

**Tomasz GRZYCHOWSKI**

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT AUTOMATYKI,  
ZAKŁAD SYSTEMÓW POMIAROWYCH

## Badania nad możliwością zastosowania logiki rozmytej w systemach wspomaganie decyzji przy kontroli zagrożenia gazowego

Dr inż. Tomasz GRZYCHOWSKI

Ukończył studia na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej na kierunku Automatyka i Robotyka o specjalności Systemy Pomiarowe w roku 2001. W roku 2007 uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z pomiarami, iskrobezpieczeństwem oraz gazometrią. Prowadzi prace badawcze związane z wykorzystaniem logiki rozmytej do wspomagania podejmowania decyzji w systemach pomiarowych przy kontroli atmosfery kopalnianej.



e-mail: tomasz.grychowski@polsl.pl

### Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań nad możliwością wykorzystania logiki rozmytej do wspomagania dyspozytora podczas kontroli zagrożenia gazowego w górnictwie. Zagrożenie powodowane jest przez niekorzystne dla załogi zmiany atmosfery kopalnianej. Zbudowano eksperymentalne stanowisko pomiarowe z urządzeniami do pomiaru parametrów atmosfery. Opracowano szereg programów wspomagania dyspozytora wykorzystujących modele rozmyte, gdyż zauważono dość duży wpływ czynnika ludzkiego przy bieżącej analizie danych pomiarowych napływających z monitorowanego rejonu.

**Słowa kluczowe:** systemy wspomaganie decyzji, logika rozmyta, monitorowanie zagrożenia, gazometria.

### Research on possibility of use of fuzzy logic in decision support systems in gas hazard control

#### Abstract

In this paper the research is about utilization of fuzzy logic to support an operator of hazard monitoring system of coal mine atmosphere are presented. The hazard be caused by unfavourable changes of mine atmosphere. There were proposed new solutions based on quality analyses of measured data. Basing on the knowledge of the operator there has been built a fuzzy approximate reasoning system, which is used to improve reliability in a decision making process and a hazard identification. Metrological properties of measurement devices on which the operator's decisions are made have been tested. We built many programs for intelligent early detect fire or combustible threat of atmosphere. The laboratory system was build to control the physical parameters of the air. The measuring experimental installation includes the intrinsically safe system and mine sensors to control toxic and combustible gases which appear in mine atmosphere. This system enables simulation of gas hazards, testing software supporting the operator in real time, as well as checking and calibration gas sensors. The graphics LabVIEW environment of the National Instruments was used to build the software system.

**Keywords:** decision support systems, fuzzy logic, hazard monitoring, gas measurements.

## 1. Wprowadzenie

Koncentracja wydobywania oraz coraz trudniejsze warunki eksploatacji w wyniku narastających zagrożeń naturalnych mają decydujący wpływ na bezpieczeństwo załóg i ciągłość ruchu zakładów górniczych. Wzrost zagrożeń naturalnych, wynikający z wybierania coraz głębiej zalegających pokładów węgla kamiennego oraz ze stosowania wysokowydajnych systemów eksploatacji, powoduje konieczność poszukiwania nowoczesnych metod w zakresie kontroli i zwalczania zagrożeń gazowych. Nastąpił ogromny postęp w zakresie mierzonych parametrów powietrza kopalnianej, tj. stosowanych czujników, funkcji systemów au-

tomatycznej gazometrii, a także niezawodności stosowanych rozwiązań [1].

Kontrola zagrożenia jest na bieżąco prowadzona w dyspozytorniach zakładu górniczego, gdzie wykorzystuje się komputerowe systemy pomiarowe. Idea systemu kontroli wentylacji oparta jest na ciągłych pomiarach parametrów powietrza kopalnianej. W tym celu w sieci wentylacyjnej kopalni rozmieszcza się czujniki parametrów przepływającego powietrza, które dostarczają bieżącej informacji o zagrożeniu. Zakres pomiarów decyduje o poziomie kontroli zagrożeń aerologicznych oraz możliwości szybkiego podejmowania właściwych decyzji w przypadku wystąpienia zagrożenia [2]. Prawidłowe rozmieszczenie urządzeń pomiarowych w sieci wentylacyjnej kopalni należy do służb wentylacyjnych kopalni, które stosują się do przepisów górniczych oraz zasad bezpieczeństwa [3]. Trudne warunki środowiskowe, występowanie silnych zakłóceń oraz rozbudowana struktura przestrzenna kopalni powodują często konieczność monitorowania stanu bezpieczeństwa w warunkach niepełnej informacji. Proces wentylacji przodków górniczych należy do tych procesów przemysłowych, których nie da się precyzyjnie modelować [4]. Można go jedynie opisywać w sposób przybliżony co komplikuje budowę dokładnych modeli zagrożenia. Jedynym rozwiązaniem jest tu dyspozytor, który może przetwarzać dane nieprecyzyjne i niejednoznaczne, tworzyć przybliżone modele skomplikowanych i złożonych sytuacji oraz wyznaczać przybliżone, zadowalające rozwiązania. Dyspozytor stosując holistyczną, czyli całościową technikę przetwarzania napływających informacji (posługując się intuicją), podejmuje często zaskakujące, ale najczęściej trafne decyzje [5, 6]. Sposób wartościowania przez dyspozytorów sygnałów mierzalnych oraz wykorzystanie relacji logicznych po między nimi, powoduje, że mamy do czynienia z wiedzą rozmytą [7], stąd też wynika, zrealizowana w niniejszej pracy propozycja kontroli zagrożenia w oparciu o zbiory rozmyte.

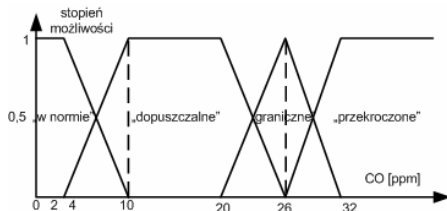
## 2. Modele rozmyte zagrożenia

Opracowano szereg rozmytych modeli zagrożeń, które umożliwiają uzyskiwanie zadowalających wyników w szacowaniu zagrożenia na podstawie niepełnej, doświadczalnej wiedzy osoby kontrolującej stan atmosfery. Rozmycie jest spowodowane niepewnością pomiarów stanu atmosfery wynikającą z niestacjonarności pomiarów, stosowaniu nieselektywnych ale odpornych na uszkodzenia urządzeń pomiarowych w mieszaninach wieloskładnikowych [8]. Wnioskowanie rozmyte przeprowadzane jest na danych lingwistycznych, a reguły wnioskowania są określone na podstawie przepisów górniczych lub empirycznych reguł wnioskowania stosowanych przez dyspozytorów nadzorujących pracę w monitorowanych rejonach. Budowa modeli rozmytych jest zróżnicowana, zależna od rodzaju monitorowanego zagrożenia, dostępności urządzeń pomiarowych, warunków środowiskowych. Budowę modeli można podzielić na kilka etapów [6, 8, 9, 10, 11]:

1. Wybór zmiennych wejściowych związanych z czujnikami w systemie oraz zakresami ich pracy (tworzenie tzw. zmiennych lingwistycznych). Wynika to z miejsca zabudowy czujników w wybranym rejonie dla którego tworzony jest system.
2. Podział zmiennych wejściowych systemu na przedziały częściowo zachodzące na siebie reprezentujące sposób postrzegania pomiarów przez dyspozytora a związane z możliwością zaistnienia sytuacji zagrożenia (tworzenie tzw. wartości lingwistycznych).

- Wybór zmiennych wyjściowych systemu, jako zbiorów klas wartości zagrożenia oraz decyzji dyspozytora. Wynika to z występujących zagrożeń w danym monitorowanym rejonie oraz sposobu obsługi rejonu przez dyspozytora.
- Opracowanie baz reguł czyli zestawu relacji typu „Jeżeli-to” łączących informację jakościową zawierającą sposób postępowania dyspozytora.
- Wybór odpowiedniego schematu wnioskowania, czyli poszczególnych operacji matematycznych tworzących algorytm wnioskowania rozmytego.

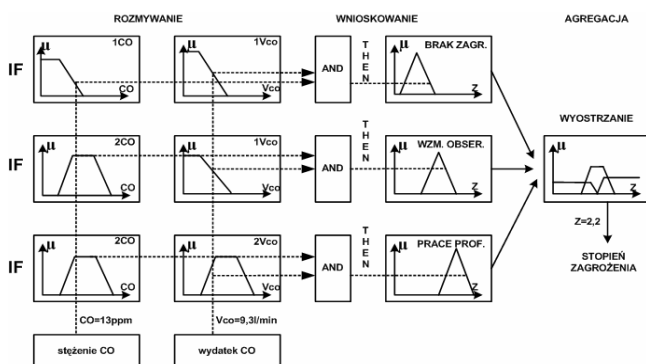
Za pomocą funkcji przynależności oszacowano przedziały wartości mierzonych zgodnie z wiedzą i praktyką dyspozytorską. Na rys. 1 przedstawiono przykładowe rozkłady możliwości wystąpienia poszczególnych wartości monitorowanego stężenia gazu powodującego zagrożenie [8] oraz wartości progowe ustawiane w istniejących systemach (linia przerywana).



Rys. 1. Symboliczny opis zmiennej stężenie tlenku węgla  
Fig. 1. The symbolic description of variable the carbon oxide concentration

W przypadku funkcji „w normie” dla wartości pomiędzy 0 a 3 ppm CO, dyspozytor uznaje taką wartość za stan normalny z maksymalnym stopniem możliwości. Funkcja „dopuszczalne” określa dopuszczalne stężenia tlenku. Natomiast funkcja „graniczne” określa nieprecyzyjnie próg alarmowy uznawany przez dyspozytora za możliwe zagrożenie i obligujący go do przepisowych działań [3]. W modelach rozmytych przedziały zmienności mierzonych parametrów atmosfery zostały opisane jakościowo za pomocą trapezoidalnych bądź trójkątnych funkcji przynależności. Sposoby podziału zmiennych wejść i wyjść w opracowanych programach wspomagania decyzji są wynikiem wielu doświadczeń oraz konsultacji z dyspozytorem przy badaniu jakości działania modeli rozmytych [8,11]. Badane modele rozmyte wykorzystują głównie koniunkcyjną interpretację reguł, czyli są budowane na podstawie schematów wnioskowania Mamdaniego oraz Larsena [10].

Na rys. 2 zilustrowano przepływ sygnałów w wielowymiarowym modelu rozmytym uwzględniającym przykładowe 3 reguły. Za pomocą takich modeli uzyskuje się w procesie wyostrzenia konkretną wartość stopnia zagrożenia.



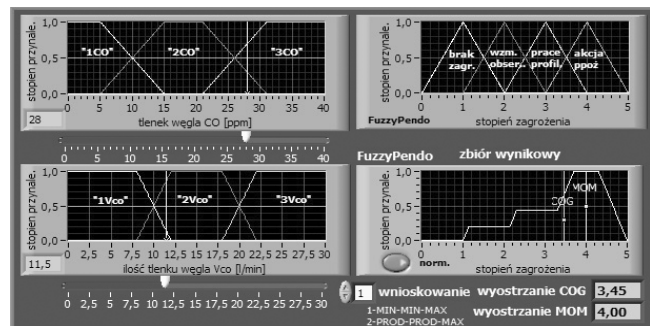
Rys. 2. Przepływ sygnałów w modelu rozmytym  
Fig. 2. The signals flow in fuzzy model

Na podstawie reguł algorytm po wprowadzeniu zmiennych w postaci chwilowych zmierzonych lub obliczonych wartości parametrów, wyznacza stopień zagrożenia w monitorowanym rejonie. Zbiór reguł tworzy bazy reguł. Bazy reguł budowane prawidłowo powinny zapewniać: spójność oraz kompletność, czyli muszą obejmować wnioski dla wszystkich występujących w problemie kombinacji wartości atrybutów sygnałów wejściowych.

### 3. Programy wspomagające wykrywanie zagrożenia

Opracowano szereg programów wspomagających wykrywanie zagrożenia w różnych sytuacjach opartych na modelach rozmytych. Programy spełniają funkcję wspomagania w dyspozytorskiej kontroli wentylacji, wczesnego wykrywania pożaru, atmosfery wybuchowej, monitorowaniu komfortu cieplnego załogi itp. [8, 12].

W programie wspomagającym wykrywanie pożarów endogenicznych w wyrobiskach kopalnianych funkcje przynależności modelu dobrano w oparciu o przepisowe wartości wskaźników pożarowych, niepewności pomiarowe analizatorów górniczych oraz sugestii dyspozytora. Monitorowanie stężenia tlenku węgla równocześnie z prędkością przepływającego powietrza pozwala obliczyć jego wydatek w kontrolowanym rejonie. Przy znajomości pola przekroju wyrobiska, można wyznaczyć ilość tlenku węgla. Funkcje przynależności zostały tak dobrane, aby ich stopnie rozgraniczenia pokrywały się z przepisowymi wartościami progowymi wskaźników pożarowych [3]. Na rys. 3 przedstawiono panel programu, gdzie zaprezentowano funkcje wejść i wyjścia opracowanego modelu oraz przykładowe jego działanie.



Rys. 3. Panel strojenia i wizualizacji modelu  
Fig. 3. Tuning and visualization panel

Baza wiedzy modelu, opracowana na podstawie przepisowych wskaźników służących do wykrywania pożarów endogenicznych [3] posiada zestaw reguł opisujących sposoby reagowania służb wentylacyjnych kopalni w prewencji pożarowej – tab.1

Tab. 1. Baza reguł systemu do wykrywania zagrożenia pożarowego endogenicznego

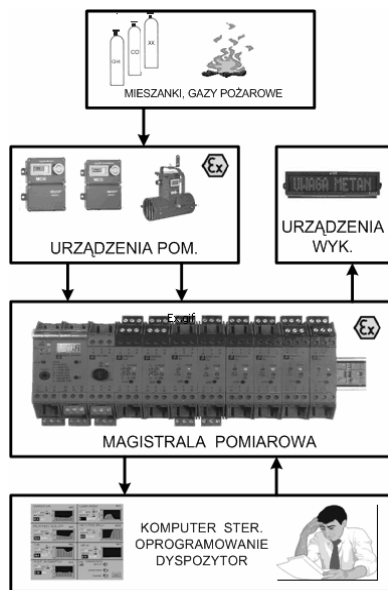
Tab. 1. Systems rule base for detect endogenic fire hazard

Lp.	„stężenie CO”	„ilość V <sub>co</sub> ”	„sposób postępowania”
1	„1CO”	„1V <sub>co</sub> ”	„brak zagrożenia”
2	„1CO”	„2V <sub>co</sub> ”	„prace profilaktyczne”
3	„1CO”	„3V <sub>co</sub> ”	„akcja ppoż”
4	„2CO”	„1V <sub>co</sub> ”	„wzmoczona obserwacja”
5	„2CO”	„2V <sub>co</sub> ”	„prace profilaktyczne”
6	„2CO”	„3V <sub>co</sub> ”	„akcja ppoż”
7	„3CO”	„1V <sub>co</sub> ”	„akcja ppoż”
8	„3CO”	„2V <sub>co</sub> ”	„akcja ppoż”
9	„3CO”	„3V <sub>co</sub> ”	„akcja ppoż”

Program w całości opracowany w środowisku programowym LabVIEW [13], umożliwia zmianę schematu wnioskowania rozmytego oraz obserwację tworzenia się wyniku (zmian sygnału wyjściowego, stanowiącego wynik obliczeń). Program umożliwia płynne śledzenie trendu zagrożenia czego nie umożliwiają istniejące podejścia.

#### 4. Eksperymentalne stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze pełni funkcję uniwersalnego systemu łączącego urządzenia pomiarowe z komputerem sterującym. Stanowisko jest wykorzystywane na potrzeby pomiarów składu gazów i parametrów fizycznych powietrza oraz tworzy miniaturowy, laboratoryjny system kontroli zagrożenia [14]. Centralnym elementem stanowiska jest magistralowy system barier iskrobezpiecznych firmy Pepperl+Fuchs [15]. System służy do połączenia zestawu iskrobezpiecznych urządzeń pomiarowych produkcji Centrum EMAG [16] z komputerem sterującym PC. Urządzenia pomiarowe w jakie wyposażono stanowisko pozwalają na pomiary: prędkości i kierunku przepływu powietrza, temperatury i wilgotności powietrza, zawartości tlenu, stężenia tlenu i dwutlenku węgla oraz metanu w powietrzu. Zakresy pomiarowe urządzeń oraz ich budowa są specjalnie przeznaczone do kontroli atmosfery w której przebywają ludzie. Jako uzupełniające urządzenia systemu zainstalowano: świetlny transparent alfanumeryczny oraz wentylator wymuszający przepływ powietrza. Stanowisko zostało wyposażone także w instalację gazową umożliwiającą jednoczesne podawanie mieszanek gazowych oraz gazów pożarowych do kilku urządzeń pomiarowych. Stanowisko jest także wykorzystywane do badania właściwości metrologicznych czujników gazów stosowanych w przemyśle na podstawie których są podejmowane decyzje dyspozytorskie. System używa się także do sprawdzania i kalibracji budowanych nowych urządzeń gazometrycznych. Na rys.4 przedstawiono schemat blokowy systemu pomiarowego.



Rys. 4. Schemat blokowy systemu pomiarowego  
Fig. 4. Block diagram of measuring system

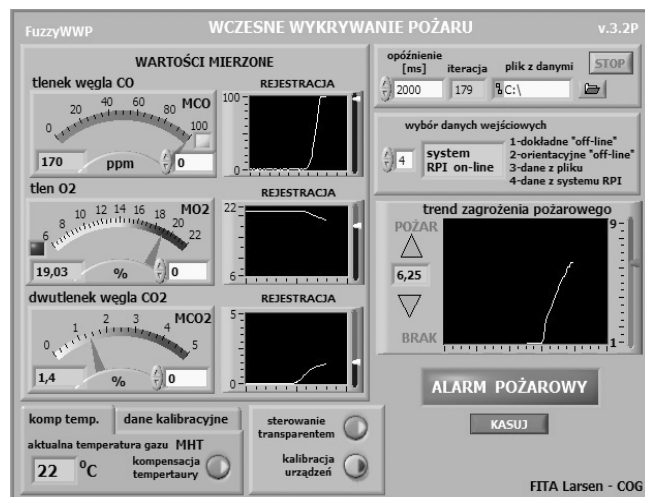
Jednym z programów, który zweryfikowano na stanowisku laboratoryjnym z wykorzystaniem górniczych urządzeń pomiarowych oraz komory do generowania gazów pożarowych [14] jest program do wczesnego, bardziej niezawodnego ostrzegania o zagrożeniu pożarowym w czasie rzeczywistym. Program został opracowany na podstawie wiedzy o składzie gazu powstającego podczas pożaru. Zmienne wejściowe jakimi są wartości stężeń trzech monitorowanych parametrów powietrza są oszacowane za pomocą funkcji przynależności oraz połączone w zależności relacyjne zdefiniowane w bazie reguł - tab.2. Przy budowie bazy reguł

szczególną uwagę położono na odporność na uszkodzenia lub złe wskazania urządzeń pomiarowych (wskazania z przynajmniej dwóch urządzeń ostrzegają o pożarze, podczas gdy jedno jest uszkodzone).

Tab. 2. Baza reguł systemu do wykrywania zagrożenia pożarowego  
Tab. 2. System rule base for detect fire hazard

Lp.	„stężenie CO”	„stężenie O <sub>2</sub> ”	„stężenie CO <sub>2</sub> ”	„stopień zagrożenia”
1	„wzrost”	„spadek”	„wzrost”	„zagrożenie pożarowe”
2	„wzrost”	„wzrost”	„wzrost”	„ostrzeżenie”
3	„wzrost”	„wzrost”	„spadek”	„brak zagrożenia”
4	„wzrost”	„spadek”	„spadek”	„ostrzeżenie”
5	„spadek”	„spadek”	„wzrost”	„ostrzeżenie”
6	„spadek”	„wzrost”	„wzrost”	„brak zagrożenia”
7	„spadek”	„wzrost”	„spadek”	„brak zagrożenia”
8	„spadek”	„spadek”	„spadek”	„brak zagrożenia”

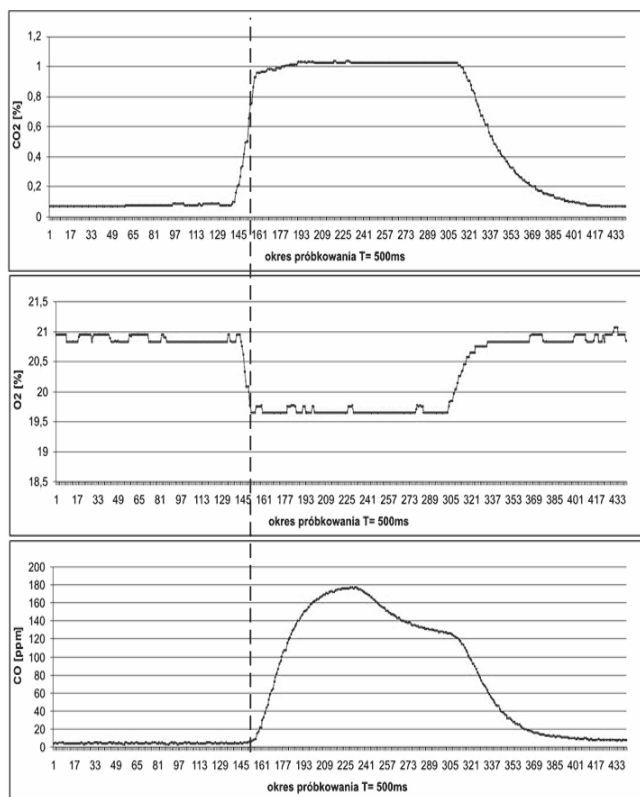
Na rys. 5 przedstawiono panel operatora programu.



Rys. 5. Panel operatora systemu wspomagającego ocenę zagrożenia  
Fig. 5. Operators panel of support system of hazard estimation

Po lewej stronie przedstawiane są aktualne wartości mierzonych parametrów powietrza oraz ich trendy. W prawym oknie kreślony jest trend zagrożenia, jako wynik z działania modelu rozmytego oraz prezentowana jest wartość stopnia zagrożenia. Pod wykresem trendu prezentowany jest wynik klasyfikacji. Wykrywanie pożaru polega na detekcji przyrostu wyjścia modelu w oknie czasowym. Wprowadzono kompensację temperatury na gazometryczne przetworniki pomiarowe w celu dokładniejszego oznaczenia wartości mierzonych. Program pozwala także na sterowanie transparentem ostrzegawczym stanowiska badawczego w celu symulacji alarmowania. W trybie „kalibracja urządzeń” alarmowanie jest odłączone. Na rys. 6 przedstawiono przebiegi uzyskane w czasie eksperymentalnych pożarów symulowanych na stanowisku.

Na rys. 6 można zauważyć znaczny przyrost CO, CO<sub>2</sub> i spadek zawartości tlenu w przepływającym monitorowanym powietrzu, co potwierdza że zaistniała sytuacja to symptom pożaru. Linia przerywana zaznaczono wykryte zagrożenie i uznano taki wynik za zadowalający. Z uwagi na fakt, iż w istniejących rozwiązaniach brak jest analizy CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub>, ustawiany jest „ostry” próg alarmowy CO oraz brak śledzenia trendu zagrożenia można uznać prezentowane w pracy rozwiązanie za godne uwagi.



Rys. 6. Równoległe zarejestrowane przebiegi pożaru  
Fig. 6. Simultaneously recorded charts of fire

## 5. Podsumowanie

Badania prezentują całkiem nowe rozwiązania, polegające na analizie jakościowej danych pomiarowych przy monitorowaniu parametrów powietrza kopalnianego. Ważnym elementem w realizacji zamierzonego celu badawczego było uruchomienie kompletnego stanowiska pomiarowego, które zawiera nowoczesny system barier iskrobezpiecznych oraz komplet urządzeń pomiarowych nowej generacji do monitorowania atmosfery. Stanowisko umożliwia symulację zagrożenia pożarowego bądź toksycznego jakie może się pojawić w warunkach rzeczywistych. Badania, jakie przeprowadzono na stanowisku laboratoryjnym oraz symulacje komputerowe z wykorzystaniem danych pomiarowych z kopalń, w znacznej mierze pozwalają na uwiarygodnienie wyników pracy. Podsumowując można wyróżnić następujące wnioski:

1. Modele rozmyte pozwalają na kontrolę wielu skorelowanych parametrów powietrza jednocześnie a co za tym idzie na bardziej niezawodną i szybszą kontrolę zagrożenia w porównaniu z istniejącym podejściem opartym na progach alarmowych.
2. Struktura modeli rozmytych pozwala na elastyczne dopasowanie modułu wnioskującego do zmieniającej się sytuacji zagrożeń.
3. Wprowadzoną do modeli rozmytych skalę zagrożenia można znormalizować. Stopień każdego zagrożenia można wtedy porównać, co jest ciekawym rozwiązaniem przy kontroli wielu różnych zagrożeń, np. skojarzonych.
4. Wnioskowanie z użyciem logiki rozmytej pozwala precyzyjnie modelować sposób wnioskowania człowieka, który ze względu na swoje potencjalne możliwości jest wzorem do naśladowania.

5. Modele rozmyte pozwalają na dobrą weryfikację logiczną działania (uzasadnienie wyniku), natomiast przydatność modelu do wspomaganie nadzoru dyspozytorskiego można zweryfikować jedynie empirycznie.

6. Być może wprowadzenie rozmytego systemu wspomagającego wnioskowanie, opartego na opisowym sposobie działania do programów wspomaganie dyspozytora, pozwoli na formalizację strategii postępowania oraz na zebranie i posługiwanie się wiedzą w sposób automatyczny, wspomagając dyspozytora przy szacowaniu zagrożenia oraz podejmowaniu szybkich, pewniejszych decyzji.

## 6. Literatura

- [1] Wasilewski S.: Udział Centrum EMAG w rozwoju gazometrii automatycznej. Miesięcznik Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa nr 5 (412) 2005r.
- [2] Trenczek S.: Automatykzna aerometria górnicza dla kontroli zagrożeń aerologicznych. Miesięcznik Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa nr 3/410, 2005 r.
- [3] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych. Dz.U. załącznik do nru 139, poz.1169 z dnia 2 września 2002r.
- [4] Czogała E., Pedrycz W.: An approach to the control problem of the process of changes of methane concentration by using a fuzzy controller, *Archiwum Górnictwa*, t.20, z.3, Kraków 1981, 539-549
- [5] Mamdani E.H.: Applications of fuzzy algorithms for simple dynamic plant, *Proc. IEEE*, vol.121, No. 12, 1974, 1585-1588.
- [6] Zadeh L.A. Outline of a New approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Trans. Systems Man and Cybernetics SMC* 1973, vol.3 p.p. 28-44
- [7] Zadeh L.A.: Fuzzy sets. *Information and Control* 1965, vol.8, pp. 338-353.
- [8] Grychowski T.: Zastosowanie logiki rozmytej do wspomaganie dyspozytora przy monitorowaniu powietrza kopalnianego, *Miesięcznik Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa* nr 11 (418), 2005r. str. 12-18.
- [9] Buckley J., Czogała E.: Fuzzy models, fuzzy controllers, and neural nets, *Archiwum Informatyki Teoretycznej i Stosowanej*, 5, nr 1-2, 1993.
- [10] Czogała E., Łęski J.: *Fuzzy and Neuro-Fuzzy Intelligent Systems*, Springer-Verlag Co Heidelberg, NY 2000r.
- [11] Zadeh L.A. From computing with numbers to computing with words – form manipulation of measurements to manipulation of perceptions. *IEEE Trans. on Circuits and Systems – I Fundamental Theory and Applications*, vol. 45, no.1 1999 pp.105-119
- [12] Grychowski T.: Wspomaganie oceny komfortu cieplnego z wykorzystaniem wnioskowania rozmytego. XXXVIII Międzyuczelniana Konferencja Metrologów, 4-6.09.2006 Warszawa, PAK 9bis/2006r., str. 38-40.
- [13] LabVIEW, strona domowa: <http://www.ni.com/labview>.
- [14] Grychowski T.: Eksperymentalny system z urządzeniami pomiarowymi do kontroli parametrów atmosfery kopalnianej. *Miesięcznik Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa* 2006. nr 4 (423), str. 32 – 38.
- [15] Materiały firmowe Pepper+Fuchs, <http://www.pepperlfuchs.com>.
- [16] Dołowe urządzenia pomiarowe, Centrum Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa EMAG Katowice, strona domowa -<http://www.emag.katowice.pl>.