

Wspomaganie monitorowania zagrożenia pożarowego endogenicznego z wykorzystaniem modeli rozmytych

W artykule przedstawiono zastosowanie wnioskowania rozmytego do wspomagania wykrywania zagrożenia pożarowego endogenicznego. Zbudowano program FuzzyPendo do szacowania stopnia zagrożenia w przepływowym prądzie powietrza na podstawie przepisowych wskaźników pożarowych oraz danych pomiarowych. Na podstawie danych ujętych w przepisach zbudowano bazę wiedzy algorytmu. Na podstawie informacji o pomiarach zbudowano bazę danych funkcji przynależności. Zbudowano model, który odwzorowuje pomiary stężenia tlenu oraz ilości tlenu węgla w wartości stopnia zagrożenia, co poprawia niezawodność oceny zagrożenia. Przetestowano schematy wnioskowania rozmytego działające w sposób ciągły na danych pomiarowych.

1. WPROWADZENIE

Pożary endogeniczne powstają w kopalniach węgla kamiennego wskutek egzotermicznych przemian fizykochemicznych substancji węglowej pozostającej w kontakcie z powietrzem kopalnianym. Pożary te lokalizują się zwykle w zrobach ścian zawałowych, spękanej caliznie węglowej, nagromadzeniach węgla pochodzącego z obwałów wyrobisk górniczych, a także odspojonym, drobnym węglu znajdującym się za lub nad obudową wyrobisk chodnikowych. Pożary endogeniczne są uciążliwe, a wskutek niedostępności ognisk pożarowych zazwyczaj trudne do ugaszenia. Z powyższych względów w głębinowych kopalniach węgla jest prowadzona systematyczna ocena zagrożenia pożarami endogenicznymi [1]. Okazuje się jednak, że dotychczas stosowane metody nie są w pełni skuteczne, bowiem pomimo ich stosowania nie zawsze udaje się wcześniej wykryć formujące się ognisko pożarowe i dochodzi do powstania pożaru endogenicznego. W wykrywaniu pożarów może pomóc automatyczna aerometria górnicza umożliwiająca ciągłą kontrolę zagrożeń aerologicznych, co pozwala określać aktualny ich poziom [2,3]. Prezentowany w artykule program FuzzyPendo może służyć do wspomagania podejmowania decyzji o zatrzyma-

niu eksploatacji i odizolowaniu rejonu zagrożonego pożarem ściany. W programie wykorzystano metodę wczesnego wykrywania pożarów endogenicznych opartą o wskaźniki przyrostu i ilości tlenu węgla, gdyż pewną oznaką zapoczątkowania pożaru endogenicznego jest pojawienie się w powietrzu kopalnianym znikomych nawet stężeń CO [4].

2. ZASADY WCZESNEGO WYKRYWANIA POŻARÓW ENDOGENICZNYCH W PRZEPLÝWOWYM PRÁDZIE POWIETRZA

Zasady wczesnego wykrywania pożarów endogenicznych bazują na śledzeniu zmian składu powietrza pobieranego okresowo w stacjach pomiarowych wczesnego wykrywania pożarów i analizowanego chromatograficznie, w celu określenia stężeń: tlenu, dwutlenku węgla, tlenu węgla, metanu i azotu. Zgodnie z zaleceniami przepisów [5] pobierane są próby w prądach wlotowych i wylotowych monitorowanego rejonu, a na podstawie wyników analiz oblicza się:

- wskaźnik przyrostu tlenu węgla dla stacji wylotowych w obiegowym prądzie powietrza:

$$\Delta CO = CO - CO^x, \quad (1)$$

Tabela 1

Sposoby postępowania na podstawie wskaźników: V_{CO} , ΔCO

Wskaźnik ilości tlenu węgla V_{CO} [dm^3/min] i przyrostu tlenu węgla ΔCO [%]	Sposób postępowania.
$0 < V'_{CO} \leq 10$ przy $0.0010 < \Delta CO \leq 0.0026$	Wzmoczona obserwacja w kontrolowanym rejonie, zwiększona częstotliwość pobierania prób powietrza kopalnianego.
$10 < V'_{CO} \leq 20$ przy $\Delta CO \leq 0.0026$	Należy przystąpić do prac profilaktycznych przy zachowaniu normalnego ruchu w zagrożonym rejonie.
$\Delta CO > 0.0026$ (26ppm)	Akcja przeciwpożarowa.

będący różnicą procentowych zawartości tlenu węgla na stacjach pomiarowych wylotowej (CO) i wlotowej (CO^x), przy czym $CO^x=0$, jeżeli na tej stacji nie są pobierane próby;

- **wskaźnik ilości tlenu węgla** dla stacji wylotowych w obiegu prądu powietrza:

$$V_{CO} = 10V \cdot q'_{CO} \quad (2)$$

$$V_{CO} = \frac{V \cdot q''_{CO}}{1000}$$

gdzie:

V_{CO} – wskaźnik ilości tlenu węgla w dm^3/min ,

V – ilość powietrza na stacji pomiarowej w m^3/min ,

q'_{CO} – stężenie tlenu węgla na stacji pomiarowej w % V/V ,

q''_{CO} – stężenie tlenu węgla w ppm.

W tabeli 1 przedstawiono sposoby postępowania w zależności od wyznaczonych wskaźników V_{CO} oraz ΔCO [5].

3. AUTOMATYCZNA KONTROLA PARAMETRÓW ATMOSFERY

Automatyczna kontrola atmosfery kopalnianej z punktu widzenia występowania CO jest prowadzona także przy użyciu systemów dyspozytorskiego nadzoru. Rozwój systemowego monitorowania zagrożeń, a w szczególności automatycznej aerometrii górniczej [2,3], przyczynił się do tego, że w aktualnie obowiązujących przepisach [5] uwzględniono i dopuszczono do wczesnego wykrywania pożarów en-

dogenicznych stosowanie także systemów CO-metrii automatycznej. CO-mierze spełniają funkcje rejestrujące i sygnalizacyjne a anemometria (pomiar prędkości przepływu powietrza) spełnia funkcje rejestrujące, sygnalizacyjne oraz w niektórych przypadkach wyłączające urządzenia elektryczne. W ostatnich latach coraz częściej stosuje się systemy automatycznej kontroli atmosfery dla tzw. doraźnej profilaktyki pożarowej, której celem jest pomiar wybranych parametrów powietrza umożliwiających wczesne wykrycie i sygnalizację objawów wystąpienia zagrożenia. Dopuszcza się automatyczną kontrolę zagrożenia pożarowego gdy stężenie CO nie przekracza 10 ppm, przez co unika się dużej zwłoki czasowej, która występuje podczas pobierania okresowych prób powietrza do analizy. Zwłoka czasowa pomiędzy pobraniem próby a otrzymaniem wyników analizy i dokonaniem odpowiednich obliczeń jest szacowana na około 8 godzin [2,3]. Automatyczna CO-metria jest szczególnie skuteczna np. w dni wolne od pracy oraz jest skutecznym narzędziem do poprawy bezpieczeństwa załogi i ruchu zakładu górniczego [2,3].

Monitorowanie stężenia CO równocześnie z prędkością przepływającego powietrza pozwala obliczyć wydatek tlenu węgla w kontrolowanym rejonie [6]. Przy znajomości pola przekroju wyrobiska, ilość tlenu węgla można wyznaczyć z następującego równania:

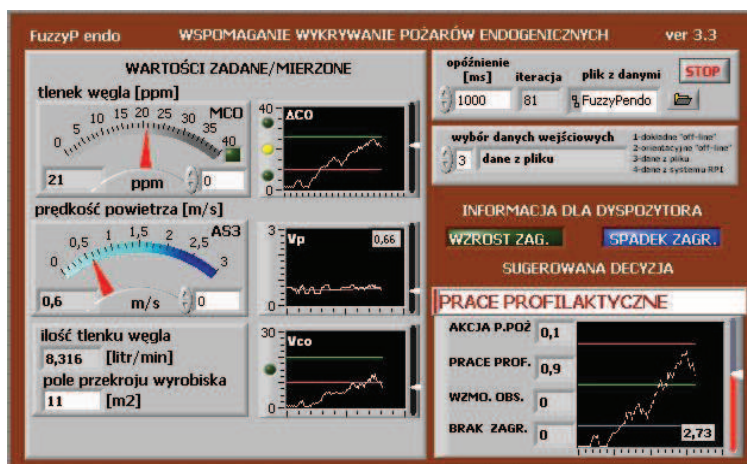
$$V_{CO}(t) = 0,06 \cdot A \cdot q''_{CO}(t) \cdot v(t) \quad (3)$$

gdzie:

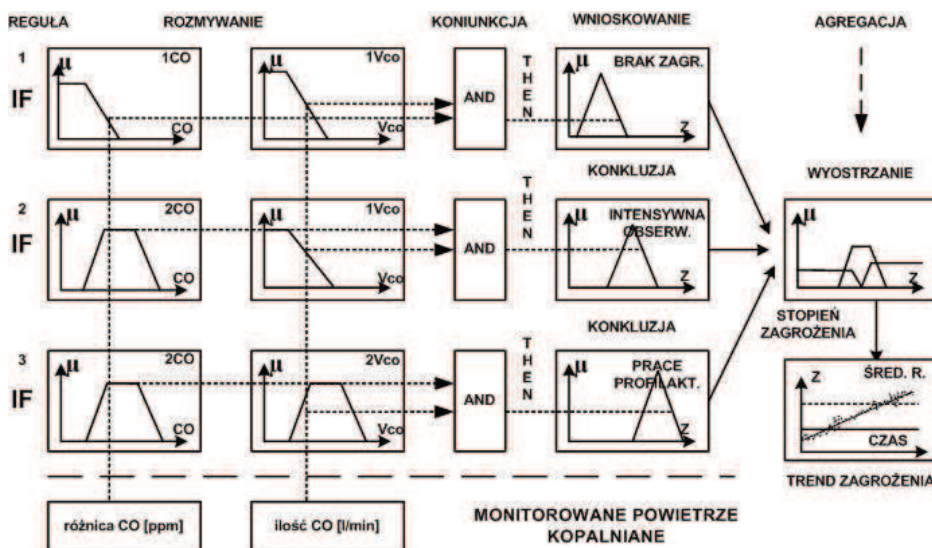
$q''_{CO}(t)$ [ppm] – rejestrowany w czasie przebieg stężenia tlenu węgla,

A [m^2] – pole przekroju poprzecznego wyrobiska,
 $v(t)$ [m/s] – prędkość powietrza rejestrowana w tym samym czasie w wyrobisku,

$V_{CO}(t)$ [l/min] – wyznaczana w czasie ilość tlenu węgla.



Rys.1. Panel główny programu FuzzyPendo



Rys.2. Przepływ sygnałów w modelu rozmytym

4. BUDOWA PROGRAMU FUZZYPENDO

Na rys. 1 przedstawiono panel operatora programu FuzzyPendo do wczesnego wykrywania pożarów endogenicznych w przepływowym prądzie powietrza. Program pozwala na bieżącą analizę danych z urządzeń pomiarowych lub z danych zapisanych w pliku. Wynikiem działania programu jest sugerowana decyzja (przepisowy sposób postępowania) wraz ze współczynnikiem pewności, stopniem zagrożenia i informacją o wzroście lub spadku trendu zagrożenia.

Parametry takie jak pole przekroju wyrobiska, opóźnienie działania czy wybór danych wejściowych należy ustawić przed uruchomieniem programu. W oknach po lewej stronie obserwujemy trendy mierzonych parametrów atmosfery, natomiast po prawej stronie generowany jest wynik działania programu. Program został napisany w środowisku LabVIEW firmy National Instruments [7].

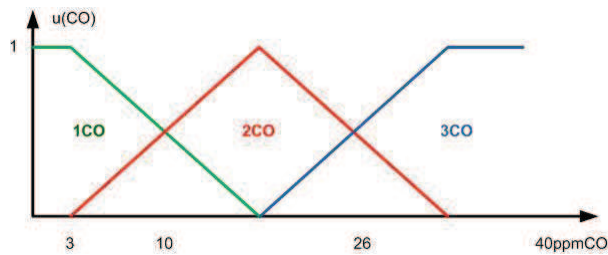
4.1. Algorytm programu FuzzyPendo

Algorytm programu FuzzyPendo oparto na systemie wnioskowania rozmytego, w którym przepływ sygnałów pokazano na rys. 2.

W programie FuzzyPendo zaimplementowano różne schematy wnioskowania. Przedziały zmienności mierzonych parametrów zostały opisane jakościowo za pomocą trapezowych oraz trójkątnych funkcji przynależności. Funkcje przynależności zostały tak dobrane, aby ich stopnie rozgraniczenia pokrywały się z przepisowymi progami wskaźników pożarowych [5,8]. Na rys. 3 pokazano podział zmiennej tlenek węgla na zbiory rozmyte określające stopień możliwości mierzonej wartości stężenia gazu należącego do odpowiedniego przedziału określonego przepisami.

Funkcje przynależności zostały dobrane doświadczalnie przy następujących założeniach:

- progi alarmowe i ostrzegawcze narzucone przepisami,



Rys. 3. Funkcje przynależności zmiennej tlenku węgla

- znajomość niepewności urządzeń pomiarowych do kontroli atmosfery kopalnianej,
- zwiększenie czułości modelu (reakcja modelu na małe przyrosty wartości wejściowych).

Podobnie opisano zmienną „ilość tlenku węgla”. Zmienną wyjściową jaką jest „stopień zagrożenia” podzielno na 4 zachodzące na siebie funkcje przynależności: „brak zagrożenia”, „wzmózniona obserwacja”, „prace profilaktyczne” oraz „akcja ppoż”.

4.2. Baza reguł programu FuzzyPendo

W tabeli 2 przedstawiono bazę reguł modelu FuzzyPendo, opracowaną na podstawie przepisowych wskaźników służących do wykrywania pożarów endogenicznych [5].

4.3. Weryfikacja działania programu FuzzyPendo

W celu weryfikacji działania programu wspomaganego wykrywania zagrożenia FuzzyPendo na wejście progra-

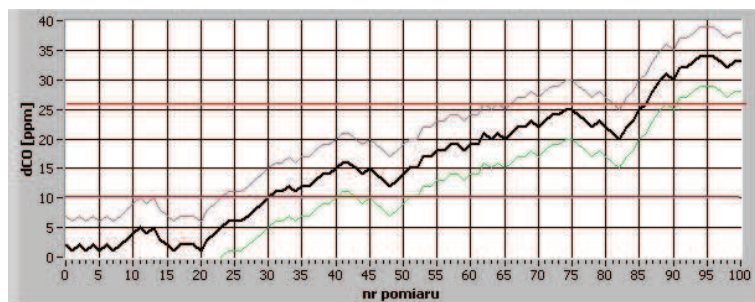
Tabela 2

Baza reguł modelu FuzzyPendo

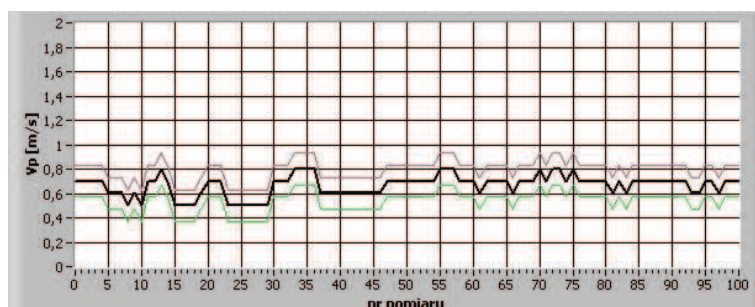
Lp.	„stężenie CO”	„ilość V _{CO} ”	„sposób postępowania”
1	„1 CO”	„1 V _{CO} ”	„brak zagrożenia”
2	„1 CO”	„2 V _{CO} ”	„prace profilaktyczne”
3	„1 CO”	„3 V _{CO} ”	„akcja p. pożarowa”
4	„2 CO”	„1 V _{CO} ”	„wzmózniona obserwacja”
5	„2 CO”	„2 V _{CO} ”	„prace profilaktyczne”
6	„2 CO”	„3 V _{CO} ”	„akcja p. pożarowa”
7	„3 CO”	„1 V _{CO} ”	„akcja p. pożarowa”
8	„3 CO”	„2 V _{CO} ”	„akcja p. pożarowa”
9	„3 CO”	„3 V _{CO} ”	„akcja p. pożarowa”

-mu podano zarejestrowane w systemie dyspozytorskiego nadzoru przebiegi tlenku węgla oraz prędkości przepływu powietrza w tym samym czasie i miejscu w wyrobisku (rys. 4, rys. 5). Na rys. 4 oraz rys. 6 zaznaczono poziomymi liniami czerwonymi przepisowe wartości progowe obligujące służby wentylacyjne do działania. Zaznaczono także niepewności pomiarowe (błędy systematyczne). Na rys. 7, 8, 9, 10 pokazano wyniki działania modeli rozmytych. Prędkość powietrza w wyrobisku wynosiła „około 0,7 m/s”.

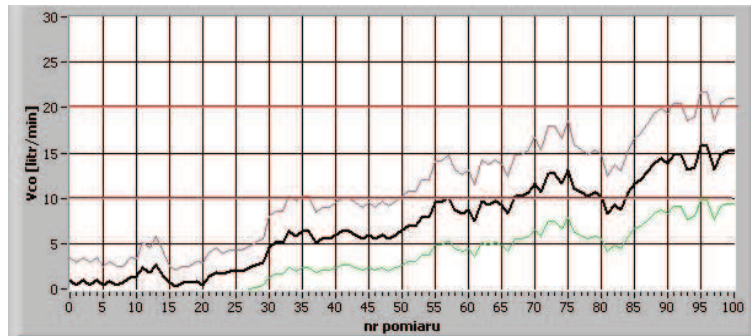
Przetestowano różne schematy wnioskowania oparte na wybranych T i S-normach [8,9]. Modele opisa no wg następującego schematu wnioskowania [8]: np. MIN-koniunkcja, MIN-inferencja, MAX-agregacja, COG-metoda wyostrzenia.



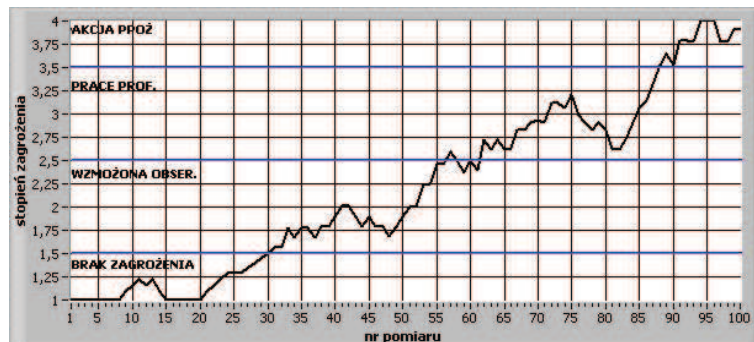
Rys. 4. Przebieg wzrostu stężenia tlenku węgla w wyrobisku



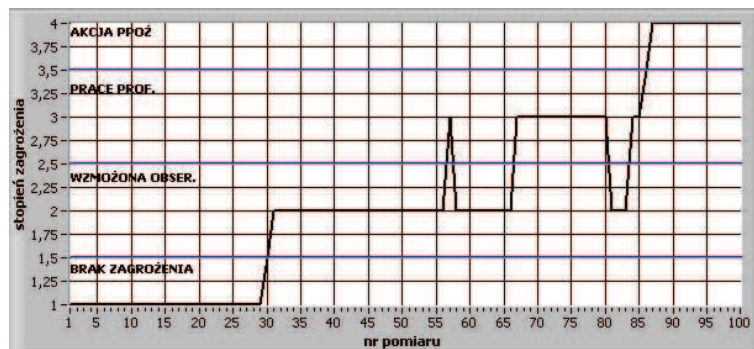
Rys. 5. Przebieg prędkości przepływu powietrza w wyrobisku



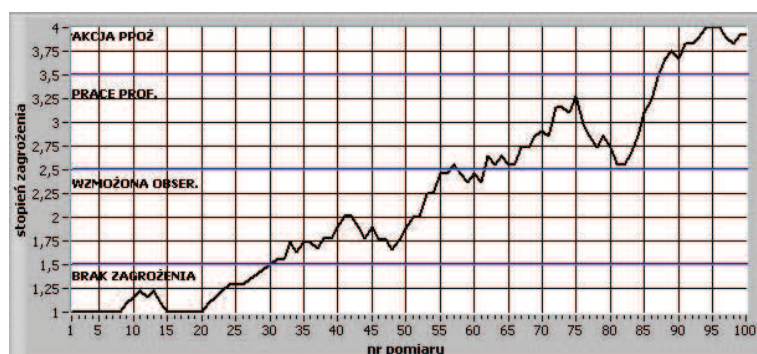
Rys. 6. Wyznaczony przebieg ilości tlenu węgla w wyrobisku



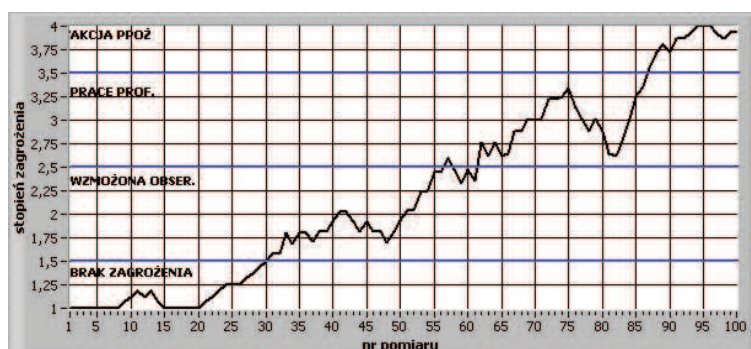
Rys. 7. Wynik działania FuzzyPendo. Schemat: MIN-MIN-MAX-COG



Rys. 8. Wynik działania FuzzyPendo. Schemat: MIN-MIN-MAX-MOM



Rys. 9. Wynik działania FuzzyPendo. Schemat: PROD-MIN-MAX-COG



Rys.10. Wynik działania FuzzyPendo. Schemat: PROD-PROD-SUM-COG

5. PODSUMOWANIE

W celu poprawy niezawodności wykrywania zagrożenia pożarowego należy kontrolować wiele parametrów atmosfery równocześnie. Przy kontroli wieloskładnikowej mieszaniny jaką jest atmosfera kopalniana, człowiek nie jest w stanie odpowiednio wcześniej wykryć zagrożenia. Opracowany model to statyczne, nieliniowe odwzorowanie między sygnałami wejściowymi i wyjściowymi. Model umożliwia automatyczne szacowanie stopnia oraz szybsze rozpoznanie zagrożenia, na podstawie zaimplementowanej wiedzy. Podwyższenie niezawodności w porównaniu z podejściem konwencjonalnym polega na kontroli tylko jednego parametru – stopnia zagrożenia.

Jak wynika z symulacji model z metodą wyostrzenia COG umożliwia płynne śledzenie trendu zagrożenia, natomiast model z wyostrzeniem typu MOM pozwala uzyskać tylko „ostre” wartości alarmowe. Przy wykorzystaniu T-normy PROD do agregacji przesłanek, model reaguje na zmiany wszystkich wejść. Użycie operatora SUM (suma nieograniczona) – uwzględnia w procesie obliczania funkcji wynikowej wszystkie funkcje składowe z poszczególnych reguł. Wnioskowanie takie jest bardziej „demokratyczne”. Jak widać model dokładnie w tych samych chwilach czasu reaguje na zagrożenie określone przepisami. Śledząc trend zagrożenia (wyjście modelu rozmytego) można przewidywać kolejne stany zagrożenia oraz podejmować wcześniej odpowiednie decyzje [5]. Z symulacji wynika, że wszystkie testowane modele z metodą COG dają podobne ogólne wyniki – trudno ocenić który jest lepszy. Największe znaczenie ma tutaj prawidłowo zbudowana baza wiedzy a nie mechanizm wnioskowania.

Zastosowanie teorii zbiorów rozmytych, może być użytecznym uzupełnieniem w stosunku do metod klasycznych w systemach dyspozytorskiego nadzoru. Prezentowany program może się stać ciekawym na-

rzędziem dla służb kopalnianych przy wspomaganie wykrywania pożarów endogenicznych, przy prowadzeniu komputerowych ksiągczesnego wykrywania pożarów [10], bądź bieżącej analizy danych z systemów pomiarowych. Można by zminimalizować pobieranie prób powietrza.

Przedstawiony w artykule nowy sposób wspomaganie oceny zagrożenia pożarem stanowi wstępną koncepcję ujęcia tego zagadnienia i dlatego wymaga on dalszych badań oraz weryfikacji przemysłowej, która mogłaby potwierdzić jego ewentualną praktyczną przydatność. Trzeba wykonać liczne testy praktyczne, aby udowodnić prawidłowość działania systemu we wszystkich możliwych warunkach.

Literatura

1. *Strumiński A., Strumińska Madeja B.*: Sposoby oceny procesu powstania pożarów endogenicznych w głębinowych kopalniach węgla, art. nr 9 str. 83-90, I Szkoła Aerologii Górniczej 1999 r.
2. *Trenczek S.*: Znaczenie automatycznej aerometrii górniczej w wykrywaniu zagrożenia pożarowego. *Automatyzacja i Mechanizacja Górnictwa* 2006, nr 5.
3. *Trenczek S.*: Automatyczna aerometria górnicza dla kontroli zagrożeń aerologicznych. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* 2005, nr 3.
4. *Frączek R.*: Aerologia górnicza. Przykłady i zadania. Wydawnictwo Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
5. 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. Załącznik nr 5. Zwalczanie zagrożeń Punkt 6. Wczesne wykrywanie pożarów endogenicznych.
6. *Wasilewski S., Szywacz J.*: Kontrola prowadzenia robót strzałowych przy pomocy systemów CO-metrii automatycznej. 2 Szkoła Aerologii Górniczej. Sekcja Aerologii Górniczej. Komitet Górnictwa PAN Zakopane 2002 r., art. nr 30, str. 369-380.
7. LabVIEW – środowisko programowe, strona domowa: <http://www.ni.com/labview/>.
8. *Piegat A.*: Modelowanie i sterowanie rozmyte. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT. Warszawa 1999 r.
9. *Grychowski T.*: Zastosowanie logiki rozmytej do wspomaganie dyspozytora przy monitorowaniu powietrza kopalnianego. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* 2005, nr 11 str. 12-18.
10. *Szywacz J.*: Obliczenia inżynierskie w wentylacji kopalnianej. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* 2003, nr 3-4 (387) str. 30-39.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Jerzy Frączek