

Ryszard BOGACZ

DYFUZJA METANU PRZEZ OSŁONĘ OGNIOSZCZELNĄ CZUJNIKA PELISTOROWEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki prac związanych z badaniem dyfuzyjnego przenikania metanu przez osłony ognioszczelne czujników pelistorowych. Opisano sposób zadawania skoku jednostkowego metanu na osłonę ognioszczelną, sposób zasilania mostka pelistorowego jako czynnik mający szczególnie istotny wpływ na proces dyfuzji, a także wpływ innych czynników, takich jak położenie osłony, temperatura zewnętrzna, stężenie metanu, zapylenie osłony ognioszczelnej, szybkość przepływu metanu przez komorę pomiarową. Zaprezentowano wyniki przeprowadzonych pomiarów ilustrujące powyższe sytuacje.

METHANE DIFFUSION THROUGHOUT FLAME-PROOF SHIELD OF PELLISTOR SENSOR

Summary. The paper presents the results of investigations of methane diffusion throughout flame-proof shields of pellistor sensors. The method of step function force $C \cdot I(t)$, the power circuit and other factors determining the diffusion are described.

1. WSTĘP

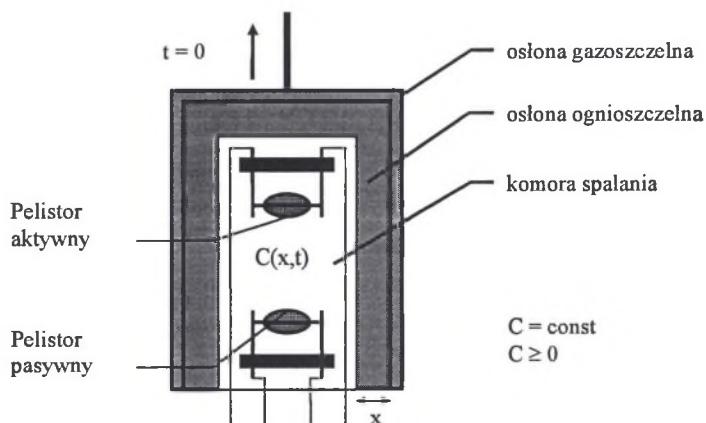
Jednym z czujników wykorzystywanych do pomiarów stężenia gazów palnych jest czujnik pelistorowy zabudowany w osłonie ognioszczelnej. Osłony ognioszczelne mają na celu zabezpieczenie przed wybuchem na skutek zapłonu metanu w trakcie pomiaru oraz stanowią ochronę przed uszkodzeniami mechanicznymi czujników pelistorowych. Niestety, dyfuzyjny proces przenikania metanu przez osłony znacznie wydłuża czas uzyskania wyniku pomiaru. Czasy reakcji obecnie produkowanych czujników, wynoszące ok. kilkunastu do kilkudziesięciu sekund, są często za długie. Czujniki takie stosowane są w kopalniach węgla kamiennego, gdzie istnieje duże zagrożenie wyrzutami metanu, a długie czasy reakcji istotnie zwiększają zagrożenie wybuchem metanu. Poznanie dynamiki procesu przenikania ma na celu m.in. opracowanie algorytmów pozwalających na znaczne zwiększenie szybkości działania czujników.

2. METODA POMIARU

W celu przeprowadzenia badań skonstruowano moduł pomiarowy [1], który składa się z dwóch głównych elementów:

- układu pomiarowego, którego budowę oparto na mikrokontrolerze 80C32, umożliwiające badania mostków pelistorowych,
- komory pomiarowej wypełnianej mieszanką metanu z powietrzem o znanym stężeniu metanu, w której umieszcza się badane czujniki pelistorowe w osłonach ognioszczelnych oraz elementy do zadawania skoku jednostkowego $C \cdot I(t)$ stężenia metanu.

Układ pomiarowy umożliwia precyzyjne ustalenie wartości napięcia zasilania mostka oraz czasu jego trwania, jednoczesny pomiar prądu płynącego przez mostek pelistorowy oraz napięcia wyjściowego z przekątnej mostka, tymczasowe przechowanie wyników pomiarowych, przesłanie wyników do komputera w celu wizualizacji i archiwizacji.



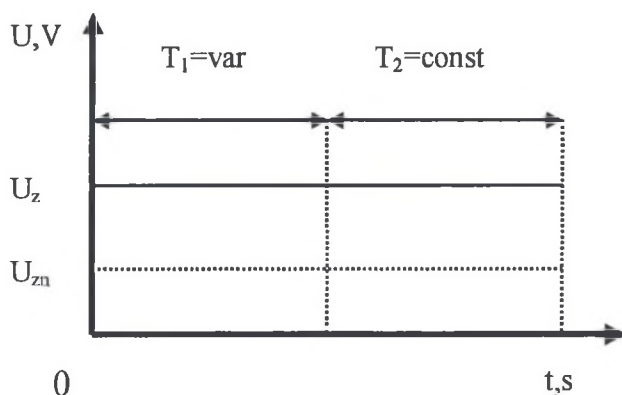
Rys. 1. Zadawanie skoku jednostkowego stężenia metanu

Fig. 1. Realisation of step function $I(t)$ of methane concentration

W komorze pomiarowej utrzymuje się w trakcie trwania pomiarów stabilne stężenie. W celu zapewnienia stałego stężenia mieszanki wewnątrz komory jest ona ciągle do niej dostarczana, dzięki czemu wewnątrz komory panuje niewielkie nadciśnienie. Przepływ mieszanki do komory musi być utrzymywany na niskim poziomie, aby nie zakłócić dyfuzyjnego przenikania mieszanki do wnętrza osłony ognioszczelnej. Stężenie metanu wewnątrz osłony ognioszczelnej przed rozpoczęciem pomiarów jest równe 0%. Po rozpoczęciu pomiarów przez czujnik pelistorowy zdejmuje się z osłony ognioszczelnej osłonę gazoszczelną, wykonaną w postaci szczelnego kapturka teflonowego (rys.1), co skutkuje wytworzeniem skoku jednostkowego $C \cdot I(t)$ stężenia metanu na zewnętrznej ścianie badanej osłony ognioszczelnej czujnika pelistorowego [3]. Komora pomiarowa nie jest izolowana termicznie od otoczenia, gdyż temperatura zewnętrzna jest znacznie niższa od temperatury pelistorów i w praktyce

stała (szybkość zmian temperatury pelistorów wynosi kilkaset stopni K w czasie kilku dziesiątych sekundy).

Równocześnie z zadaniem skoku jednostkowego stężenia metanu rozpoczyna się pomiar stężenia metanu wewnątrz osłony ognioszczelnej. Pomiar jest wykonywany za pomocą mostka pelistorowego zasilanego impulsowo [2]. W celu zapewnienia minimalnej ingerencji pelistorów w proces przenikania metanu przez osłonę mostek pelistorowy jest zasilany napięciem impulsowym o czasie trwania będącym sumą czasu nagrzewania i czasu pomiaru (rys.2). Czas nagrzewania T_1 jest uzależniony przede wszystkim od początkowej temperatury pelistora oraz stężenia metanu. Czas zasilania powinien być krótki, aby zminimalizować wpływ czujnika na proces dyfuzji, tzn. ograniczyć wypalanie metanu oraz nagrzewanie gazu wewnątrz osłony (przepływ wymuszony termicznie). Chcąc skrócić ten czas, w trakcie nagrzewania kontroluje się na bieżąco temperaturę pelistora aktywnego (obliczoną na podstawie jego rezystancji) i w chwili osiągnięcia przez pelistor temperatury spalania katalitycznego rozpoczyna się pomiar chwilowego stężenia metanu. Czas trwania pomiaru wartości chwilowej stężenia metanu jest stały i wynosi $T_2 = 0,16$ s. Napięcie zasilające mostek pelistorowy jest przez cały czas stałe i w celu skrócenia czasu nagrzewania wyższe od znamionowego.

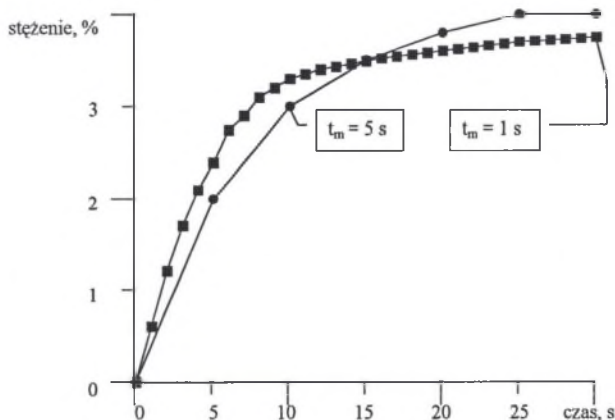


Rys.2. Sposób zasilania mostka pelistorowego
Fig.2. The way of power supply of a pellistor bridge

Ważnym czynnikiem decydującym o dynamice przenikania metanu przez osłonę ognioszczelną jest, oprócz czasu trwania pojedynczego pomiaru, także częstotliwość powtarzania pomiarów. Zbyt duża częstotliwość wywołuje podobne skutki jak zbyt duży czas pomiaru.

3. WYNIKI POMIARÓW

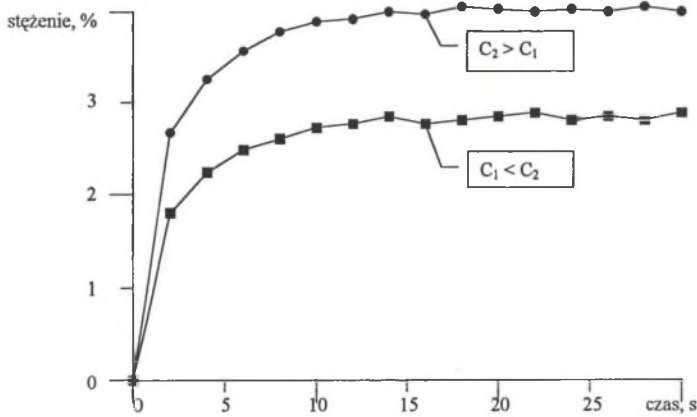
Okazało się, że decydujący wpływ na otrzymane wyniki ma sposób zasilania mostka pelistorowego (rys.3). Przy małej częstotliwości próbkowania stężenia metanu wewnątrz osłony (impulsowe zasilanie mostka pelistorowego co 5 sekund) wartość zmierzonego stężenia wewnątrz osłony w stanie ustalonym była taka sama, jak na zewnątrz osłony. Natomiast przy większej częstotliwości próbkowania stężenia metanu wewnątrz osłony (zasilanie pelistorów co 1 sekundę), zaobserwowano zwiększenie dynamiki przenikania metanu przez osłonę ognioszczelną (co jest spowodowane przenikaniem wymuszonym termicznie na skutek nagrzewania gazu wewnątrz osłony przez pelistory) oraz zmniejszenie wartości stężenia w stanie „ustalonym” (co może być spowodowane wypalaniem metanu wewnątrz osłony, a tym samym znacznym wydłużeniem czasu potrzebnego na wyrównanie stężeń po obu stronach osłony). Częstotliwość próbkowania powinna być tak dobrana, aby pomiar nie zakłócił procesu dyfuzji, a ilość punktów pomiarowych była wystarczająca do identyfikacji charakterystyki.



Rys.3. Wartości średnie stężenia metanu wewnątrz osłony ognioszczelnej przy różnych częstotliwościach próbkowania stężenia metanu po zadaniu skoku jednostkowego metanu, t_m – czas pomiędzy kolejnymi pomiarami

Fig.3. The average concentration of methane inside flame-proof shields after the step function $1(t)$ of methane concentration for various frequencies of methane concentration measurement, t_m – time between the successive measurements

W wyniku przeprowadzonych eksperymentów pomiarowych dobrano odpowiednią częstotliwość próbkowania (co 2 s), która nie zaburzyła procesu dyfuzji. Pozwoliło to na wykonanie pomiarów stężenia metanu wewnątrz osłony ognioszczelnej czujnika pelistorowego po zadaniu skoku jednostkowego stężenia metanu na zewnętrznej stronie osłony z minimalną ingerencją w proces przenikania. Na rys.4 przedstawiono zmierzone charakterystyki dla dwóch różnych stężeń metanu.



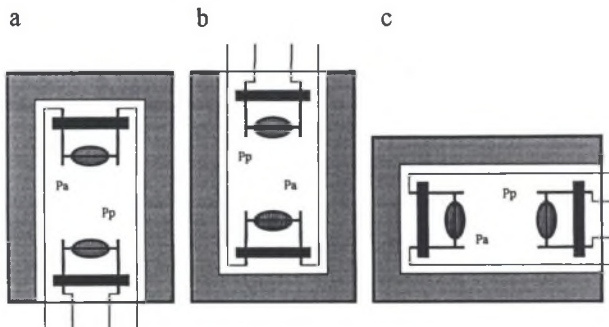
Rys.4. Charakterystyki stężenia metanu wewnątrz osłony ognioszczelnej po zadaniu skoku jednostkowego dla 2 różnych stężeń metanu C_1 i $C_2 > C_1$

Fig.4. Characteristics of the methane concentration inside flame-proof shields after the step function $1(t)$ of methane concentration for various methane concentration C_1 i $C_2 > C_1$

W trakcie prowadzonych prac nie zauważono wpływu stężenia metanu na dynamikę przenikania przez osłonę ognioszczelną. Większe stężenia wymagają jednak krótszego czasu zasilania mostka pelistorowego, gdyż pelistory przy większym stężeniu szybciej osiągają temperaturę spalania katalicznego. W tym celu wykonano odpowiednią korektę algorytmu pomiarowego.

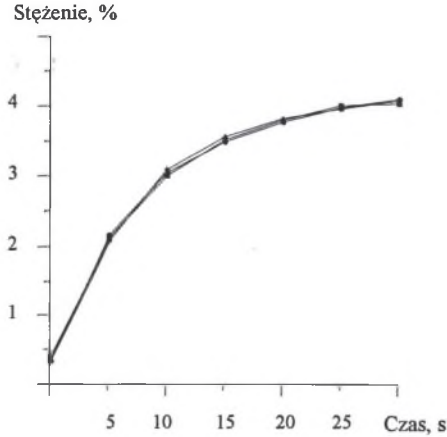
W czasie prowadzonych badań wykonano także serie pomiarów przy różnych położeniach osłony ognioszczelnej (rys.5):

- poziomym,
- pionowym - pelistor aktywny nad pasywnym,
- pionowym - pelistor pasywny nad aktywnym.

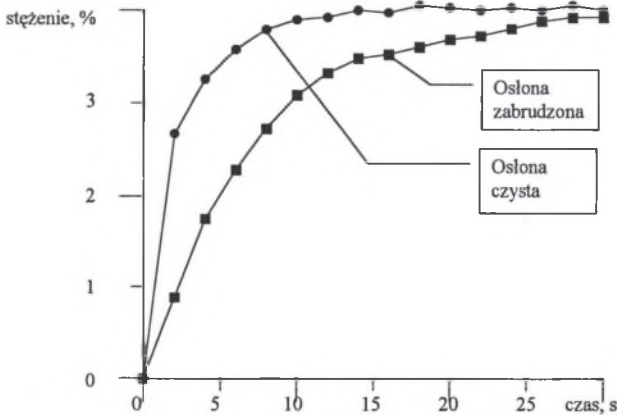


Rys.5. Różne położenia osłony ognioszczelnej
Fig.5. The various position of flame-proof shields

W wyniku przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, że na dynamikę przenikania metanu przez osłonę ognioszczelną oraz wartość stężenia wewnątrz osłony ognioszczelnej położenie osłony ma pomijalnie mały (przy założonej dokładności pomiarów) wpływ (rys.6).



Rys.6. Wartości średnie stężenia metanu wewnątrz osłony ognioszczelnej przy różnych położeniach osłony ognioszczelnej po zadaniu skoku jednostkowego stężenia metanu
 Fig.6. The average concentration of methane inside flame-proof shields after the step function $1(t)$ of methane concentration for various position of flame-proof shield



Rys.7. Charakterystyka zmian stężenia metanu wewnątrz osłony ognioszczelnej po zadaniu skoku jednostkowego stężenia metanu przy symulowanym 50% zapyleniu osłony
 Fig.7. Characteristics of the methane concentration inside flame-proof shields after the step function $1(t)$ of methane concentration for simulated shield dustiness of 50%

Najbardziej niekorzystnym zjawiskiem, jakie zaobserwowano w trakcie pomiarów, był wpływ „zabrudzenia” osłony ognioszczelnej na dynamikę przenikania metanu przez osłonę. Nawet niewielkie zapylenie, zakurzenie, zawiłgocenie, zaparowanie itp. znacząco zmienia współczynnik dyfuzji, co ma istotny wpływ na przebieg charakterystyki dyfuzji. Proces dyfuzji metanu przez osłonę przy symulowanym 50% zabrudzeniu osłony (osłona zaklejona gąsienicą w 50%) przedstawia rys. 7.

Wszystkie pomiary zostały przeprowadzone w warunkach pomijalnie małego przepływu metanu na zewnątrz osłony.

Przeprowadzone badania pozwalają ustalić, w jakich warunkach możliwy jest pomiar stężenia metanu wewnątrz osłony ognioszczelnej. Z punktu widzenia dynamiki przenikania metanu przez osłonę ognioszczelną nie ma istotnego znaczenia położenie osłony, jak również wartość stężenia metanu, natomiast bardzo ważna jest częstotliwość i czas zasilania pelistorów wewnątrz osłony. Odpowiednio duża częstotliwość próbkowania stężenia metanu i związana z tym duża częstotliwość zasilania pelistorów zakłóca proces dyfuzji metanu przez osłonę ognioszczelną. Wydaje się, że głównym czynnikiem wpływającym na powtarzalność wyników pomiarowych jest stan osłony zdeterminowany współczynnikiem dyfuzji.

4. UWAGI KOŃCOWE

Na podstawie otrzymanych wyników pomiarowych prądu zasilającego mostek oraz napięcia z przekątnej mostka przy ustalonym napięciu zasilania można odtworzyć wartości chwilowe stężenia metanu wewnątrz osłony ognioszczelnej [2]. Otrzymane wyniki umożliwią weryfikację teoretycznego modelu procesu przenikania. Z analizy otrzymanej charakterystyki wynika, że proces dyfuzji powinien być opisany równaniem 2 rzędu (2 stałe czasowe), gdyż opis równaniem 1 rzędu może powodować zbyt duże błędy w procesie odtwarzania, a opis równaniami wyższych rzędów niż 2 wpływa niekorzystnie na szybkość korekcji. Dysponując takim modelem będzie można odtworzyć wartości chwilowe stężenia metanu na zewnątrz osłony rozwiązując odwrotne modele procesu przenikania metanu przez osłony ognioszczelne [4].

LITERATURA

1. Bogacz R., Jakubiec J., Roj J.: System pomiarowy do badań czujników do pomiarów stężeń mieszanek palnych w stanach dynamicznych. Materiały konferencyjne. Systemy Pomiarowe w Badaniach Naukowych i Przemysle. Zielona Góra 1996.
2. Roj J.: Pomiar stężenia mieszanki palnej za pomocą mostka pelistorowego zasilanego impulsowo. Praca Doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 1998
3. Bogacz R.: Badanie dyfuzyjnego przenikania metanu przez osłony ognioszczelne. Materiały konferencyjne. MWPPP. Gliwice 1998.

4. Jakubiec J.: Bieżące programowe odtwarzanie wartości chwilowych dynamicznych przebiegów wejściowych nieliniowych przetworników pomiarowych. Monografia. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., ser. Elektryka z.111, Gliwice 1988
5. R. Bogacz: Badanie dynamiki przenikania mieszanek palnych przez osłony ognioszczelne czujników pelistorowych. Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne 2000. Gliwice 2000.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Janusz GAJDA

Wpłynęło do Redakcji dnia 22 lipca 2002 r.

Abstract

The purpose of investigations dealing with methane diffusion throughout flame-proof shields pellistor sensors is to shorten the sensor time response. The methane diffusion through flame-proof shields was determined by forcing the methane step function outside the shield (Fig.1) and pulse measurement of the methane concentration inside the shield [2]. Pulse supply consist in short duration supply of pellistor bridge with a dc voltage higher than the rated one for the time equal to T_1+T_2 , where $T_1=var$ is the time of pellistor heating up to the temperature of catalytic combustion, and $T_2=const$ is measurement time. The measurement showed that minimalisation of a single measurement time and reduction in measurement frequency are essential as too long time of pellistor bridge supply and too high measurement frequency disturb the diffusion (Fig.3). Experimental choice of the measurements proved that the shield dustiness influences essentially the diffusion (Fig.4).