

Kilka słów o błędzie dynamicznym czujnika pelistorowego w osłonie ognioszczelnej

Streszczenie. W artykule przedstawiono podstawowe parametry charakteryzujące właściwości dynamiczne czujnika oraz opisano metodę wyznaczania tych parametrów w sposób doświadczalny. Porównano wyznaczone parametry z danymi katalogowymi oraz przedstawiono model osłony ognioszczelnej wykorzystywany w algorytmach korekcji błędu dynamicznego. Przedstawiono przyjęte założenia korekcji błędu dynamicznego na zasadzie odtwarzania dla modelu o stałych i zmiennych parametrach.

Abstract. The article presents the basic parameters characterizing the dynamic properties of the pellistor sensor and describes the method of determining these parameters experimentally. Designated parameters were compared with the data sheet and flameproof shield model is used in dynamic error correction algorithms. The paper presents the assumptions of dynamic error correction on the basis of playing for the model with fixed and variable parameters. **The basic parameters characterizing the dynamic properties of the pellistor sensor**

Słowa kluczowe: metan, pelistor, korekcja, odtwarzanie, dynamika.

Keywords: methane, pellistor, correction, prediction, dynamics.

doi:10.12915/pe.2014.11.04

Wstęp

Metan jest gazem palnym, którego mieszanina z powietrzem w proporcji od ok. 4,9 do 15,4% staje się wybuchowa. Właściwość ta jest szczególnie istotna w warunkach występujących w kopalniach, gdzie często dochodzi do znacznych i gwałtownych zmian stężenia metanu, a co za tym idzie, do groźnych dla ludzi i sprzętu zmian koncentracji metanu w powietrzu, aż do granicy wybuchowości [7, 11, 15]. Urządzenia elektryczne pod napięciem oraz pracujące urządzenia mechaniczne mogą stać się źródłem zapłonu mieszanki metanu z powietrzem [17, 18]. Zmiany stężenia metanu w powietrzu kopalnianym należy mierzyć w taki sposób, aby można było podjąć środki zabezpieczające przed wybuchem metanu [6, 25].

Powszechnie używanymi w kopalniach czujnikami do pomiaru stężenia metanu są czujniki pelistorowe w osłonach ognioszczelnych [4, 26, 28, 29]. Czujniki takie działają na zasadzie spalania katalitycznego [3, 8, 10]. Pomiar stężenia metanu związany jest z wydzielaniem ciepła przez czujnik, co może spowodować zainicjowanie wybuchu [19, 20]. Aby się przed tym zabezpieczyć czujnik umieszcza się w osłonie ognioszczelnej, która zabezpiecza przed wydostaniem się płomienia do otoczenia, a zarazem chroni czujnik przed uszkodzeniami mechanicznymi [12]. W związku z tym wszystkie rodzaje czujników używane obecnie w metanometrii kopalnianej pracują w osłonie, która łącznie z czujnikiem tworzy głowicę pomiarową przystającą do pomiaru metanu, czyli metanomierza. Tego rodzaju głowicę pomiarową można traktować jako szeregowe połączenie dwóch przetworników: osłony oraz czujnika [1].

Ostona jest niezbędna, jednak jej użycie powoduje istotne pogorszenie dynamicznych właściwości głowicy, co skutkuje relatywnie długim czasem oczekiwania na wynik pomiaru przy skokowych zmianach stężenia metanu, występujących w kopalniach. Osłona ognioszczelna niebezpiecznie wydłuża czas reakcji czujnika na zmiany stężenia metanu, a w trakcie eksploatacji jej właściwości jeszcze się pogarszają. Utrudnione przenikanie gazu przez osłonę na zasadzie niewymuszonej dyfuzji jest przyczyną powstawania dużego błędu dynamicznego (rozumianego jako chwilowa różnica stężenia metanu na zewnątrz głowicy pomiarowej a wewnątrz jej), którego wartość, w początkowej fazie po wymuszeniu skokowym, może sięgać 100%. Błąd ten uwidacznia się zwłaszcza w sytuacjach, gdy zmiany stężenia następują odpowiednio szybko, np. na skutek wyrzutu metanu [1, 11].

Pomiar stężenia mieszanek palnych w powietrzu kopalnianym

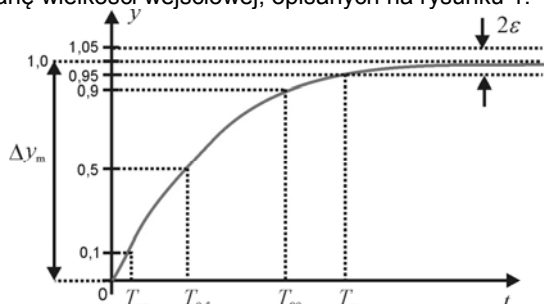
Podstawowym sposobem zwalczania zagrożenia metanowego jest odmetanowanie, które polega na prowadzeniu ciągłej wentylacji i przewietrzania chodników kopalnianych, wykonywania odwiertów drenażowych oraz likwidacji miejsc nagromadzenia metanu. Realizacja tych działań wymaga stosowania ciągłego, automatycznego monitorowania stężenia metanu, zwanego metanomietrą o pomiarze ciągłym [4, 6]. Ze stosowanych aktualnie w górnictwie węglowym urządzeń kontrolnych wymienić należy przede wszystkim metanomierze przenośne indywidualne, sygnalizacyjne oraz stacjonarne [4, 30].

Metanomierze przenośne (zazwyczaj lekkie, o małych rozmiarach oraz o autonomicznym zasilaniu w energię elektryczną) stosowane są do wyrównego sprawdzania stężenia metanu w różnych punktach. Metanomierze stacjonarne przeznaczone są do pracy w systemach zabezpieczeń metanometrycznych. Poza ciągłym pomiarem zawartości metanu w danym punkcie wyrobiska mogą one, za pośrednictwem specjalnych urządzeń, powodować automatyczne wyłączenie dopływu energii elektrycznej do kontrolowanego wyrobiska.

Istotne dla działania systemów metanometrycznych są ich właściwości dynamiczne, charakteryzowane głównie przez czas reakcji systemu na zmianę mierzonych parametrów, m.in. na wzrost zawartości metanu powyżej wartości dopuszczalnej. W przypadku, gdy celem działania systemu jest wyłączenie urządzeń czas ten nazywa się czasem wyłączenia T_w . Właściwości dynamiczne systemów są szczególnie istotne w przypadku pomiaru stężenia metanu, gdyż pozostałe wielkości mierzone w kopalnianych systemach gazometrycznych są relatywnie wolnozmiennie. Przepisy [4, 21] określają czas wyłączenia T_w jako nie dłuższy niż 15 sekund od chwili pojawienia się w powietrzu określonej (niebezpiecznej) ilości metanu a wyłączeniem zasilania urządzeń elektrycznych.

Czas wyłączenia T_w w ogólnym przypadku obejmuje następujące składniki: czas związany z właściwościami dynamicznymi komory pomiarowej (dyfuzja metanu przez osłonę ognioszczelną, dynamika samego czujnika gazu), czas związany ze sposobem pomiaru stężenia metanu (pomiar ciągły, pomiar cykliczny) oraz czas opóźnienia wnoszony przez pozostałe elementy systemu metanometrycznego (centrałki dołowe, centrale metanometryczne, urządzenia wyłączające), w tym protokoły transmisyjne.

Jeden z podstawowych sposobów oceny właściwości dynamicznych przetwornika pomiarowego polega na określaniu parametrów jego odpowiedzi na skokową zmianę wielkości wejściowej, opisanych na rysunku 1.



Rys.1. Niektóre parametry charakteryzujące odpowiedź skokową przetwornika

Większość parametrów przedstawionych na rysunku 1 opisuje czas potrzebny na osiągnięcie, z określonym przybliżeniem, wartości ustalonej po wystąpieniu skokowej zmiany sygnału wejściowego. Do najważniejszych należą: czas T_{op} – czas opóźnienia, czyli czas po którym sygnał osiąga 10% wartości ustalonej, $T_{0,5}$ – czas połówkowy, czyli czas po którym sygnał osiąga 50% stanu ustalonego, T_{90} – czas ustalania 90% wartości stanu ustalonego, T_u – czas ustalania odpowiedzi, czyli czas po którym zmiany sygnału są mniejsze niż 5% stanu ustalonego. W stanie ustalonym sygnału wejściowego wartość błęd dynamicznego dąży do zera. W przypadku skokowej zmiany wartości sygnału wejściowego przetwornika przyjmuje się, że jego sygnał wyjściowy osiąga stan ustalony po takim czasie, po którym błąd dynamiczny jest mniejszy od wartość określonej przez parametr ϵ scharakteryzowany na rysunku 1.

Właściwości dynamiczne metanomierzy zależą zarówno od dynamiki przenikania metanu przez osłonę ognioszczelną, jak i od właściwości samego czujnika, jednak całkowity błąd dynamiczny wynika głównie z właściwości osłony [16]. Z punktu widzenia właściwości eksploatacyjnych systemu metanometrycznego istotnym parametrem głowicy pomiarowej jest czas opóźnienia T_{90} , zdefiniowany jako czas osiągnięcia przez sygnał wyjściowy czujnika 90% wartości ustalonej.

Czasy T_{90} dla różnych rodzajów osłon stosowanych w górnictwie mają różne wartości, jednak zazwyczaj, ze względu na wymogi prawne dotyczące czasu wyłączenia T_w , nie przekraczają 15 sekund [21]. W standardowych komorach pomiarowych KMD i KM-4Z czas opóźnienia T_{90} wynosi około 15 sekund, a w przypadku nowszej komory pomiarowej KM-Zi czas ten wynosi ok. 5 sekund [4]. Czasy te charakteryzują czyste osłony, bez występującego podczas ich eksploatacji zabrudzenia, które utrudnia dyfuzję gazu przez osłonę i wydłuża istotnie podane wartości opóźnienia.

Pomiary przenikania metanu przez osłonę ognioszczelną czujnika

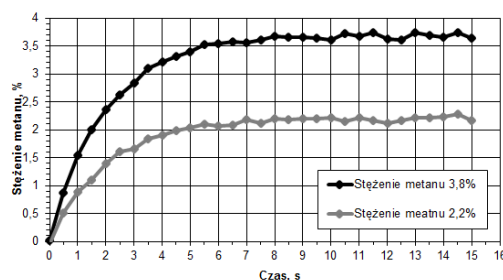
W celu przeprowadzenia badań właściwości dynamicznych osłon ognioszczelnych niezbędne jest użycie czujnika metanometrycznego o odpowiedniej dokładności, realizującego pomiar w czasie na tyle krótkim, że może być pominięty w relacji do czasu odpowiedzi osłony, a także cechującego się brakiem wpływu na proces przenikania metanu przez osłonę. Takie właściwości posiada czujnik pelistorowy pracujący w układzie mikroprocesorowym, który steruje procesem pomiaru i zapewnia odpowiednią jego dokładność w sposób programowy. Właściwości te uzyskano w ramach realizacji pracy [27], w której mostek pelistorowy był zasilany impulsowo, a chwilowe wartości

stężenia metanu były wyznaczane na zasadzie odtwarzania programowego. Metoda ta pozwala na pomiar wartości chwilowej stężenia mieszanki palnej w stanie nieustalonym z błędem bezwzględnym mniejszym niż 0,2% w czasie trwania impulsu napięcia zasilania rzędu 0,3 do 0,4 s.

Pelistory umieszczone są w komorze pomiarowej zwanej również głowicą pomiarową lub komorą spalania, z uwagi na zachodzący wewnątrz niej proces katalitycznego spalania metanu. Obecnie stosuje się dwa rodzaje komór pomiarowych: przepływowe i dyfuzyjne. W komorze przepływowej ruch gazu jest wymuszony przez pompkę ręczną lub mechaniczną. Natomiast w komorach dyfuzyjnych ruch gazu wywołany jest zjawiskami termodyfuzji lub autodyfuzji.

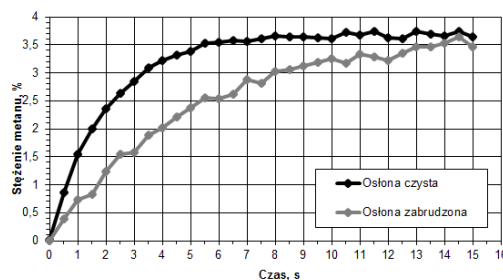
Po zadaniu skoku jednostkowego stężenia metanu na zewnątrz osłony układ pomiarowy dostarcza wyników pomiaru stężenia wewnątrz osłony, które są obciążone błędem dynamicznym wprowadzanym przez osłonę ognioszczelną czujnika pelistorowego. Układ pomiarowy współpracuje z komorą pomiarową, w której umieszcza się badaną głowicę pomiarową. Do komory doprowadzana jest mieszanka metanu z powietrzem o wzorcowym stężeniu. Konstrukcja komory umożliwia zadawanie skoku stężenia mieszanki na zewnątrz badanej głowicy [1].

Przykładowe wyniki pomiarów stężenia metanu wewnątrz komory dla dwóch różnych stężeń metanu przedstawiono na rysunku 2. Szybkość dyfuzji metanu przez osłonę ognioszczelną jest niezależna od stężenia metanu. Stała czasowa osłony nie zależy od stężenia metanu, a czas osiągnięcia stanu ustalonego, jak również czas T_{90} w obu przypadkach jest podobny.



Rys.2. Wyniki pomiaru stężenia metanu wewnątrz osłony ognioszczelnej po zadaniu skoku jednostkowego dla 2 różnych stężeń metanu

W warunkach eksploatacji metanomierzy w kopalniach występuje znaczne zmniejszenie efektywnej powierzchni osłony spowodowane jej zanieczyszczeniem (zabrudzenie, zapylenie, zakurzenie, zawilgocenie, zaparowanie, itp.), co w istotnym stopniu wpływa na dynamikę przenikania metanu przez osłonę [9]. Przykładowe wyniki pomiaru stężenia wewnątrz osłony przy symulowanym 50% jej zabrudzeniu (osłona zaklejona w 50% gazoszczelną taśmą) przedstawiono na rysunku 3.

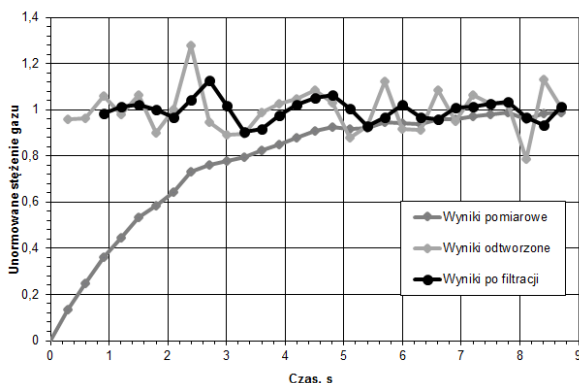


Rys.3. Wyniki pomiaru zmian stężenia metanu wewnątrz osłony ognioszczelnej po zadaniu skoku stężenia metanu dla osłony czystej i zabrudzonej

W ramach pracy [1] wykonywano pomiary dla różnych osłon po zadaniu skoku stężenia metanu o różnych wartościach, przy różnych częstotliwościach próbkowania oraz z symulowanym zabrudzeniu osłony. Uzyskane wyniki pozwalają na stwierdzenie, że głównym czynnikiem wpływającym na powtarzalność wyników pomiarowych jest stan osłony, który ilościowo może być wyrażony współczynnikiem dyfuzji [5]. Pogorszenie stanu osłony w czasie eksploatacji znacząco wpływa na wydłużenie czasu uzyskiwania odpowiedzi czujnika. Czas T_{90} może wzrosnąć wielokrotnie, co powoduje wydłużenie czasu T_w i w konsekwencji wzrost zagrożenia wybuchem metanu. Błąd dynamiczny wprowadzany przez osłony ognioszczelne czujników pelistorowych jest jednym z głównych czynników wpływających na bezpieczeństwo pracy w kopalniach, a zatem zachodzi konieczność jego korekcji.

Wnioski

W pracy przyjęto, że czas opóźnienia charakteryzuje wyłącznie osłonę ognioszczelną, gdyż czujnik zastosowany w eksperymentach pomiarowych wprowadza pomijalnie mały błąd dynamiczny [27]. Przedmiotem niniejszej pracy są wyłącznie właściwości dynamiczne osłony jako przetwornika pomiarowego w torze pomiaru stężenia metanu w odpowiedzi na skok stężenia [1]. Możliwa jest programowa korekcja błędów dynamicznych przenikania metanu przez osłony ognioszczelne, realizowana na bieżąco i umożliwiająca skrócenie czasu uzyskania wyniku pomiaru w stanach dynamicznych po skokowej zmianie stężenia metanu [2, 14, 22, 23, 24], co pokazano na rysunku 4. Błędy pomiaru wartości chwilowych są przyczyną powstawania dużych błędów wartości odtworzonych, które jednak w znacznym stopniu mogą być zminimalizowane po zastosowaniu prostych algorytmów filtracji błędów losowych [1, 13].



Rys.4. Wyniki odtwarzania stężenia metanu na podstawie danych pomiarowych dla skoku stężenia metanu

LITERATURA

- [1] Bogacz R.: Bieżąca korekcja błędów dynamicznych przenikania metanu przez osłony ognioszczelne czujników pelistorowych. Praca doktorska, Gliwice 2013.
- [2] Bogacz R., Krupanek B.: Wybrane metody przyspieszenia uzyskania wyniku pomiaru stężenia gazu w stanach nieustalonych, Pomiary Automatyka Kontrola 1/2014.
- [3] Chou J.: Hazardous Gas Monitors, A Practical Guide to Selection, Operation and Applications, McGraw-Hill Book Company, New York, 2000.
- [4] Cierpisz S.: Systemy gazometryczne w górnictwie, Wyd. Politechniki Śląskiej seria Monografia, Gliwice 2007.
- [5] Crank J.: The mathematics of diffusion, Oxford University Press, New York, 1993.
- [6] Ćwięk B.: Podstawowe zasady bezpiecznego zachowania w wyrobiskach górniczych, Wyd. Górnictwo, Katowice 2011.
- [7] Dubiński J. i in.: Koncentracja wydobywania a zagrożenia górnicze, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 1999.

- [8] Henderson R. E.: Understanding Combustible Sensor Performance, International Fire Protection 2006 v.27 p.55-59.
- [9] Ho Clifford K., Webb S. W.: Gas transport in porous media, Springer 2006.
- [10] Fraden J.: Handbook of modern sensors : physics, designs, and applications, Jacob Fraden-3rd ed., Springer 2004.
- [11] Frączek R.: Rozpoznanie i zwalczanie zagrożenia wyrzutami gazów i skał w kopalniach węgla kamiennego, Politechnika Śląska, Gliwice 2007.
- [12] Gossel S.: Deflagration and Detonation Arresters, Center for Chemical Process Safety/AIChE, 2002.
- [13] Jakubiec J.: Błędy i niepewności w systemie pomiarowo-sterującym, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010.
- [14] Jakubiec J.: A new conception of measurement uncertainty calculation, Acta Physica Polonica A, v.124, 2013, pp. 436-444.
- [15] Kissell F. N.: Handbook for Methane Control in Mining, Department of Health and Human Services, Information Circular 2006.
- [16] Kolev S. D., Adam M., Barsony I., van den Berg A., Cobianu C.: Mathematical modelling of porous silicon based pellistor-type catalytic flammable gas sensors, Microelectronics Journal 29/1998 s.235-239.
- [17] Kozłowski B.: Koncentracja wydobywania a zagrożenia górnicze, Główny Instytut Górnictwa 1999.
- [18] Krause E.: Ocena i zwalczanie zagrożenia metanowego w kopalniach węgla kamiennego, prace naukowe Główny Instytut Górnictwa, nr 878, Katowice 2009.
- [19] Krawczyk M., Namiesnik J.: Application of a catalytic combustion sensor (pellistor) for the monitoring of the explosiveness of a hydrogen-air mixture in the upper explosive limit range, Journal of Automated Methods & Management in Chemistry, vol.25, no.5, 2003, pp.115-122.
- [20] Kumar A. et al.: Application of gas monitoring sensors in underground coal mines and hazardous areas, International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering, vol.3, Iss.3, 2013, pp.9-23.
- [21] Macek D.: Przepisy prawne i zagrożenia w górnictwie, Wydawnictwo Naukowe Śląsk 2011.
- [22] Nabelec J., Nalepa J.: The 'Blind' Method of Dynamic Error Correction for Second Order System, Proceedings of XVII IMEKO World Congress, 2003, pp 841-846.
- [23] Nabelec J., Nalepa J.: A Simulation Investigation of Differential Algorithm for the "Blind Correction" of Dynamic Error in Measuring Channels with Periodic Nonstationarity, Proc. of XVIII IMEKO World Congress, 2006.
- [24] Nalepa J.: Correction of Dynamic Error by the „Blind” Method. A Differential Algorithm Simulation Study, Proc. of 10th IMEKO TC7 Int. Symp. on Advances of Measurement Science, 2004, pp.109-114.
- [25] Noack K.: Control of gas emissions in underground coal mines, International Journal of Coal Geology 35 s.57-82, 1998.
- [26] McRobbie G., Clark F., Tandy C.: The Performance of a Flammable Gas Sensing Pellistor Bead With Respect to the Material Properties of the Support Arms, International ANSYS Conference, 2002.
- [27] Roj J.: Pomiar stężenia mieszanki palnej za pomocą mostka pelistorowego zasilanego impulsowo, Praca doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 1998.
- [28] Rose G., Zdanevitch I.: A New Method Using a Catalytic Sensor for the Identification and Concentration Measurement of Combustible Gases, Sensors and Actuators B, 24-25 1995, s.426-428.
- [29] Rose G.: Microsensors for Methane and Other Combustible Gases, Eurosensors XI, The 11-th European Conference on Solid State Transducers, Warsaw, Poland, SEPT 21-24, 1997, s.123-126.
- [30] Taylor CH. D., Chilton J. E., Goodman G. V. R.: Guidelines for the Control and Monitoring of Methane Gas on Continuous Mining Operations, Department of Health and Human Services, Information Circular 2010.

Autorzy: dr inż. Ryszard Bogacz, Politechnika Śląska, Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki, ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice, E-mail: ryszard.bogacz@polsl.pl, dr inż. Beata Krupanek, Politechnika Śląska, Instytut Metrologii, Elektroniki i Automatyki, ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice, E-mail: beata.krupanek@polsl.pl.