

# Metoda oszacowania objętości pustek w zrobach otamowanego pola pożarowego na podstawie pomiarów ciśnienia

WACŁAW TRUTWIN

*Instytut Mechaniki Górniczej PAN, ul. Reymonta 27; 30-059 Kraków*

## Streszczenie

Wyznaczenie rzeczywistej objętości pustek w zrobach, zwłaszcza otamowanych wskutek pożaru itp. przyczyn, może być spowodowane koniecznością określenia czasu i przebiegu odgazowania pola pożarowego w czasie jego otwierania. Najprostsza metoda oszacowania tych pustek wynika z przyjęcia założenia, że wielkość tych pustek określona jest przez współczynnik eksploatacji (osiadania). Tak oszacowana objętość pustek może się jednak znacząco różnić od rzeczywistej, jeśli nie da się wyznaczyć aktualnej wartości tego współczynnika na podstawie bieżących obserwacji geodezyjnych. Druga metoda określenia objętości pustek zrobów wykorzystuje obserwacje (pomiar) zmian: ciśnienia w zrobach i strumieni objętości gazów (metanu) dopływających i wypływających z otamowanych zrobów (pola). Z bilansu i założeń upraszczających dla izolowanego zbiornika (pustek) otrzymuje się równanie różniczkowe (1) a z niego różnicowe (3,4), które dostarcza wzoru na objętość pustek (5). W pracy podano przykład obliczeniowy, w którym dane pomiarowe otrzymano w czasie obserwacji pola pożarowego powstałego po wybuchu metanu i pożaru w jednej z kopalń węgla kamiennego w 2006 roku.

**Słowa kluczowe:** wentylacja kopalń, otamowane pole pożarowe, ciśnienie w polu otamowanym

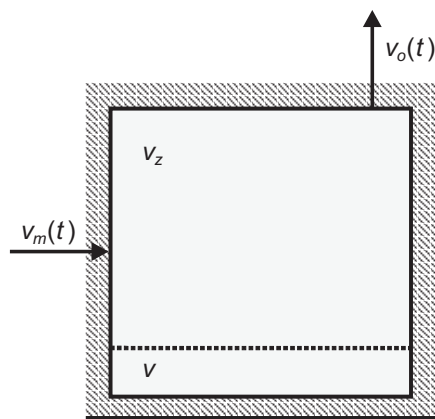
## 1. Wprowadzenie

Wiedza o objętości pustek w zrobach, które znajdują się w otamowanym rejonie czy polu pożarowym jest konieczna przy wyznaczaniu czasowego przebiegu odgazowania pola pożarowego po otwarciu otamowanej przestrzeni. Po wykonaniu bardzo szczelnego otamowania pola pożarowego, stwierdzono, że w niektórych przypadkach w otamowanym rejonie może pojawić się stosunkowo duże nadciśnienie względem otoczenia tj. czynnych wyrobisk kopalni. Pomiar różnicy ciśnienia wykonane węzami do pobierania próbek atmosfery z przestrzeni otamowanej wykazały, że nadciśnienie to może być rzędu 3000 Pa (300 mmH<sub>2</sub>O), [1]. Różnica ciśnienia tej wielkości musi być brana pod uwagę przy otwieraniu rejonu, gdyż może stwarzać duże zagrożenia. Zagrożenia te dotyczą operacji otwierania przepustów, tam, otworów w tamach będących pod dużym naporem (dla 3000 Pa to napór 300 kG na każdy m<sup>2</sup> tamy). Takie różnice powodują również to, że prędkość i strumień mieszaniny gazów, które wypływają z otamowanej przestrzeni w chwili jej otwarcia są bardzo duże. Stężenie gazów (metanu) w wyrobiskach za wylotem z pola pożarowego może zatem przekroczyć wartości dopuszczalne.

Określenie objętości pustek w zrobach można przeprowadzić w oparciu o prosty model matematyczny, który wyprowadza się z bilansu dopływu i wypływu (np. przez odmetanowanie) masy metanu z otamowanej przestrzeni, tak jak to pokazano poniżej.

## 2. Model matematyczny

Przyjmujemy, że uproszczonym modelem fizycznym otamowanego rejonu lub pola wyrobisk i pustek w zrobach) jest zbiornik z dopływem i wypływem metanu jak poniższym rys. 1.



Rys. 1. Model otamowanego pola pożarowego, gdzie  
 $V_z$  – objętość pustek zrobów w otamowanym polu,  
 $V$  – objętość wyrobisk w otamowanym polu,  
 $v_m(t)$  – strumień objętości metanu dopływającego z górotworu,  
 $v_o(t)$  – strumień objętości odmetanowania z otamowanego pola

Wielkości występujące w modelu jak na rys. 1 można ująć równaniem różniczkowym, które wynika z bilansu dopływu masy metanu z górotworu, odmetanowania oraz ze zmiany masy gazu w zbiorniku przypadającej na jednostkę czasu. Zatem mamy:

$$V_C \frac{d\rho(t)}{dt} = \rho(t)v_m(t) - \rho(t)v_o(t) \quad (1)$$

gdzie całkowita objętość otamowanego pola wynosi:

$$V_C = V_z + V \quad (2)$$

Po przekształceniach uwzględniających założenie, że  $p(t)/\rho(\tau) = p_n/\rho_n = \text{const}$  dostajemy korespondujące z (1) równanie różnicowe, w którym strumienie objętości  $v_o(t)$  i  $v_m(t)$  odniesione są do ciśnienia normalnego  $p_n$  oraz spełniony jest warunek, że  $\Delta p(t) \ll p(t)$ :

$$V_C \frac{\Delta p(t)}{\Delta t} = p_n v_{m}(t) - p_n v_{o}(t) \quad (3)$$

lub w postaci:

$$V_C \Delta p(t) = p_n (v_{m} - v_{o}) \Delta t \quad (4)$$

w którym jako zmienna zależna występuje zmiana ciśnienie w otamowanym rejonie i zrobach.

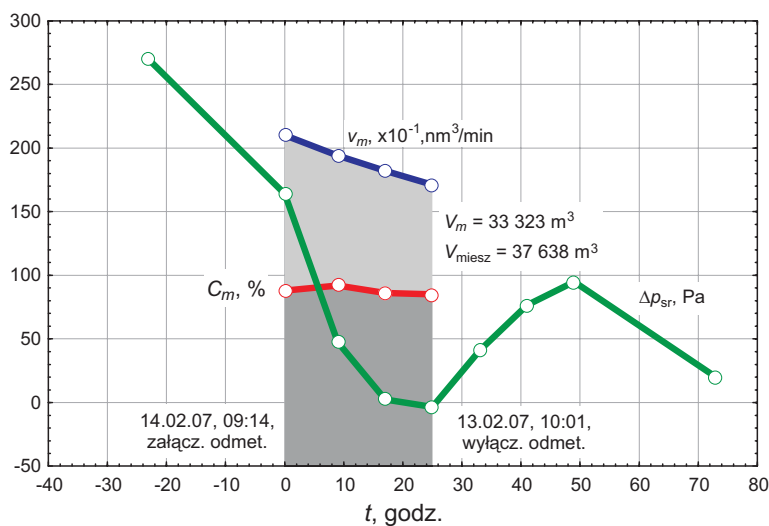
### 3. Dane pomiarowe

Wyniki pomiarów pochodzące od [1] przedstawione zostały w poniższej tabl. 1. Odmetanowanie zrobów trwało 24 h i 47 min. Wykresy na rys. 2 przedstawiają typowe przebiegi czasowe, stany przejściowe, nadciśnienia  $\Delta p(t)$  w wyrobiskach otamowanego rejonu ściany ( $\Delta p(t)$  jest ciśnieniem średnim z kilku manometrów), strumienia mieszaniny  $v_o(t)$  oraz stężenia  $C_m(t)$ .

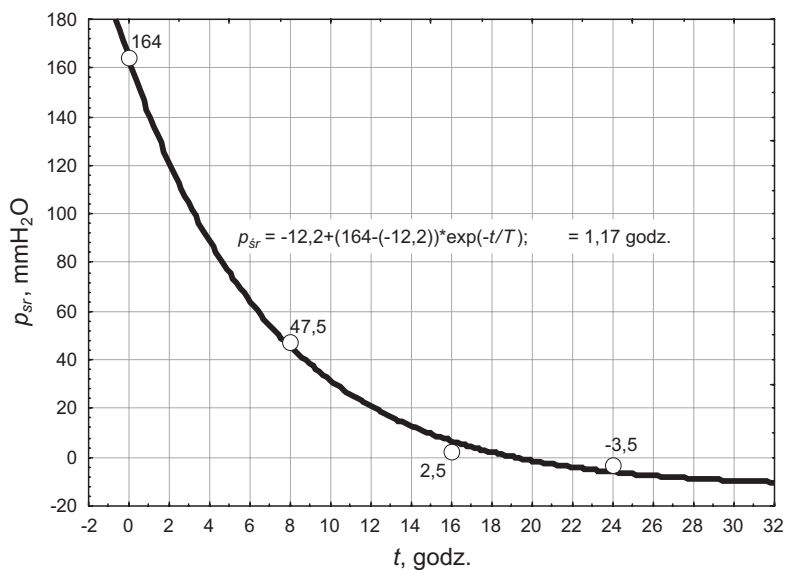
Spadek ciśnienia w otamowanym rejonie w czasie włączonego odmetanowania dobrze przybliża się funkcją wykładniczą (Rys. 3), co daje możliwość przewidywania czasu w którym dalsze odmetanowanie nie będzie powodowało zmian ciśnienia  $\Delta p(t)$ . Jak wynika z obliczeń przeprowadzonych dla przytoczonego przypadku tym ciśnieniem asymptotycznym jest ciśnienie  $-12,2 \text{ mmH}_2\text{O}$ . Miarą spadku ciśnienia powodowanego odmetanowaniem z zadaniem strumieniem (natężeniem przepływu) jest stała czasowa  $T$ , która mówi, że w czasie  $t = T$  ciśnienie spada do wartości 36,8% ciśnienia początkowego. Po czasie  $t = 3T$  ciśnienie spada do 4,97% wartości początkowej.

Tabl. 1. Ciśnienie w otamowanym rejonie ściany powłączeniu odmetanowania

Lp.	Data, czas	Zm.	Ciśnienie						ciśnienie atmos- feryczne	zmiana ciśn. atm.	podciśn. ssania	stru- mień metanu	stężenie metanu	uwagi
			L-4	L-5	L-6	L-7	śr. (4-7)	PW-1						
			Pa											
1	07.02.12 10:00	A	2649	2570	2708	2649	2644	3041	978,1	0				
2	07.02.13 09:14	A	1619	1521	1648	1648	1609	2551	971,8	-370	664	21,0	88	zał. odmet.
3	07.02.13 18:00	B	491	392	540	441	466	2256	974,4	260	664	19,4	92	
4	07.02.14 02:00	C	78	-29	78	-29	25	589	979,8	540	5578	18,2	86	
5	07.02.14 10:00	A	-39	-39	-20	-39	-34	785	979,8	0	7304	17,1	85	wył. odmet.
6	07.02.14 18:00	B	392	373	441	392	400	1815	981,1	130				
7	07.02.15 02:00	C	785	687	785	746	750	2158	981,1	0				
8	07.02.15 10:00	A	981	883	981	883	932	2158	981,1	0				
9	07.02.16 10:00	A	196	118	275	196	196	2158	990,4	9,3				



Rys. 2. Przebiegi czasowe  $\Delta p(t)$ ,  $v_m(t)$ ,  $C_m(t)$  wywołane załączeniem i wyłączeniem odmetanowania oraz wydobyciem ze zrobów 37 638 nm<sup>3</sup> (mieszający o prawie stałym stężeniu metanu)



Rys. 3. Krzywa spadku nadciśnienia  $\Delta p(t)$  w rejonie otamowanym spowodowana włączenia odmetanowania

Prędkość spadku ciśnienia w wyrobiskach otamowanego rejonu zależy od sumy objętości tych wyrobisk oraz pustek zrobów, natomiast ciśnienie asymptotyczne tylko od dopływu metanu z górotworu i innych źródeł oraz od dopływu powietrza i gazów przez nieszczelności izolacji rejonu.

#### 4. Wyniki obliczeń

Następnym zagadnieniem, które byłoby pomocne przy kontroli ciśnienia w rejonie otamowanym podczas jego otwierania jest oszacowanie strumienia dopływu metanu z górotworu do zrobów i wyrobisk na podstawie wyników pomiaru uzyskanych przy załączeniu i wyłączeniu odmetanowania oraz objętości zbiornika złożonego z wyrobisk i pustek w zrobach. Wielkości te można wyznaczyć z układu równań, które otrzymujemy z równania różnicowego (4).

Przyjmujemy dla rozważanego przypadku następujące oznaczenia i wielkości:

$$V_C = \text{nieznana objętość pustek w zrobach, m}^3$$

$$V = 27\,000 \text{ m}^3 \text{ objętości wyrobisk w otamowanym rejonie}$$

$$\Delta p = (-34) - 1609 = -1643 \text{ Pa, spadek ciśnienia w otamowanej przestrzeni wskutek odmetanowania}$$

$$p = 1088 \text{ hPa} = 1,088 \times 10^5 \text{ Pa, ciśnienie początkowe}$$

$$v_m = \text{nieznany strumień metanu z calizny, m}^3/\text{min,}$$

$$v_{o1} = 21 \text{ nm}^3/\text{min, odmetanowanie po załączeniu (} t = 0 \text{),}$$

$$v_{o2} = 17,1 \text{ nm}^3/\text{min, odmetanowanie przed wyłąc. (} t = 24\text{h } 47 \text{ min} = 1487 \text{ min)}$$

$$\Delta t = 1487 \text{ min}$$

Formułując układ równań, pierwsze równanie niezależne dostajemy z (4) przyjmując, że ciśnienie w zbiorniku spadło w czasie pracującego odmetanowania o wielkość  $\Delta p_{sr}$ , wskutek ubytku ze zbiornika metanu o objętości  $(v_m - v_o)\Delta t$  gdzie  $v_o = (v_{o1} + v_{o2})/2$ ; drugie równanie niezależne otrzymane z (3) wynika z założenia, że po osiągnięciu ciśnienia asymptotycznego, przyrosty ciśnienia  $\Delta p/\Delta t = 0$ . Dostajemy zatem układ dwóch równań algebraicznych niezależnych z dwoma niewiadomymi w postaci:

$$\begin{aligned} -1,643 \cdot 10^3 V_C &= 1,088 \cdot 10^5 [v_{nm} - (21 + 17,1)/2] \cdot 1,487 \cdot 10^3 \\ 0 &= 1,088 \cdot 10^5 (v_{nm} - 17,1) \cdot 1,487 \cdot 10^3 \end{aligned} \quad (5)$$

Rozwiązując układ równań dostaje się następujące wartości:

$$v_0 = \underline{17,1 \text{ nm}^3/\text{min}}$$

$$V_C = \underline{192\,000 \text{ m}^3}$$

Z powyższego oszacowania wynika, że stały dopływ metanu do zrobów i wyrobisk otamowanego rejonu: wynosi **17 nm<sup>3</sup>/min**, że objętość zbiornika gazów, w szczególności metanu, w otamowanej przestrzeni wyrobisk i zrobów może być rzędu **200 000 m<sup>3</sup>**. W rozważanym przypadku, objętość zrobów, przy objętości wyrobisk wynoszącej 27 000 m<sup>3</sup>, jest równa:

$$V_Z = V_C - V = 192000 - 27000 = \underline{165\,000 \text{ m}^3}$$

## 5. Wnioski

Systemy monitorujące dostarczają w czasie nieustalonych stanów procesu wentylacji kopalni wielu istotnych danych o tym procesie. Dane te są nieosiągalne przy badaniu stanów stacjonarnych tego procesu. Szczególne znaczenia mają te metody wyznaczania danych, odnoszących się do zdarzeń dynamicznych, w których parametry charakteryzujące wentylację, zagrożenia mają przebiegi zmienne w czasie i przestrzeni, o dużej częstotliwości i amplitudzie.

Pracę wykonano w ramach prac statutowych Instytutu Mechaniki Górniczej pt. „Eksperymentalne i teoretyczne badania przepływów pulsacyjnych w rozgałęzionych naczyniach elastycznych” w 2008 roku.

## 6. Źródło

- [1] Opracowanie pt.: *Określenie czasu i warunków bezpiecznego otwarcia ściany I/E w pokładzie 506/1 na poz. 1030 m w KWK Halemba w Rudzie Śląskiej*. (2007), Autorzy A. Strumiński, W. Trutwin.

### Estimation of void space in goaf located in sealed off fire areas by measurement of pressure

#### Abstract

The estimation of void space in the goaf and workings located in a sealed fire area has been based, as in the paper presented, on the measurement of transient pressure caused by controlled gas (methane) drainage from the considered goaf. Data derived from measurement of pressure, rate of flow of methane during drainage, methane concentration enable by using eqs (3) & (4) the determination of the volume of void space in the goaf, as well as the rate of methane emission from the strata and adjacent workings into the sealed area. The equations mentioned have been derived from a simple model of the sealed off area (Fig. 1).

**Keywords:** mine ventilation, sealed fire area, pressure in the sealed fire area