

Tomasz GRYCHOWSKI

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT AUTOMATYKI, ZPSS, ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice

Wykrywanie zagrożenia pożarowego egzogenicznego z wykorzystaniem modeli rozmytych

Dr inż. Tomasz GRYCHOWSKI

Ukończył studia na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej na kierunku Automatyka i Robotyka o specjalności Systemy Pomiarowe w 2001 r. W 2007 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z pomiarami, logiką rozmytą, systemami wspomaganymi decyzji, iskrobezpieczeństwem, niezawodnością oraz gazometrią. Prowadzi prace badawcze związane z wykorzystaniem sztucznej inteligencji do wspomaganego podejmowania decyzji w systemach pomiarowych.



e-mail: tomasz.grychowski@polsl.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań związane z wykorzystaniem metod wnioskowania rozmytego w systemie pomiarowym monitorowania atmosfery do wspomaganego wykrywania zagrożenia pożarowego egzogenicznego. Wieloparametrowe modele zbudowano na bazie wiedzy dyspozytora, właściwości fizycznych mieszanin gazowych oraz czujników używanych od wykrywania zagrożeń górniczych. Zbadano wpływ konstrukcji modeli na wynik wnioskowania. Badania przeprowadzono w celu bardziej niezawodnej detekcji pożarów w kopalniach węgla kamiennego, gdyż istnieje problem z dokładnym pomiarem parametrów powietrza w podziemiach kopalni. Zastosowane modele wykazywały odporność na zakłócenia a pomiar wielu parametrów jednocześnie pozwolił zminimalizować fałszywe alarmy.

Słowa kluczowe: Wykrywanie zagrożenia, logika rozmyta, systemy ekspertowe, pomiary składu gazu, niezawodność.

Egzogenic fire hazard detection based on fuzzy models**Abstract**

New approach to the problem of fire hazard assessment in underground coal mine's air monitoring is presented in the article. The environment is complex and parameters are difficult to measure accurately, so fuzzy theory provides a powerful technical support for safety monitoring system. This article presents utilization of fuzzy logic and its inference mechanisms to improve reliability in a decision making process and fire hazard identification. These proposed new solutions are based on quality analyses of measured data, knowledge of the dispatcher, as well as subjective interpretation of measurements for egzogenic fire hazard assessment. Fuzzy models allow the analysis many correlated parameters of the mine's air and for faster and reliable control of the hazard levels compared to the existing threshold approach. Fuzzy systems are a good method for the assessment of imprecise data or for the processing of linguistic variables because it is possible to reproduce the human way of decision making. The measurement of many parameters simultaneously by hazard assessment permitted to minimize a false alarms. The applied models proved they are unaffected by a measurement disturbance. Influence of model construction for inference result was examined. The paper contains introduction about egzogenic fire and its detection methods, project of inference model for fire assessment and results of software working. Simulation results show that the method provides a new way of thinking for coal mine safety monitoring, and it is effective very much.

Keywords: Hazard detection, fuzzy logic, expert systems, gas measurements, reliability.

1. Wprowadzenie

Pożary w podziemiach kopalni są zdarzeniami szczególnie niebezpiecznymi i trudnymi do opanowania. Pożary powstałe z przyczyn zewnętrznych, zwane egzogenicznymi, są nieprzewidywalne, często powstałe w sposób nagły i w miejscach niemożliwych do określenia z góry, co stanowi bardzo duże zagrożenie dla załogi

i dla kopalni. Do najczęstszych przyczyn tego rodzaju pożarów należy wadliwe działanie urządzeń mechanicznych i energetycznych, przeciążenie urządzeń elektrycznych. Inną przyczyną pożarów egzogenicznych są zapalenia i wybuchy metanu oraz pyłu węglowego powodujące niejednokrotnie pożary o bardzo szerokim zasięgu i trudne do ugaszenia ze względu na zniszczenie i zagazowanie wyrobisk. Pożary egzogeniczne powstają zazwyczaj w miejscach łatwo dostępnych i uczęszczanych. Należą do nich zarówno przodki górnicze, jak również wyrobiska pozaprodokowe, w tym głównie chodniki, szyby i szybiki oraz wyrobiska komorowe przeznaczone dla warsztatów naprawczych, zajezdni lokomotyw, składowania materiałów, a także dla zainstalowania w nich rozdzielni transformatorów oraz innych maszyn i urządzeń energomechanicznych.

W przypadku pożaru egzogenicznego okres przygotowawczy oraz okres zagrzewania się materiału palnego są zazwyczaj bardzo krótkie i szybko dochodzi do zapłonu materiału palnego i rozwiniętego pożaru. Wczesne wykrywanie tworzącego się ogniska pożaru polega na szybkim wykryciu i zasygnalizowaniu pojawienia się produktów palenia, zwłaszcza CO₂ i CO. Skomplikowana topografia wyrobisk, wymuszona wentylacja, zakłócenia pomiarów powodują trudności w pomiarach składu gazów pożarowych. Obecnie do wczesnego wykrywania powstających ognisk pożarów egzogenicznych stosowane są czujniki sygnalizujące pojawienie się w powietrzu kopalnianym śladowych ilości tlenu węgla (około 15-26 ppm). W celu podniesienia niezawodności rozszerzono ten zakres o czujniki dwutlenku węgla oraz tlenu zlokalizowane w jednym punkcie w pobliżu wylotu „zużytego” powietrza z monitorowanego rejonu.

2. Eksperyment pomiarowy

Już w początkowej fazie pożar wprowadza do atmosfery kopalnianej nowe składniki gazowe, będące produktami ekstrakcji gazów z paliwa znajdującego się w podwyższonej temperaturze. Ich obecność umożliwia rozpoznanie fazy jego rozwoju i ocenę stanu zagrożenia pożarowego.

Na stanowisku badawczym, po wykonaniu kalibracji urządzeń pomiarowych, analizie poddano czyste powietrze a następnie zainicjowano pożar [1]. Do monitorowania wybrano składniki powietrza, które są charakterystyczne dla tego typu procesu. Składniki te powstają lub zanikają w wyniku chemicznych reakcji spalania [2]. Teoretyczny normalny stan atmosfery to: O₂=20,9%, CO=2 ppm, CO₂=300 ppm. Podczas pożaru wartości te ulegają zmianie. Zarejestrowane z okresem próbkowania równym 100ms przebiegi przedstawiono na rysunku 1. Czas trwania eksperymentu to około 2,5 min. Przebiegi mają charakter bardzo zbliżony do rejestrowanych w warunkach przemysłowych w początkowych i rozwiniętych fazach pożarów egzogenicznych.

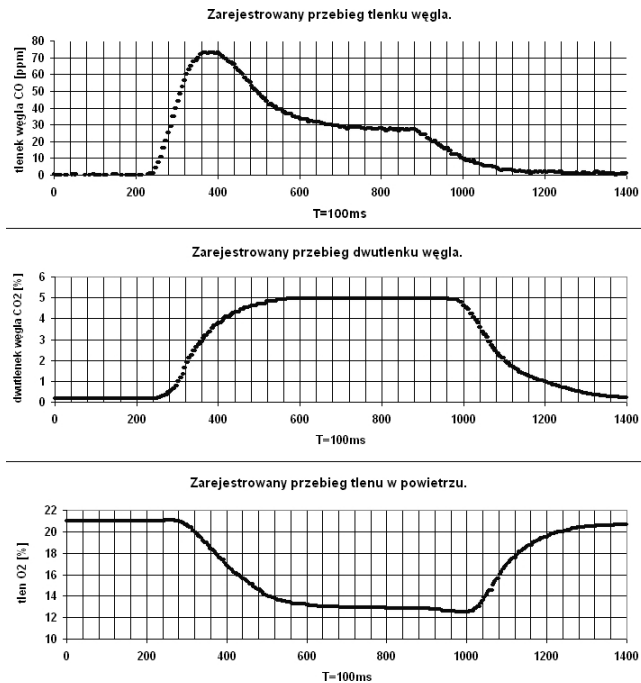
3. Budowa bazy wiedzy modelu

Podstawowym składnikiem modelu jest baza wiedzy. Baza składa się z bazy danych, czyli funkcji określających stopnie przynależności wartości pomiarów do poszczególnych wartości monitorowanych zmiennych oraz z bazy reguł łączącej poszczególne wartości zmiennych w reguły wnioskowania [3].

Przy konstrukcji bazy wiedzy modelu wzięto pod uwagę [4]:

1. Informację o składzie mieszanin pożarowych (korelacja) pomiędzy składnikami monitorowanego powietrza).
2. Dane katalogowe wykorzystywanych analizatorów (zakresy pomiarowe, niepewności pomiarowe) [5].
3. Rodzaj informacji potrzebny dyspozytorowi.

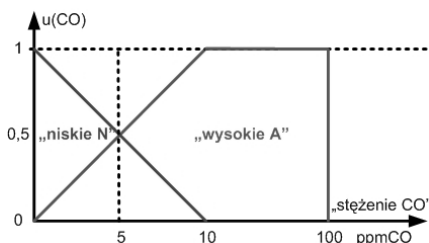
4. Zwiększenie czułości modelu (reakcja na małe przyrosty wartości wejściowych).



Rys. 1. Zarejestrowane składniki gazu pożarowego
 Fig. 1. Registered components of fire gas

Funkcje przynależności dobrano w taki sposób aby ich stopnie rozgraniczenia ($\mu=0,5$) pokrywały się z wartościami błędów granicznych podanych przez producenta analizatorów [4, 5].

Na rysunku 2 pokazano „typowe” trapezowe funkcje przynależności opisujące zmienną „stężenie CO”.



Rys. 2. Wartości zmiennej „stężenie CO”
 Fig. 2. The value of variable „CO concentration”

Wybrano funkcje trapezowe z powodu łatwości ich zapisu oraz zmian parametrów. Typowa trapezowa funkcja przynależności jest wyrażona następującym równaniem (1) [3]:

$$\mu(co;a,b,c,d) = \begin{cases} 0, & \text{dla } co \leq a, \\ \frac{co-a}{b-a}, & \text{dla } a < co \leq b, \\ 1 & \text{dla } b < co \leq c, \\ \frac{d-co}{d-c}, & \text{dla } c < co \leq d, \\ 0, & \text{dla } co > d, \end{cases} \quad (1)$$

gdzie: a, b, c, d to parametry funkcji. W przypadku opisu zmiennej „stężenie CO” wartość „wysokie A” (zagrożenie) przyjmuje wartości: $a=0, b=10, c=d=100$.

Dla każdej zmiennej utworzono 2 funkcje opisujące „niskie” stężenie w normie, oraz „wysokie” w stanie alarmu. Niepewność opisana funkcjami przynależności jest rozumiana w innym sensie

niż rachunek prawdopodobieństwa. Innymi słowy funkcja przynależności opisuje stopień wiarygodności tego, że zmienna „stężenie CO” przyjmuje wartość „niska”. Za pomocą zbiorów rozmytych możemy opisać nieprecyzyjnie stwierdzenie „wysokie stężenia gazu” [4, 6, 7].

Zmienna wyjściowa to stopień zagrożenia w skali 1-3, opisany trzema funkcjami przynależności. Wartość „około 1” – oznacza brak zagrożenia, wartość „około 2” – oznacza sytuację ostrzegawczą zagrożenia, natomiast „około 3” oznacza – pełne zagrożenie.

Bazę reguł modelu zbudowano w oparciu o wiedzę na temat składników, które powstają w atmosferze podczas pożaru oraz które potrafimy zmierzyć wykorzystując istniejące analizatory [5]. W przybliżeniu proces taki można opisać słownie: Podczas wystawiania pożaru „obserwujemy” śladowy wzrost stężenia CO, wzrost zawartości CO₂ oraz ubytek O₂. Można powiedzieć, że zachodzi pewna korelacja pomiędzy tymi składnikami. Wtedy wiemy z dużą pewnością, że mamy sytuację pożarową. Gdy natomiast zaobserwujemy korelację między dwoma składnikami, a trzeci będzie błędny (za niska lub za wysoka wartość) wtedy mamy do czynienia z uszkodzeniem czujnika i taki stan określamy, dla bezpieczeństwa, jako „ostrzegawczy”. Stan „brak zagrożenia” jest także określany jako stan w którym pomiary z dwóch urządzeń nie są alarmowe natomiast jedno wskazuje stan alarmowy. W tabeli 1 przedstawiono wybrane reguły modelu. Każda reguła klasyfikuje oceny stężeń poszczególnych składników mieszaniny do odpowiedniego stopnia zagrożenia pożarowego.

Tab. 1. Wybrane reguły z bazy reguł modelu
 Tab. 1. Selected rules from rule base of the model

„stęż.CO”	„stęż.O ₂ ”	„stęż.CO ₂ ”	„stop.zagroż.”
„wysokieA”	„niskieA”	„wysokieA”	„zagrożenie”
„wysokieA”	„normN”	„wysokieA”	„ostrzeżenie”
„niskieN”	„normN”	„niskieN”	„brak zagroż.”
„niskieN”	„niskieA”	„niskieN”	„brak zagroż.”

4. Budowa mechanizmu wnioskowania modelu

Do budowy schematu wnioskowania rozmytego wykorzystano system konstruktywny wnioskowania rozmytego [3, 8, 9, 10]. Zakładając, że na wejściach pojawią się wartości dokładne 2-regułowy schemat wnioskowania można przedstawić w postaci równania (2):

$$B'(y) = \max \{ \min [A_1^{(1)}(x_{10}), A_2^{(1)}(x_{20}), B^{(1)}(y)], \min [A_1^{(2)}(x_{10}), A_2^{(2)}(x_{20}), B^{(2)}(y)] \}, \quad (2)$$

gdzie $B'(y)$ – wynikowa funkcja przynależności, $A_{1,2}^{(1,2)}$ -funkcje przynależności wejść (przesłanek), $B^{(1,2)}$ - funkcje przynależności wyjść (konkluzji), $x_{10,20}$ – dane wejściowe (pomiar).

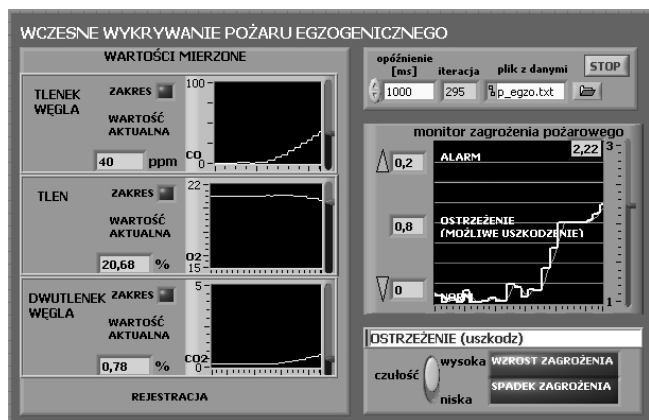
Równanie w tej postaci jest zwane schematem wnioskowania Mamdaniego oraz może być zapisane symbolicznie jako MIN-MIN-MAX (koniunkcja-implikacja-agregacja) [8, 10]. W celu wyznaczenia liczbowego stopnia zagrożenia przyjęto metodę wyostrzania środka ciężkości zbioru wyjściowego. Wartość y' obliczana jest w następujący sposób:

$$y' = \frac{\int B'(y) y dy}{\int B'(y) dy}, \quad (3)$$

gdzie $B'(y)$ – wynikowa funkcja przynależności, y' - stopień zagrożenia.

5. Wspomaganie wykrywania zagrożenia – implementacja programowa

Opracowano program komputerowy przeznaczony do wspomagania wykrywania zagrożenia pożarowego przy monitorowaniu atmosfery w którym zaimplementowano model rozmyty. Program opracowano w środowisku LabVIEW [11]. Panel główny operatora programu przedstawiono na rysunku 3. Po lewej stronie umieszczono okna trendu wartości mierzonych. Po prawej natomiast umieszczono monitor operatora prezentujący wyniki działania modelu.



Rys. 3. Panel główny programu dyspozytora
Fig. 3. The main panel of dispatcher's software

5.1. Wspomagania wykrywania zagrożenia – analiza działania programu

Wykonano symulacje na wcześniej zebranych danych (rys. 1). Program ustawiono tak, aby po przekroczeniu wartości 1,5 stopnia zagrożenia podawał komunikat „ostrzeżenie”, natomiast po przekroczeniu wartości 2,5 informował o stanie pełnego zagrożenia. Do dyspozycji operatora jest widoczny po prawej stronie (rys. 3) trend zagrożenia na podstawie którego można szybko ocenić stan zagrożenia. Dla porównania alarm klasyczny ustawiony był tak, aby zachodził iloczyn logiczny między programi alarmowymi: $CO \geq 5$ ppm, $CO_2 \geq 0,1\%$, $O_2 \leq 20,3\%$. Progi ustawiono zgodnie z maksymalnymi błędami pomiarowymi podanymi przez producenta [5]. Jak było się można domyśleć stan zagrożenia o wartości 2,5 to spełnienie warunków konwencjonalnego alarmu więc występuje w tym samym momencie. Czyli model w niczym nie ustępuje konwencjonalnemu, a przewyższa go możliwością śledzenia trendu zagrożenia z 3 mierzonych składników atmosfery. Detekcja alarmu jest zrealizowana na podstawie wyznaczenia stopnia zagrożenia. Dyspozytor jest także informowany o szybkim wzroście zagrożenia.

Przykładowe wyniki działania dla modelu MIN-MIN-MAX zaprezentowano w tabeli 2.

W tabeli 2 w drugim wierszu od dołu pokazano sytuację, kiedy stężenie CO jest „duże”, stężenie tlenu jest „zmniejszone” oraz stężenie CO₂ jest „duże”, więc wynikiem wnioskowania będzie „stan alarmowy”.

Po podaniu zarejestrowanych przebiegów już w 252 kroku (patrz rys. 1) operator może już coś podejrzewać – pojawia się stan ostrzegawczy, wartości mierzonych składników CO=4 ppm, O₂=21,1%, CO₂= 0,2% - są to naprawdę śladowe ilości gazów. W 301 kroku zmierzone wartości to CO=44 ppm, CO₂=1%, O₂=20,5% - nadal mamy stan ostrzegawczy. Dopiero w 313 kroku został przekroczony próg alarmowy (również konwencjonalnie). Stężenie CO wynosiło wtedy CO=53 ppm, CO₂=1,4%, natomiast stężenie tlenu spadło do wartości 20,2%.

Tab. 2. Wybrane wyniki działania modelu
Tab. 2. Selected results of fuzzy model

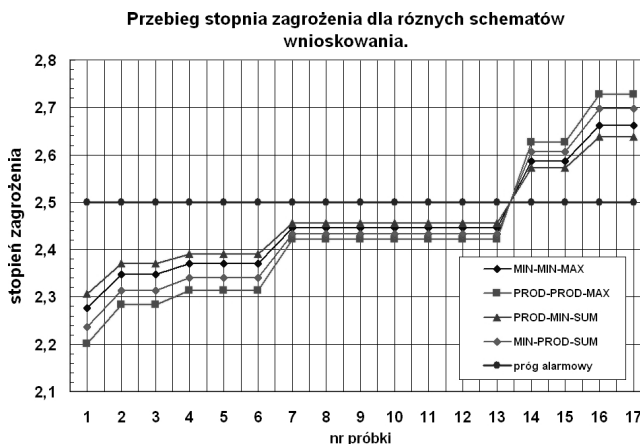
Mierzone parametry			Wyjście z modelu				Wynik wnios.
CO ppm	O ₂ %	CO ₂ %	μ_N	μ_0	μ_Z	stopień zagroż.	
2	21,0	0,17	0,8	0,2	0,0	1,19	„norm”
4	21,0	0,18	0,6	0,4	0,0	1,44	„norm”
7	21,1	0,25	0,3	0,7	0,0	1,69	„ostrz”
35	20,8	0,66	0,0	0,9	0,1	2,12	„ostrz”
48	20,4	1,20	0,0	0,6	0,4	2,45	„ostrz”
56	20,1	1,70	0,0	0,3	0,7	2,66	„alarm”
60	19,7	1,90	0,0	0,0	1,0	2,99	„alarm”

Na rysunku 4 pokazano sytuację, widoczną na monitorze dyspozytora, gdy czujnik CO₂ jest uszkodzony – informacja „ostrzeżenie”.



Rys. 4. Wykrycie uszkodzenia czujnika
Fig. 4. Detection of the sensor damage

Następnie porównano działanie wybranych schematów wnioskowania. Wyniki działania programu przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Przebiegi stopnia zagrożenia i schematy wnioskowania
Fig. 5. Curves of model output for different inference pattern

Na podstawie powyższego wykresu można stwierdzić, iż zastosowanie wybranych schematów wnioskowania nie wpływa znacząco na przebieg oraz wynik wnioskowania. Maksymalna różnica to około 0,1 stopnia zagrożenia.



Rys. 6. Monitor operatora, zakłócenia pomiarowe
Fig. 6. Operator's monitor, disturbance of measurement

Sprawdzono także odporność na zakłócenia pomiaru. Do każdego przebiegu dodano zakłócenia pseudolosowe o wartości średniej bieżącego pomiaru oraz odchyleniu standardowym wartości maksymalnego błędu analizatora. Podczas obserwacji po około 260 próbkach wykryto zagrożenie automatycznie oraz werbalnie. Szara wyglądająca linia na monitorze (rys. 6) jest średnią ruchomą wyznaczaną z 6 wartości wyjściowych na bieżąco.

6. Podsumowanie

Zbudowany model wnioskowania wykonuje statyczne, nieliniowe odwzorowanie między sygnałami wejściowymi a wyjściowymi. Zachowanie się systemu logiki rozmytej nie jest opisywane przy użyciu algorytmów i wzorów, lecz raczej przez zestaw reguł, które mogą być wyrażone w języku naturalnym.

Detekcja pożaru przy wykorzystaniu programu okazała się bardziej skuteczna i szybsza od stosowanych metod konwencjonalnych oraz pozwoliła zminimalizować fałszywe alarmy. 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. Opracowane wielowymiarowe modele, umożliwiają automatyczne szacowanie stopnia oraz szybsze rozpoznanie zagrożenia, na podstawie zaimplementowanej wiedzy dyspozytorskiej. Modele rozmyte pozwalają dokładnie określić wartość zagrożenia oraz przedstawić ją w postaci numerycznej na podstawie niepewnych danych pomiarowych środowiska.

Większe znaczenie w działaniu modelu ma dobrze zaprojektowana baza wiedzy aniżeli wybór odpowiedniego schematu wnioskowania.

Do wad zaproponowanego podejścia można zaliczyć brak numerycznych metod oceny prawidłowości działania oraz wybór „na wycucie” mechanizmu wnioskowania.

Natomiast do zalet zaliczamy możliwość wyznaczania „on-line” stopnia zagrożenia oraz rysowanie historii trendu zagrożenia. Możliwość połączenia kilku pomiarów różnych wielkości fizycznych w jedną wartość wyjściową na podstawie której podejmowane są decyzje. Dużą czułość modelu - reakcja na małe przyrosty

wartości wejściowych oraz możliwość wykrywania zagrożenia w warunkach zakłóceń pomiarowych także na podstawie obserwacji trendu.

Zaprezentowany w artykule nowy sposób wspomagania oceny zagrożenia stanowi wstępną koncepcję ujęcia tego problemu i wymaga on dalszych badań oraz weryfikacji przemysłowej.

7. Literatura

- [1] Grychowski T.: Eksperymentalny system z urządzeniami pomiarowymi do kontroli parametrów atmosfery kopalnianej. Miesięcznik Mechanizacja i Automatykacja Górnicztwa 423 (2006), nr 4, 32-38.
- [2] Bystron H.: Stan pożaru, zapalenie i wybuch gazów podczas aktywnego i pasywnego gaszenia. Archiwum Górnicztwa, t.42 (1997), z.1.
- [3] Piegat A.: Modelowanie i sterowanie rozmyte. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, 1999, Warszawa.
- [4] Grychowski T.: Zastosowanie logiki rozmytej do wspomagania dyspozytora przy monitorowaniu powietrza kopalnianego. Mechanizacja i Automatykacja Górnicztwa, 418 (2005), nr 11.
- [5] Dołowe urządzenia pomiarowe, Centrum Elektryfikacji Automatykacji Górnicztwa EMAG, Katowice, www.emag.pl.
- [6] 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 - Fundamental Theory and Applications, 45 (1999), no 1, 105-119.
- [7] Grychowski T.: Hazard Assessment Based on Fuzzy Logic. Archives of Mining Sciences, vol.53, 2008, no 4, p.595-602.
- [8] Mamdani E.H.: Applications of fuzzy algorithms for simple dynamic plant. Proc. IEEE, vol.121, 1974, no. 12.
- [9] Zadeh L.A.: Outline of a New approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Trans. Systems Man and Cybernetics SMC, 3, 1973, 28-44.
- [10] Czogała E. & Leski J.: Fuzzy and Neuro-Fuzzy Intelligent Systems. Springer-Verlag Co Heidelberg, NY, 2000.
- [11] LabVIEW, National Instruments, www.ni.com/labview.

otrzymano / received: 17.05.2010

przyjęto do druku / accepted: 02.07.2010

artykuł recenzowany

INFORMACJE

Nowy dział „Niepewność wyników pomiarów” na stronie internetowej Wydawnictwa PAK

Uprzejmie informuję, że na stronie internetowej Wydawnictwa PAK (WWW.pak.info.pl) został utworzony dział „Niepewność wyników pomiarów”. Na p.o. redaktora działu został powołany dr inż. Paweł Fotowicz.

Dr P. Fotowicz jest ekspertem w zakresie problematyki niepewności, autorem szeregu wartościowych publikacji w czasopiśmie krajowych i zagranicznych. Prezentował swoje prace na licznych konferencjach i warsztatach szkoleniowych.

W dziale „ Niepewność wyników pomiarów”, obok dostępu do aktualnych wybranych opracowań dotyczących niepewności jest możliwość zadawania „Pytań do eksperta”. Pytania powinny być konkretne i szczegółowo sprecyzowane.

Pytania i odpowiedzi o istotnym znaczeniu dla szerszego grona metrologów będą archiwizowane i dostępne dla użytkowników strony internetowej Wydawnictwa PAK.

Zapraszam do odwiedzania działu „Niepewność wyników pomiarów” i do udziału w jego rozwoju.

Tadeusz SKUBIS
Redaktor naczelny Wydawnictwa PAK