i usuwania popiołu, wzrost zawartości wilgoci zwiększa objętość gazów odlotowych oraz zapotrzebowanie powietrza do spalania;
- zawartość związków lotnych [%] – wpływa na zachowanie węgla podczas składowania (utlenianie, skłonność do samozapłonu, utratę wartości cieplnej).

Wartość opałowa to ilość ciepła odprowadzana z komory spalania po pełnym i całkowitym spalaniu jednostkowej ilości paliwa. Spalanie odbywa się pod stałym ciśnieniem. Spaliny schładzane są do temperatury początkowej substratów bez skroplenia zawartej w nich pary wodnej [20]. Warunki te są zbyt wygórowane i niemożliwe do spełnienia w laboratorium. Dlatego w praktyce określa się górną wartość opałową. Jest to całkowita ilość energii otrzymana z węgla. Wyznaczana jest jako ciepło spalania i jest wyrażona w jednostkach energii na jednostkę masy. Zmiana wartości opałowej węgla powoduje zmianę ilości paliwa konieczną do wytworzenia założonej ilości energii. Wiąże się to pośrednio z ilością emisji gazów do atmosfery oraz ilością tworzących się, wymagających zagospodarowania, odpadów stałych.

Popiół jest pozostałością po całkowitym spalaniu substancji organicznej i utlenieniu składników mineralnych obecnych w węglu. Jest wykorzystywany jako wskaźnik stopnia czystości węgla. Wyższa zawartość popiołu powoduje niższą wartość opałową, ponieważ popiół nie dostarcza żadnej energii do układu. Popiół jest balastem podczas transportu, wymaga odpylania gazów spalinowych i powoduje powstanie odpadów paleniskowych w ilości proporcjonalnej do zawartości popiołu w węglu. Zawartość popiołu i jego skład wpływają na operacje technologiczne w elektrowni. Wysoka zawartość popiołu w węglu powoduje zaburzenia w pracy układu nawęglania, młynów, kotłów, w systemie odprowadzania popiołu, oddziałuje na wymienniki ciepła i system zdmuchiwanie sadzy, wpływa na poziom emisji pyłów oraz ilość niedopalonego węgla w popiele. Zawartość popiołu jest jednym z ważniejszych parametrów decydującym o cenie węgla energetycznego [1, 21].

Najważniejszą konsekwencją zawartości popiołu w węglu energetycznym jest jego oddziaływanie

na sprawność kotła. Składniki popiołu powodują zarastanie, żużlowanie i korozję powierzchni grzewczych. Ze względów konstrukcyjnych kotły energetyczne są projektowane i dostosowane do spalania paliwa o określonej jakości tzw. węgla gwarancyjnego. Przy jego spalaniu kocioł uzyskuje najwyższą sprawność i wydajność znamionową. Możliwe jest pogorszenie jakości dostarczanego paliwa do pewnego poziomu, ale wiąże się to z pogorszeniem sprawności kotła. Znaczne odstępstwa od optymalnych parametrów, zarówno pogorszenie jak i polepszenie, pogarszają sprawność. Obniżenie wartości opałowej powoduje wzrost zużycia węgla ze względu na wymaganą ilość ciepła dostarczaną do kotła oraz ze względu na obniżoną sprawność kotła. Węgiel o zbyt wysokiej wartości opałowej powoduje

z kolei wzrost zawartości części palnych w żużlu i popiele lotnym oraz zwiększa stratę wylotową. Oszczędność w konsumpcji paliwa w porównaniu ze źle dobranym węglem szacuje się na 5% – 25% redukcji w koszcie eksploatacji kotła [1, 21].

Siarka w węglu występuje w połączeniach organicznych i nieorganicznych. Najczęściej występuje w związkach z żelazem. Siarka organiczna utlenia się podczas spalania i trudno ją oddzielić konwencjonalnymi metodami. Siarka występuje we wszystkich rodzajach węgla w ilości nawet do kilkunastu procent. Zawartość siarki w węglu jest jednym z najważniejszych parametrów węgla handlowego dla energetyki.

Powyższe parametry węgla są wyznaczone w analizach laboratoryjnych (technika analizy jakościowej, analizy pierwiastkowej inne). Na podstawie tych parametrów można oszacować emisję dwutlenku siarki, pyłu oraz ilość odpadów.

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 korzystniejszym jest funkcjonowanie indywidualnych cenników węglowych dostosowanych do oferty jakościowej węgla tego zakładu [2]. 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.

Do oszacowania cen i wartości węgla jako produktu końcowego będącego przedmiotem sprzedaży można wykorzystać formuły sprzedażne oraz tablice

cennikowe proponowane przez prof. W. Blaschkego [1, 19]. Podstawą oszacowania w systemie ekspertowym jest baza wiedzy reprezentująca strukturę ilościowo-jakościową całego materiału, z którego pobrane zostały próbki węgla.

#### 4. SYSTEM EKSPERTOWY UWZGLĘDNIĄCY SPECYFIKĘ ZAKŁADU PRZERÓBKĘ WĘGLA

W strukturze zakładów przeróbki surowców mineralnych można wyróżnić zbiór pojedynczych współzależnych procesów. Tworzą one ciągi technologiczne o określonych zadaniach. Aby surowy materiał uziarniony stał się produktem handlowym, jest on poddawany procesom przeróbki mechanicznej lub chemicznej w celu:

- rozdrabnianie zbyt dużych ziaren,
- rozdzielenia materiału na klasy ziarnowe poprzez przesiewanie,
- rozdzielenia na frakcje o różnej zawartości składnika użytecznego (wzbogacanie) dla uzyskania produktów handlowych o wysokiej jakości,
- mieszanie materiałów o różnej zawartości składnika użytecznego,
- uśrednianie materiału ze względu na wybrany parametr.

Operacjom tym towarzyszą procesy pomocnicze realizowane przez:

- system zamknięcia obiegu wody dla całego zakładu,
- układy regulacji gęstości cieczy ciężkich,
- układy regulacji pulsacji dla osadzarek,
- urządzenia filtracji, suszenia, transportu i inne.

Kontrola bieżąca i regulacja automatyczna oraz optymalizacja zadań całego zakładu wymagają mierzenia i rejestracji wielu parametrów [7]. Niektóre z tych wielkości są wyznaczane poprzez badania próbkowe z czasem dyskretnym lub ciągłym [24]. Jednym z podstawowych zadań jest uzyskanie żądanych produktów procesu wzbogacania. Podstawowymi charakterystykami materiałów uziarnionych, w tym surowców mineralnych przeznaczonych do dalszej przeróbki, półproduktów i produktów, są:

- charakterystyka składu ziarnowego reprezentująca udziały klas ziarnowych o zróżnicowanej wielkości ziaren
- charakterystyka densymetryczna reprezentująca udziały frakcji ziaren o zróżnicowanej wielkości.

Ponadto w zależności od przeznaczenia materiałów określa się zawartości w materiale składników użytecznych lub nieużytecznych. Charakterystyki te

są powszechnie używane przez technologów procesów przeróbki kopaliny, a sposób pobierania materiału stanowiącego próbkę oraz jej masa są przedmiotem szeregu norm. Podstawą do podejmowania decyzji o liczbie próbek i ich wielkości, a także częstotliwości ich pobierania jest wielkość dopuszczalnego błędu dla udziału danej frakcji ziarnowej lub gęstościowej oraz przewidywany dopuszczalny koszt opróbowania. Ponadto zagadnienie rozpoznawania lub klasyfikacji materiału w oparciu o pobraną próbkę statystyczną można sformułować w kategoriach zdarzeń losowych, których prawdopodobieństwo zajścia określają reguły Bayesa.

#### 5. PODSUMOWANIE

Nowoczesne analizy danych, w tym *data mining*, klasyfikacja danych typu *clustering*, a przede wszystkim tworzenie systemów z bazą wiedzy w oparciu o analizę danych i wiedzę ekspertów, które zastępują tradycyjne w automatyce modele matematyczne procesów i systemów wraz z systemami sterowania, można również zastosować do wielu procesów przetwarzania węgla, które są bardzo złożone ze względu na wielowymiarowość wielkości opisujących procesy, ograniczone możliwości pomiarowe istotnych parametrów węgla, potrzebę uwzględnienia wiedzy ekspertów – technologów. Utworzenie systemu ekspertowego zawierającego bazę wiedzy o jakości węgla pod kątem wybranych procesów technologicznych, uwzględniającego specyfikę zakładu przeróbki węgla będzie tematem dalszej pracy.

#### Literatura

1. Blaschke W., Mokrzycki E., Zhongjian Shan: Coal preparation economics. New Trends in Coal Preparation Technologies and Equipment. Gordon and Breach Publishers, 1994.
2. Blaschke W.: System cen energetycznego węgla kamiennego. Studia, rozprawy, monografie 77. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Kraków. 2000.
3. Bubnicki Z.: Logic-algebraic method for knowledge-based systems, Proc.1<sup>st</sup> Int. Symposium on Mathematical Models in Automation and Robotics. Międzyzdroje. 1994.
4. Bubnicki Z.: Metody logiczno-algebraiczne dla dynamicznych reprezentacji wiedzy. Inżynieria Wiedzy i Systemy Ekspertowe, pod red. Z. Bubnickiego i A. Grzecha, t. I, str. 133-142. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław. 1997.
5. Cholewa W., Moczulski W.: Reprezentacja wiedzy w diagnostycznych systemach doradczych. Techniki komputerowe. 1988.
6. Cierpisz S.: Automatyizacja zakładów przeróbki mechanicznej węgla. Mat. Konf. pt. Automatyizacja zakładów przeróbki me-

- chanicznej węgla. Szczyrk. 1995. str. 1-13.
7. *Cierpisz S.*: Optymalizacja produkcji jednego zakładu i grupy zakładów wzbogacania węgla. XI Konferencja Automatyzacji Procesów Przeróbki Kopalni. Materiały konferencyjne. Szczyrk. 2005
  8. *Cierpisz S., Pielot J.*: Symulacyjne statyczne modele procesów i układów sterowania w zakładach wzbogacania węgla. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice. 2001.
  9. *Czogała E., Frączek J., Sulkowski J.*: Simulation of fuzzy control of the ventilation process in the longwalls with methan emission (Polish). *Archiwum Informatyki Teoretycznej i Stosowanej*, T.7. 1995.
  10. *Fayyad U. M.*: Data Mining and Knowledge Discovery: Making Sense Out of Data. Microsoft Research. IEEE Expert 11. 1996.
  11. *Gornig A.*: Zastosowanie metod klasyfikacji danych w ocenie jakości węgla. Praca doktorska. Gliwice. 2006.
  12. *Holsheimer M., Siebes A.*: Data mining. The Search for Knowledge in Databases. Amsterdam.
  13. *Jagielski J.*: Inżynieria wiedzy w systemach ekspertowych. Lubuskie Towarzystwo naukowe. Zielona Góra. 2001.
  14. *Kalinowski K., Krasucki F.*: Wybór funkcji identyfikującej nadawę dla automatycznego sterowania procesem wzbogacania węgla. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*. Z.86. Gliwice. 1977.
  15. *Kaufman Leonard, Rousseeuw Peter J.*: Finding Groups in Data. An Introduction to Cluster Analysis. A Wiley-Intersciences Publication. USA. 1990.
  16. *Korbicz J.*: Advances in fault diagnosis systems. Proc. 10th IEEE Int. Conf. Methods and Models in Automation and Robotics, MMAR, Miedzyzdroje. 2004. Vol. 2. (referat plenarny).
  17. *Korbicz J., Koscielny J.M., Kowalczyk Z., Cholewa W.*: Fault Diagnosis. Models, Artificial Intelligence, Application) Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. 2004.
  18. *Krasucki F., Walaszek-Babiszewska A.*: Algorytmy wyznaczania nadawy. *Mat. Symp. KG PAN NT. Automatyzacja Procesów Przeróbki Mechanicznej Węgla*. Str. 74-77. Katowice. 1978.
  19. *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.
  20. *Mielecki T.*: Wiadomości o badaniu i własnościach węgla. Wydawnictwo Śląsk. Katowice. 1972.
  21. *Pieczyski A.*: Reprezentacja wiedzy w diagnostycznych procesach przemysłowych. Monografia. Lubuskie Towarzystwo Naukowe. Zielona Góra. 2003.
  22. *Smakowski T., Budka J.*: Ceny transakcyjne węgla kamiennego. *Mat. Sympozjum „Koncepcje racjonalnych zmian systemowych i organizacyjnych w górnictwie węgla kamiennego”*. Wyd. GIG. Katowice. 1989.
  23. *Sugeno M.*: Fuzzy Control and Applications. Wykłady Studiów doktoranckich z przedmiotu informatyka i sztuczna inteligencja. Oviedo. Hiszpania. 1998.
  24. *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.
  25. *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.
  26. *Tumidajski T.*: Modelowanie matematyczne układów technologicznych przeróbki surowców mineralnych. Praca zbiorowa. IGSMiE PAN. Kraków. 2004.
  27. *Turksen I.B.*: Theories of set and logic with crisp or fuzzy information granules. *J. Adv. Comput. Intell*. 1999.
  28. *Walaszek-Babiszewska A.*: Identyfikacja statyczna procesu wzbogacania węgla w cieczach ciężkich w układzie automatycznego sterowania. Praca doktorska. Gliwice. Politechnika Śląska, Wydział Górniczy. 1980.
  29. *Walaszek-Babiszewska A.*: Modele stochastyczne opróbowania węgla. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śl., Górnictwo*, z. 203. Gliwice. 1992.
  30. *Walaszek-Babiszewska A.*: Statistical investigation of feed for identification of coal enrichment process. Proc. Int. Conf. Automatical Regulation Systems (ARS). Ostrava. 1981.
  31. *Wierzchoń S.*: Metody reprezentacji i przetwarzania informacji niepewnej w ramach teorii Dempstera-Shafera. Warszawa. 1996.

Recenzent: dr inż. Adam Heyduk

