ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1992
Seria: GÓRNICTWO z. 205 Nr kol. 1179

Janusz ROSZKOWSKI
Jan PAWIŃSKI
Nikodem SZLĄZAK
Instytut Górnictwa Podziemnego i Bezpieczeństwa Pracy
AGH, Kraków

OBLICZANIE PARAMETRÓW SIECI ODMETANOWANIA KOPALN

Streszczenie. W pracy podano schemat obliczeniowy przepływu mieszaniny metanu z powietrzem w sieciach odmetanowania kopalń. Ruch mieszaniny opisano układem równań oczkowo-węzłowych wyprowadzonych przy założeniu stanu ustalonego i przyjęciu przemiany izotermicznej. Dla wykorzystania podanego układu równań wyznaczono charakterystyki podstawowych elementów sieci odmetanowania, tzn. wiązek otworów drenażowych i ssawy stacji odmetanowania oraz określano na podstawie pomiarów kopalnianych rzeczywiste wielkości bezwymiarowego współczynnika oporu dla rurociągów odmetanowania. W pracy podano rozwiązanie przedstawionego układu równań dla wyznaczenia istotnych parametrów pracy sieci odmetanowania, które mogą być podstawą do prowadzenia optymalizacji i automatyzacji sieci przy założonych kryteriach.

CALCULATION OF THE PARAMETERS OF METHANE DRAINAGE NETWORKS IN MINES

Summary. A calculation diagram of the flow of a mixture of methane and air in mine demethylation networks has been given. The motion of the mixture has been described by a system of mesh-node equations derived while assuming steady state and isothermal transformation. For the utilization of the given system of equations the characteristics of the basic elements of dementhanization networks i.e., bundles of drainage holes and of the exhaust fan of the methane drainage station, have been determined and on the basis of mine measurements the real values of the dimensionless resistance coefficient for the methane drainage pipelines have been defined. A solution of the presented system of equations for the determination of the significant working parameters of the methane drainage networks, which may be the basis for the optimization and automatization of the networks with the criteria assumed, has been given.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ ДЕГАЗАЦИИ НА ШАХТАХ

Резюме. В работе дается расчетная схема прохода смеси метана с воздухом с сетях дегазации шахт. Движение сети описывается системой ячеисто - узловых уравнений, выведенных на основании предпосылки установившегося состояния с учетом изотермических изменений. Для использования данной системы уравнений определены характеристики основных элементов сети дегазации, т.е. группы дренажных отверстий и эксгаустера станции дегазации. Определены также на основании шахтных замеров действительные величины безразмерного коэффициента сопротивления для дегазационнот трубопровода. Дается также решение представленной системы уравнений для определения существенных параметров работы дегазационной сети, которые могут быть основой для ведения оптимизации и автоматизации сети при принятых критериях.

1. WSTĘP

Odmetanowanie górotworu otworami drenażowymi stanowi jeden z zasadniczych sposobów aktywnego zwalczania zagrożenia metanowego w kopalniach eksploatujących pokłady o dużej metanonośności. Stosując odmetanowanie górotworu otworami drenażowymi, uzyskuje się obniżenie wydzielania metanu do wyrobisk górniczych, a także zmniejszenie zawartości metanu w pokładach węgla, przewidzianych w późniejszym czasie do eksploatacji.

2. PRZEPŁYW GAZU W RUROCIĄGACH ODMETANOWANIA

Przepływ mieszaniny metan-powietrze w rurociągu odmetanowania można przyjąć jako jednowymiarowy, a wielkościami charakteryzującymi ten przepływ będą:

$v=v(s,t)$ - prędkość przepływu mieszaniny,

$\rho=\rho(s,t)$ - gęstość przepływającej mieszaniny,

$p=p(s,t)$ - ciśnienie w rurociągu,

$T=T(s,t)$ - temperatura mieszaniny,

gdzie: s - współrzędna przestrzenna mierzona wzdłuż osi rurociągu. Równaniami łączącymi powyższe wielkości są równania ciągłości, ruchu i stanu.

W pracy [4] podano rozwiązanie równania ruchu dla odcinka rurociągu, ze względu na kwadrat ciśnienia mieszaniny metan-powietrze przy przyjęciu, że odcinek nie zawiera ssawy w postaci:

$$p^2 = p_1^2 \exp B - A_r F G^2 - A_1 G^2 \exp B \tag{1}$$

gdzie:

G - wydatek masowy przepływającej mieszaniny.

p - ciśnienie mieszaniny metan-powietrze w rurociągu,

p_1 - ciśnienie mieszaniny metan-powietrze na początku rurociągu,

$$A_r = \frac{16\ \lambda\ p_o s}{\pi^2 D^5 \rho_o} \tag{2}$$

$$A_1 = \frac{16\ \xi_1 p_o}{\pi^2 D^4 \rho_o} \tag{3}$$

$$B = \frac{2\ g\ \rho_o s\ \sin\alpha}{p_o} \tag{4}$$

$$F = \begin{cases} -1 & \text{- dla rurociągu poziomego} \\ -\dfrac{\exp B - 1}{B} & \text{dla rurociągu nachylonego} \end{cases} \tag{5}$$

p_o - ciśnienie odniesienia,

ρ_o - gęstość mieszaniny odniesiona do ciśnienia p_o,

α - kąt nachylenia rurociągu,

λ - bezwymiarowy współczynnik oporu rozłożonego,

ξ - bezwymiarowy współczynnik oporu skupionego,

D - średnica rurociągu.

3. UKŁAD RÓWNAŃ OPISUJĄCYCH PRZEPŁYW GAZU W SIECI ODMETANOWANIA

Droga przepływu mieszaniny metan-powietrze to układ szeregowo połączonych odcinków rurociągu odmetanowania stanowiących bocznice sieci. Odcinki te mogą być poziome lub nachylone. Początek drogi to miejsce podłączenia wiązki otworów drenażowych, a koniec - ssawa stacji odmetanowania. Każda więc droga niezależna wyodrębniona z sieci odmetanowania stanowi układ połączonych szeregowo trzech elementów: wiązki otworów drenażowych, rurociągów odmetanowania i ssawy stacji odmetanowania. Każdy z wymienionych powyżej elementów posiada inną charakterystykę traktowaną jako zależność ciśnienia na wylocie z wiązki otworów drenażowych, ciśnienia na wlocie do ssawy i rozkładu ciśnienia w rurociągach w funkcji wydatku masowego przepływu w każdym z tych elementów. Wobec tego współpraca całego układu będzie pewną wypadkową tych charakterystyk.

Wykorzystując zależność (1), układ równań opisujących przepływ gazu w sieci odmetanowania przyjmuje postać:

- równania rozkładu ciśnienia na drogach niezależnych:

$$p_k^2 = p_m^2 \exp \sum_{i=1}^{N} \alpha_{mi} B_i - \sum_{i=1}^{N} \alpha_{mi} A_{li} G_i^2 \operatorname{sgn} G_i \exp \sum_{i=1}^{N} \alpha_{mi} B_i -$$

$$- \sum_{i=1}^{N} \alpha_{mi} A_{ri} G_i^2 F_i \operatorname{sgn} G_i \exp \sum_{j=i+1}^{N} \alpha_{mi} B_j \qquad \text{dla} \quad m = 1,2,3,\ldots M \tag{6}$$

- równania węzłowego:

$$\sum_{i=1}^{N} \varepsilon_{ki} G_i(k) = 0 \qquad \text{dla} \quad k = 1,2,3,\ldots P \tag{7}$$

- równania charakterystyki ssawy stacji odmetanowania:

$$p_s = p_s(G_s) \tag{8}$$

- równania charakterystyk wiązek otworów drenażowych:

$$p_m = p_m(G_m) \qquad \text{dla} \quad m = 1,2,3,\ldots M$$

- równania określającego gęstość mieszaniny metan-powietrze w warunkach odniesienia ρ_o w poszczególnych bocznicach sieci:

$$\sum_{i=1}^{N} \varepsilon_{ki} \frac{G_i(k)}{\rho_{oi}(k)} = 0 \tag{10}$$

We wzorach powyższych ε_{ki} oraz α_{mi} oznaczają elementy macierzy incydencji węzłowo-bocznicowej oraz oczkowo-bocznicowej, a $\operatorname{sgn} G_i$ - kierunek przepływu gazu.

Układ zawiera M równań niezależnych z N niewiadomymi. Układ ten może być sprowadzony do M równań zawierających M niewiadomych wydatków masowych przepływu w bocznicach niezależnych poprzez wyrażenie wydatku w bocznicy przez wydatki w bocznicach niezależnych.

Do praktycznego wykorzystania powyższego układu równań należy wyznaczyć następujące wielkości:

- charakterystyki wiązek otworów drenażowych,

- charakterystyki ssawy stacji odmetanowania,
- bezwymiarowe współczynniki oporu rurociągów odmetanowania,
- charakterystyki oporów lokalnych spotykanych w sieciach odmetanowania kopalń.

3.1. Charakterystyka wiązek otworów drenażowych

Badania nad wyznaczeniem charakterystyki otworu drenażowego zarówno na drodze teoretycznej [5], jak i eksperymentalnej [1] wykazały, że wydatek masowy mieszaniny metan-powietrze wypływającej z otworu drenażowego oraz całej wiązki jest funkcją kwadratową ze względu na wielkość podciśnienia na wylocie z otworu lub wiązki otworów. Wobec powyższego wydatek masowy mieszaniny metan-powietrze z wiązki otworów drenażowych opisuje zależność:

$$G_m = - a_m p_m^2 + b_m \tag{11}$$

lub

$$p_m^2 = - \frac{1}{a_m} G_m + \frac{b_m}{a_m} \tag{12}$$

gdzie:

G_m - wydatek masowy mieszaniny z wiązki otworów,

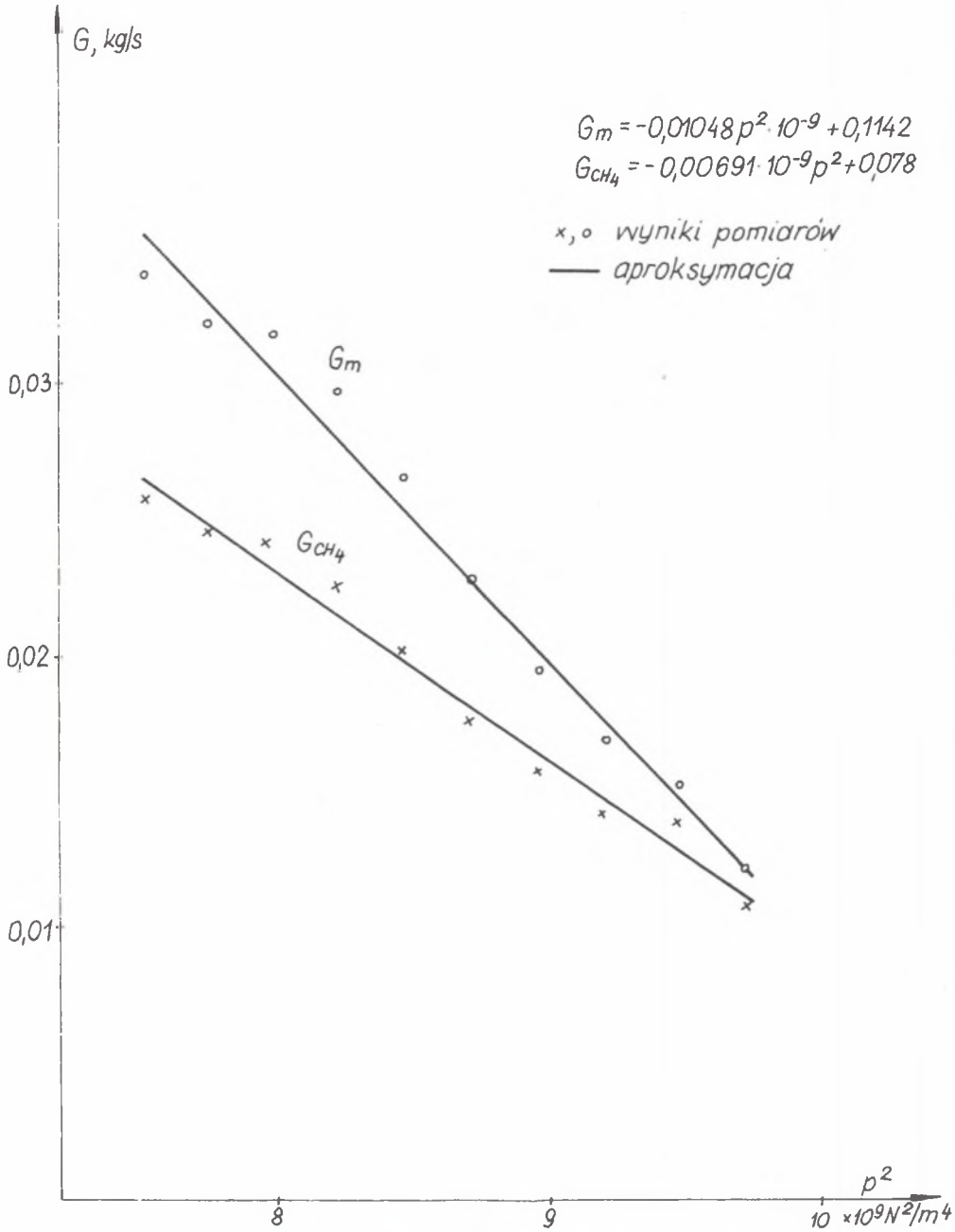
p_m - ciśnienie na wylocie z wiązki,

a_m, b_m - współczynniki wyznaczone dla całej wiązki otworów drenażowych.

Na rysunku 1 przedstawiono charakterystykę wiązki otworów drenażowych wykonaną na podstawie pomiarów i aproksymacji zależnością (12). Z rysunku tego oraz danych zawartych w pracy [1] wynika, że zależność (12) dobrze opisuje charakter wydzielania metanu z wiązki otworów drenażowych.

3.2. Charakterystyka ssawy stacji odmetanowania

Ssawa stacji odmetanowania, podłączona do sieci odmetanowania, składa się z zespołu sprężarek wytwarzających podciśnienie w rurociągach odmetanowania oraz nadciśnienia umożliwiające przesyłanie gazu do odbiorców. Do obliczeń sieci odmetanowania korzystnie jest przedstawić charakterystykę sprężarki jako zależność ciśnienia bezwzględnego po stronie ssawnej sprężarki od wydatku masowego przepływu gazu.



Rys. 1. Charakterystyka wiązki otworów drenażowych

Fig. 1. The characteristics of a bundle of drainage holes

Charakterystykę sprężarki można przedstawić w postaci zależności:

$$p_s = \frac{A_s}{\rho_{os}} G_s + B_s, \tag{14}$$

gdzie:

p_s - ciśnienie mieszaniny metan-powietrze na wlocie do sprężarki,

G_s - wydatek masowy mieszaniny,

ρ_{os} - gęstość mieszaniny przepływającej przez sprężarkę w warunkach odniesienia,

A_s, B_s - współczynniki charakterystyki sprężarki.

Jeżeli w stacji odmetanowania czynnych jest kilka sprężarek pracujących równolegle, ich wypadkowa charakterystyka będzie wynikiem sumowania wydatków mieszaniny przy tym samym ciśnieniu wytwarzanym po stronie ssawnej.

3.3. Bezwymiarowe współczynniki oporu rurociągów odmetanowania

Bezwymiarowy współczynnik oporu λ charakteryzuje wielkość oporów hydraulicznych przepływu. W literaturze spotyka się wykresy i zależności pozwalające na wyznaczenie wielkości tego współczynnika. Podawane zależności dotyczą przepływu gazu w warunkach odmiennych od warunków istniejących w kopalnianych sieciach odmetanowania. Wynika to z następujących faktów:

1. Mieszanina metan-powietrze płynąca rurociągami odmetanowania transportuje ze sobą cząstki mineralne pochodzące z górotworu, które zostały wessane do otworu drenażowego wraz z metanem. Cząstki te osadzają się w rurociągach, co powoduje zmniejszenie jego przekroju czynnego.

2. Rurociągi odmetanowania są bardzo często zawodnione wodą pochodzącą z górotworu lub przepłuczki stosowanej przy wierceniu otworów drenażowych. Woda gromadzi się w najniższych miejscach rurociągów, powodując lokalne zmniejszenie przekroju czynnego rurociągu.

3. W rurociągach sieci odmetanowania płynie mieszaninia metanu z powietrzem z zawartością drobnych kropel wody. Zawartość wody w mieszaninie cechuje się dużą zmiennością w czasie. Z tego też powodu w pracy [4] wyznaczono na podstawie pomiarów rzeczywiste wartości współczynnika λ dla rurociągów odmetanowania kopalń. Do obliczenia wartości współczynnika oporu λ korzystano z zależności (1), która po przekształceniu przyjmie postać:

$$\lambda = \frac{(p_1^2 - p_2^2)\, \pi^2 D^5 \rho_o}{16\, G^2\, p_o s} \tag{14}$$

Założono, że średnica hydrauliczna rurociągu jest równa jego średnicy nominalnej. Zmniejszenie przekroju rurociągu na skutek osadzania ziarn mineralnych i gromadzenia się wody wpływać będzie na zwiększenie oporów przepływu i w konsekwencji obrazuje wzrost współczynnika oporu.

Szczególnie dużą zmienność oporów przepływu gazu obserwuje się w trakcie podłączenia do rurociągu nowych wiązek otworów drenażowych i związanym z tym zmiennym zawodnieniem rurociągu.

Dla celów projektowania sieci odmetanowania kopalń należy przyjmować wartości bezwymiarowego współczynnika oporu w następujących granicach:

- dla rurociągu:

ø 300 mm	λ = 0,03 - 0,10
ø 250 mm	λ = 0,08 - 0,13
ø 200 mm	λ = 0,09 - 0,21
ø 150 mm	λ = 0,25 - 0,80

Wartości dolne dotyczą rurociągów o krótkim czasie eksploatacji i przy przepływie gazu o małym zawodnieniu.

Z porównania przedstawionych powyżej wielkości widać niewspółmiernie duży wzrost wielkości współczynnika λ w stosunku do zmiany średnicy rurociągu. Fakt ten tłumaczyć można tym, że rurociągi o średnicach 250 mm i 300 mm stosowane są jako rurociągi zbiorcze, gdzie zanieczyszczenie gazu i jego zawodnienie jest mniejsze niż rurociągów o średnicach 150 mm i 200 mm stosowanych jako rurociągi rejonowe z podłączonymi wiązkami otworów drenażowymi. Ponadto przy większej średnicy rurociągu osadzanie ziarn mineralnych i zawodnienie ma mniejszy wpływ na zmniejszenie przekroju czynnego niż przy jego mniejszej średnicy. Wynika stąd, że niecelowe jest stosowanie w sieciach odmetanowania rurociągów o średnicy mniejszej od 200 mm.

4. WNIOSKI

Podana w artykule identyfikacja elementów sieci odmetanowania pozwala na rozwiązywanie różnych zagadnień związanych z obliczeniami sieci odmetanowania. Obliczenia te są bardziej złożone niż analogiczne obliczenia sieci wentylacyjnych, co wynika z występowania dużych zmian ciśnienia i gęstości gazu w poszczególnych bocznicach sieci, a także z faktu, że wiązki otworów drenażowych posiadają specyficzne charakterystyki.

Projektowanie i eksploatacja sieci odmetanowania wymaga prowadzenia obliczeń mających na celu określenie:

- parametrów regulacji sieci,
- możliwości odsysania gazu z wiązek otworów przy zadanej strukturze sieci,
- rozpływu gazu w sieci,
- optymalizacji średnic rurociągów sieci.

Prowadzenie obliczeń, z uwagi na złożone zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami przepływu, jest możliwe przy użyciu maszyn cyfrowych.

LITERATURA

[1] *Ciaś Z.:* Wpływ depresji w otworach drenażowych na ilość ujmowanego metanu w kopalni gazowej. Praca doktorska, AGH, Kraków 1976.

[2] *Pawiński J., Roszkowski J.:* Ruch metanu w szeregowo połączonych elementach sieci odmetanowania o różnych charakterystykach, Archiwum Górnictwa, t.20, z.4, 1975.

[3] *Pawiński J., Roszkowski J.:* Theoretical basis for the calculation of the methane removal system. Archiwum Górnictwa, t.28, z.4, 1983.

[4] *Salamon A.:* Niektóre zagadnienia związane z przepływem metanu w sieci odmetanowania. Praca doktorska, AGH, Kraków 1981.

[5] *Szlązak N.:* Wpływ parametrów odmetanowania na natężenie przepływu metanu w otworach drenażowych. Archiwum Górnictwa, t.28, z.3, 1983.

Recenzent: Dr hab.inż. Józef Sułkowski prof. Pol.Śl.

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1991 r.