

Ryszard FRĄCZEK  
Okręgowy Urząd Górnictwa w Rybniku  
Jacek FRĄCZEK  
Politechnika Śląska, Gliwice

## OBLICZANIE SIECI RUROCIĄGÓW ODMETANOWANIA GÓROTWORU

**Streszczenie.** Omówiono charakterystyki elementów: otworu drenażowego, rurociągu i ssawy, składających się na sieć odmetanowania górotworu w kopalni podziemnej. Na podstawie pomiarów wykonanych na sieci rurociągów odmetanowania w Kopalni „Zofiówka” podano zasady wykonywania obliczeń sieci odmetanowania.

## DESIGN OF METHANE DRAINAGE PIPELINE NETWORKS FOR ROCK FORMATIONS

**Summary.** Characteristics of elements – a drain hole, a pipeline and an air-compressor – that make up a methane drainage network for rock formations in an underground mine are discussed. The principles of design of methane drainage networks are presented. The rules are based on the measurements taken from the methane drainage pipeline network in *Zofiówka* coal mine.

### 1. Wprowadzenie

Zagadnienie obliczania sieci odmetanowania w podziemnych kopalniach węgla kamiennego cechuje się dużą złożonością. Źródłem problemu jest fakt, że sieć odmetanowania składa się z trzech elementów o różnych charakterystykach otworu drenażowego, rurociągu odmetanowania i ssawy [1,2,3,4,5,6,7]. Dodatkowym utrudnieniem jest zabudowywanie rurociągów odmetanowania na różnych wysokościach niwelacyjnych. Dotychczas opracowane metody wyznaczania rozwiązań nie są wystarczająco efektywne.

Przez rozwiązanie sieci rurociągów odmetanowania rozumie się określenie:

- natężenia przepływu mieszaniny metanowo-powietrznej w sieci odmetanowania,
- kierunku przepływu mieszaniny,
- oporu wypadkowego sieci rurociągów,

mając dane:

- opory aerodynamiczne poszczególnych odcinków rurociągów,
- charakterystyki źródeł ruchu i otworów drenażowych,
- strukturę sieci rurociągów.

W niniejszej pracy na podstawie badań przeprowadzonych na sieci odmetanowania Kopalni „Zofiówka” podano zasady podstawowych obliczeń.

## 2. Charakterystyka otworu drenażowego

Przez charakterystykę otworu drenażowego należy rozumieć funkcję depresji w otworze w zależności od wydatku masowego gazu  $m_w$ , wypływającego z otworu drenażowego. Autorzy prac [5,6,7] proponują opisać charakterystykę otworu drenażowego następująco:

$$m_w = A \cdot \Delta p_o^2 + B \cdot \Delta p_o + C, \text{ kg/s}, \quad (1)$$

gdzie:

$\Delta p_o$  – depresja przyłożona na otworze drenażowym, Pa

A, B, C – współczynniki zależne m.in. od metanonośności górotworu, jego własności filtracyjnych, szczelinowości, długości otworów itp.

W praktyce wygodniej jest stosować funkcje w odwrotnym układzie, tzn.  $\Delta p_o = f(m_w)$ .

Depresja przyłożona na wiązkę otworów (otwór drenażowy) jest zazwyczaj na bieżąco regulowana ręcznie i wynosi 1000-25000Pa. Głównym wskaźnikiem decydującym o przyłożonej depresji na wiązkę otworów jest ilość ujmowanego metanu, przy koncentracji metanu nie mniejszej niż 30%.

## 3. Charakterystyka rurociągu

Sieć rurociągów odmetanowania służy do transportu metanu ujętego w otworach drenażowych na powierzchnię albo do prądów wylotowych powietrza. Aktualnie stosuje się

rury o średnicy wewnętrznej: 100, 150, 200, 250, 300, 400 mm i długości 6 m wykonanych ze stali lub tworzyw sztucznych. W tabelicy 1 podano kilka parametrów technicznych stosowanych rur.

Tabela 1

Parametry techniczne rur stosowanych w odmetanowaniu

Lp.	Rury stalowe			Rury z tworzyw sztucznych			
	Średnica nominalna wewnętrzna [mm]		Masa [kg]	Liczba oporu [ $\lambda_r$ ]	Średnica [mm]	Masa [kg]	Liczba oporu [ $\lambda_r$ ]
1	100	99	77	0,024	100	14,8	0,032.
2	150	149	126	0,022	150	30	0,029
3	200	207	208	0,020	200	40,2	0,028
4	300	308	399	0,019	315	85,2	0,024
5	400	387	619	0,018	400	135,6	0,022

Podane masy rur nie obejmują masy kołnierzy, które należy dodatkowo uwzględnić. Na dole kopalni, oprócz rurociągów z rur kołnierzowych, eksploatuje się rurociągi z rur spawanych. Na rurociągach odmetanowania buduje się co 500 m zasowy umożliwiające zamknięcie rurociągu oraz urządzenia pomiarowe do określenia ilości i stężenia metanu. Zasady budowy rurociągów odmetanowania nie odbiegają od zasad budowy rurociągów wodnych, czy sprężonego powietrza poza tym, że powinny być oznakowane w pobliżu kołnierza pasem koloru żółtego.

Rurociągi odmetanowania po dłuższym okresie eksploatacji ulegają korozji, zanieczyszczeniu przez wykroploną wodę i niesione pyły oraz rozdrobniony węgiel. Zanieczyszczenie rurociągu powoduje wzrost jego oporu aerodynamicznego. Dlatego też, podobnie jak w przypadku sieci wentylacyjnej, co pewien okres czasu należy wykonać pomiary wentylacyjne i określić rzeczywiste opory poszczególnych części rurociągu.

W tym celu należy wykonać na wszystkich nierozgałęzionych odcinkach rurociągu pomiary spadku naporu oraz wydatku mieszaniny metanowo-powietrznej. W punktach pomiaru należy wykonać pomiar ciśnienia powietrza w wyrobisku oraz temperatury powietrza wlotowego do kopalni. Następnie obliczamy potencjał izentropowy (według H. Bystronia [2]) dla poszczególnych punktów pomiarowych w sieci wentylacyjnej stosując zależność:

$$\Phi_s = p_p - p_o \left[ 1 - \frac{\kappa - 1}{\kappa} \cdot \frac{g \cdot \rho_o}{p_o} \cdot (z - z_o) \right]^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}}, \text{ Pa} \quad (2)$$

gdzie:

$p_p$  – ciśnienie atmosferyczne w miejscu pomiaru, Pa

$p_0$  – ciśnienie atmosferyczne na zrębie szybu, Pa

$\kappa$  – wykładnik adiabaty (można przyjąć  $\kappa=1,4$ ),

$g$  – przyspieszenie ziemskie,  $m/s^2$

$\rho_0$  – gęstość powietrza na zrębie szybu,  $kg/m^3$

$z$  – wysokość niwelacyjna punktu pomiarowego, m

$z_0$  – wysokość niwelacyjna zrębu szybu, m

Różnica potencjałów izentropowych między dwoma punktami (początkiem i końcem rurociągu) wyniesie:

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1, \text{ Pa} \quad (3)$$

Spadek naporu między punktami pomiarowymi wyniesie:

$$\Delta p_r = \Delta p_2 - \Delta p_1 + \Delta\Phi, \text{ Pa}, \quad (4)$$

gdzie  $\Delta p_2, \Delta p_1$  – różnice ciśnień w rurociągu i w wyrobisku, Pa.

Opór aerodynamiczny rurociągu oblicza się z zależności:

$$R_r = \frac{\Delta p_r}{V_m^2}, \text{ kg/m}^7 \quad (5)$$

gdzie  $V_m$  – wydatek mieszaniny metanowo-powietrznej,  $m^3/s$ .

W celu sprawdzenia, jak dalece zmienił się współczynnik (liczba) oporu rurociągu  $\lambda_r$ , należy wykonać obliczenia [3]:

$$\lambda_r = \frac{8 \cdot R_r \cdot A_r^3}{\rho_m \cdot B_r \cdot l_r}, \quad (6)$$

gdzie:

$A_r$  – przekrój wewnętrzny rurociągu,  $m^2$

$B_r$  – obwód wewnętrzny rurociągu, m

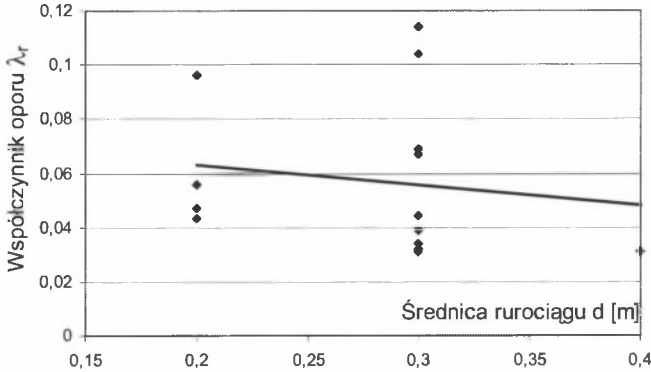
$l_r$  – długość rurociągu, m.

W literaturze [5,7], na podstawie przeprowadzonych badań na sieciach odmetanowania w kopalniach Rybnickiego Okręgu Węglowego, uzyskano następujące wartości współczynnika oporu:

- dla rur o średnicy 300mm:  $0,03 < \lambda_r < 0,10$ ,
- dla rur o średnicy 200mm:  $0,10 < \lambda_r < 0,24$ ,
- dla rur o średnicy 150mm:  $0,20 < \lambda_r < 0,90$ .

Jak widać, uzyskane wartości współczynnika oporu są kilka do kilkunastu razy większe niż te, które podano w tabl. 1. Natomiast w projektach technicznych odmetanowania ścian stosuje się wartości współczynników oporu o 50% większe niż podano w tabl. 1.

W celu sprawdzenia wiarygodności danych wejściowych autorzy wykonali pomiary w Kopalni „Zofiówka” na sieci odmetanowania złożonej z 22 odcinków rurowciągów o długości powyżej 100 m. Uwzględniono: 1 odcinek rurowciągu o średnicy 0,4m (w szybie), 13 odcinków rurowciągu o średnicy 0,3m i 8 odcinków rurowciągu o średnicy 0,2 m. Wyniki obliczeń pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Wartości współczynnika (liczby) oporu rurowciągów sieci odmetanowania uzyskane w Kopalni „Zofiówka”

Fig. 1. The values of pipeline resistance coefficient for methane drainage network obtained in “Zofiówka” mine

Uzyskane wyniki częściowo potwierdzają podane wartości współczynnika oporu. Zdaniem autorów istniejące rozbieżności spowodowane są nie tylko stanem badanych rurowciągów, ale także metodą przeprowadzonych badań, zwłaszcza badań dotyczących określenia ilości gazu z uwagi na stan zużycia kryz pomiarowych (niektóre z nich były zabudowane przeszło 20 lat temu), ich zabudowy itp. Na rysunku 1 przedstawiono także linię regresji zmian współczynnika oporu. Z jej przebiegu można wnioskować, że średnia wartość współczynnika oporu dla badanych rurowciągów jest dwukrotnie większa niż podano w tabl. 1.

Spadek naporu w czasie przepływu mieszaniny metanowo-powietrznej w rurowciągu można obliczyć z zależności:

$$\Delta p_r = p_1 - p_2 = \lambda_r \cdot \frac{l_r \cdot \rho_1 \cdot w_1^2}{2 \cdot d_r} = \frac{\lambda_r \cdot l_r \cdot m_m^2}{2 \cdot d_r \cdot A_r^2 \cdot \rho_1} = R \cdot V_m^2 = R \cdot \frac{m_m^2}{\rho_m}, \text{ Pa} \quad (7)$$

gdzie:

$p_1, p_2$  – ciśnienie bezwzględne na wlocie i wylocie z rurowciągu, Pa

$\lambda_r$  – liczba oporu rurowciągu,

$l_r$  – długość rurowciągu, m

$w_1$  – prędkość mieszaniny na wlocie do rurowciągu, m/s

$d_r$  – średnica wewnętrzna rurowciągu, m

$\rho_1$  – gęstość mieszaniny na wlocie do rurociągu,  $\text{kg/m}^3$

$m_m$  – strumień mieszaniny metanowo-powietrznej,  $\text{kg/s}$

$V_m$  – wydatek gazu,  $\text{m}^3/\text{s}$

$R$  – opór aerodynamiczny rurociągu,  $\text{kg/m}^7$ .

W przypadku długiego rurociągu, w którym następuje istotna zmiana gęstości transportowanej mieszaniny i nie realizuje się warunek  $\Delta p_r \ll p_1$ , stosuje się zależność podaną w pracach [4,5,6,9]:

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{\lambda_r \cdot l_r \cdot p_o \cdot m_m^2}{d \cdot A_r^2 \cdot \rho_1}, \text{Pa} \quad (8)$$

Przy stosowaniu do obliczeń sieci odmetanowania zależność (8), zwłaszcza w wyrobiskach nachylonych, występują określone trudności w ujęciu tego faktu. Z tej przyczyny w polskim górnictwie nie wykonuje się obliczeń sieci odmetanowania, a jedynie oblicza się spadki naporu lub wydajności poziomych rurociągów ułożonych między otworami drenażowymi a rurociągiem głównym.

#### 4. Charakterystyka ssawy stacji odmetanowania

Stacje odmetanowania stanowią zespół urządzeń służących do wytworzenia w rurociągach odmetanowania podciśnienia w takiej wielkości, by pokonać opory przepływu mieszaniny metanowo-powietrznej i wytworzyć wymagane podciśnienie na wlocie do otworu drenażowego.

Ze względu na zakres działania i lokalizację stacje odmetanowania można podzielić na:

- **stacje centralne powierzchniowe** – obejmują swoim działaniem całą kopalnię i zlokalizowane są na powierzchni, zazwyczaj w pobliżu szybu wentylacyjnego z uwagi na lokalizację w nich rurociągów odmetanowania,
- **stacje centralne dołowe** – także obejmują całą kopalnię, ale zlokalizowane są na dole kopalni w pobliżu szybu wydechowego, do którego wypuszczana jest mieszanina metanowo-powietrzna,
- **stacje lokalnego odmetanowania** – służą do odmetanowania jednego przodka lub rejonu wentylacyjnego i zlokalizowane są w prądach powietrza płynącego do szybu wydechowego.

Szczegółowe zasady, jakim powinny odpowiadać pomieszczenia i urządzenia stacji odmetanowania, określają przepisy BHP [8]. Na stacji odmetanowania mierzy się: temperaturę, ciśnienie i koncentrację metanu.



Jako ssawy stosuje się sprężarki o wydajności 10-150 m<sup>3</sup>/min i o podciśnieniu do 0,05MPa. Są to sprężarki różnej konstrukcji, produkcji krajowej i zagranicznej. Stosuje się sprężarki typu: M60-61, Zgoda, Vittig, P-45520, Siemens, 1MJ-9351-200, DR 900T.

Stacje dołowe centralne spełniają te same warunki co powierzchniowe, ale zazwyczaj są wyposażone w sprężarki o mniejszej wydajności. W tym przypadku stacja odmetanowania mieści się w wydzielonym wyrobisku górniczym, przewietrzanym niezależnym prądem powietrza.

Stacje lokalnego odmetanowania są przeznaczone do odmetanowania pojedynczych przodków lub ścian, gdzie zamierza się ująć niewielkie ilości metanu, który następnie wypuszcza się do prądu powietrza wylotowego w bezpośrednim sąsiedztwie z szybem wydechowym.

Ssawa stacji odmetanowania połączona do sieci odmetanowania składa się z jednej lub zespołu sprężarek wytwarzających podciśnienie w rurociągach odmetanowania oraz nadciśnienia umożliwiającego przesyłanie gazu do odbiorców. Do obliczeń sieci odmetanowania korzystnie jest przedstawić charakterystykę sprężarki jako zależność podciśnienia od wydatku masowego lub objętościowego przepływu gazu. Charakterystykę można przedstawić w postaci zależności [5]:

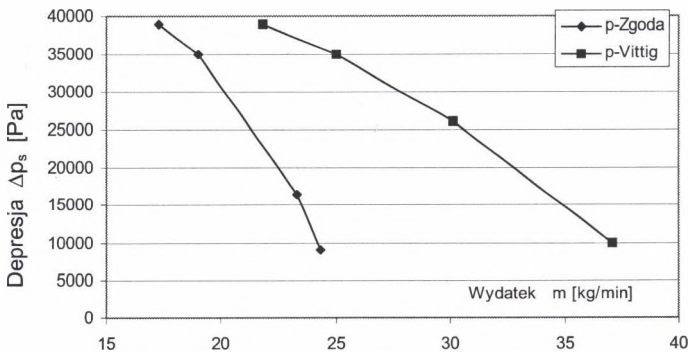
$$\Delta p_s = \frac{a \cdot m_s}{\rho_{os}} + b, \text{ Pa} \quad (9)$$

gdzie:

a, b – współczynniki charakterystyki sprężarki,

$m_s$  – wydatek masowy mieszaniny, kg/s

$\rho_{os}$  – gęstość mieszaniny przepływającej przez sprężarkę, kg/m<sup>3</sup>.



Rys. 2. Charakterystyki sprężarek Zgoda i Vittig dla koncentracji metanu 50%

Fig. 2. Characteristics of Zgoda and Vittig compressors for 50% methane concentration

Na rysunku 2 pokazano charakterystyki sprężarek typu Zgoda i Vittig zainstalowanych w stacji odmetanowania w Kopalni „Zofiówka”. Z rysunku wynika, że wzrost podciśnienia ssawy powoduje spadek wydajności. Podane charakterystyki można opisać równaniem (9).

## 5. Określenie wydatków masowych mieszaniny metanowo-powietrznej w sieci rurociągów odmetanowania

W celu wyznaczenia wydatków masowych w poszczególnych odcinkach sieci odmetanowania korzysta się z równań:

- rozkładu ciśnienia na drogach niezależnych:

$$\sum c_{mi} \cdot (\Delta p_r + \Delta p_s) = 0, \quad (10)$$

- węzłowych:

$$\sum b_{ki} \cdot V_i = 0, \quad (11)$$

- charakterystyki ssawy opisane równaniem (9),

gdzie indeksy oznaczają: m – oczko niezależne, i – bocznicza, k – węzeł, c – stała.

Ponieważ działy wentylacji wyposażone są w programy komputerowe do obliczeń sieci wentylacyjnej, można je bez większych trudności przystosować do obliczeń sieci odmetanowania. W tym celu należy wykonać:

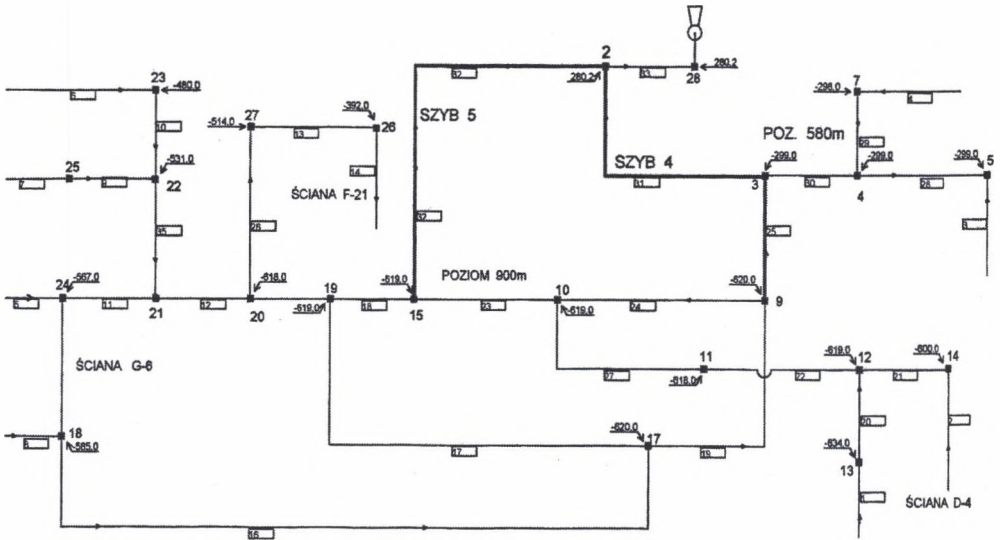
- schemat przestrzenny sieci odmetanowania,
- oznaczyć bocznicze i węzły sieci odmetanowania,
- określić opory aerodynamiczne poszczególnych odcinków rurociągu uwzględniając zmianę oporu z uwagi na zmianę gęstości mieszaniny metanowo-powietrznej,
- określić parametry lub trzy punkty pracy ssaw

oraz wykonać wymagane obliczenia:

- rozptywu powietrza po włączeniu do sieci nowego punktu ujęcia metanu,
- rozptywu gazu po wyłączeniu jakiegось ujęcia metanu,
- skutków wyłączenia lub załączenia ssawy,
- analizy sieci odmetanowania z uwagi na duże spadki naporu.

Na rysunku 3 pokazano schemat przestrzenny sieci odmetanowania Kopalni „Zofiówka”. Na schemacie zaznaczono poziomy niwelacyjne, punkty ujęcia metanu, numery bocznic i węzłów sieci.





Rys. 3. Schemat przestrzenny sieci odmetanowania Kopalni „Zofiówka”

Fig. 3. Spatial schema of methane drainage network in “Zofiówka” mine

W tabelicy 2 podano podstawowe dane dotyczące bocznic sieci odmetanowania oraz uzyskane ilości gazu po wykonaniu obliczeń. Ujęcie metanu stanowią otwory drenażowe w górotworze w trzech ścianach, w tym w jednej ścianie w chodniku wlotowym i w chodniku wylotowym. Pozostałe ujęcia stanowią zroby ścian wybranych – ujęcie metanu spoza tam izolacyjnych. W tabelicy podano wartości obliczonych oporów rurociągów  $R$ , gęstości mieszaniny z uwagi na jej wpływ na opór aerodynamiczny rurociągu oraz wysokości niwelacyjne wlotu i wylotu rurociągu.

W odróżnieniu od obliczeń sieciowych z uwagi na istotną zmianę gęstości gazu obliczenia przeprowadzono na wydatkach masowych, aby równanie węzłowe było spełnione. Obliczenia te wymagają także zastosowania charakterystyki ssawy w ujęciu masowym.

## 6. Podsumowanie

Ponieważ odmetanowanie górotworu w kopalniach węgla kamiennego jest istotnym czynnikiem poprawiającym stan bezpieczeństwa pracy górników, a równocześnie wymaga znacznych nakładów inwestycyjnych, dlatego należy możliwie szybko wdrożyć nie tylko podany sposób obliczeń sieci odmetanowania, ale także w szerszym zakresie należy stosować

obliczenia wydajności otworów drenazowych. W ten sposób uzyska się racjonalizację doboru sprzężarek, rurociągów oraz ilości i długości otworów drenazowych.

Tablica 2

## Zestawienie danych do obliczeń sieci odmetanowania

Lp.	Węzeł wlot-wylot	$R_r$ $10^{-3} \text{ kg/m}^7$	$l_r$ m	$d_r$ mm	$\rho_m$ $\text{kg/m}^3$	$z$ [m] wlot-wylot	$V_m$ $\text{m}^3/\text{min}$	Uwagi
1	1 – 5	12 000	-	-	0,9	-580	2,8	zrobry
2	1 – 7	265	-	-	0,9	-580	18,4	zrobry
3	1 – 13	280	-	-	0,9	-930	14,6	ściana
4	1 – 14	2 760	-	-	0,9	-865	5,1	zrobry
5	1 – 18	67	-	-	0,9	-900	31,8	ściana
6	1 – 23	1 400	-	-	0,9	-770	6,4	zrobry
7	1 – 24	1 140	-	-	0,9	-820	7,0	ściana
8	1 – 25	8 240	-	-	0,9	-805	2,8	zrobry
9	1 – 26	392	-	-	0,9	-760	12,1	ściana
10	5 – 4	2,5	100	300	0,7	-580 -580	2,8	
11	7 – 4	18	1150	300	0,8	-580 -580	18,4	
12	4 – 3	5,7	325	300	0,8	-580 -580	21,2	
13	3 – 2	14	880	300	0,7	-580 0	42,7	
14	13 – 12	280	525	200	0,9	-930 -900	14,6	
15	14 – 12	250	225	200	0,9	-865 -900	5,1	
16	12 – 11	9,4	75	200	0,8	-900 -900	19,7	
17	11 – 10	6,6	375	300	0,8	-900 -900	19,7	
18	10 – 15	5,5	350	300	0,8	-900 -900	12,4	
19	15 – 2	3,9	1100	400	0,7	-900 0	58,3	
20	10 – 9	4,1	235	300	0,8	-900 -900	7,3	
21	9 – 3	6,7	360	300	0,8	-900 -900	21,5	
22	18 – 17	43	2445	300	0,8	-900 -900	31,8	
23	17 – 9	15	875	300	0,8	-900 -900	14,2	
24	17 – 19	3,5	200	300	0,8	-900 -900	17,6	
25	19 – 15	13	750	300	0,8	-900 -900	45,9	
26	23 – 22	260	250	200	0,9	-770 -805	6,4	
27	25 – 22	40	40	200	0,9	-805 -805	2,8	
28	22 – 21	270	250	200	0,9	-805 -850	9,2	
29	21 – 20	360	775	200	0,9	-850 -900	16,2	
30	20 – 19	8	450	300	0,8	-900 -900	28,3	
31	24 – 21	330	660	200	0,9	-850 -820	7,0	
32	26 – 27	700	1450	200	0,9	-760 -830	12,1	
33	27 – 20	20	1235	300	0,9	-830 -900	12,1	
34	28 – 1	0	-	-	0,7	0 0	101,0	

## LITERATURA

1. Ciaś Z.: Ustalenie optymalnej depresji w otworach drenażowych odmetanowania w kopalniach. Przegląd Górniczy nr 12. 1976.
2. Frączek R.: Aerologia Górnicza. Przykłady i zadania. Katedra Elektr. i Autom. Góm. Pol. Śląskiej. Gliwice 2003.
3. Gryboś R.: Mechanika płynów z hydrauliką. Wyd. Politechniki Śląskiej., Gliwice 1995.
4. Kozłowski B., Grębski Z.: Odmetanowanie górotworu w kopalniach. "Śląsk". Katowice 1982.
5. Pawiński J., Roszkowski J., Strzeziński J.: Przewietrzanie kopalń. "Śląsk". Katowice 1995.
6. Pawiński J., Roszkowski J.: Teoretyczne podstawy obliczania sieci odmetanowania. Archiwum Górnictwa. T. 28. z 4. 1983.
7. Roszkowski J., Pawiński J., Szlązak N.: Obliczanie parametrów sieci odmetanowania kopalń. XVII Tydzień Techniki ROW" 91. Wodzisław Śląski 1991.
8. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych. (Dz. U. nr 139. z dnia 2 września 2002 r. poz. 1170).
9. Szargut J.: Teoria procesów cieplnych. PWN, Warszawa 1973.

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

**Abstract**

Characteristics of elements – a drain hole, a pipeline and an air-compressor – that make up a methane drainage network in an underground mine are discussed. Table 1 presents technical parameters of pipes used to construct methane drainage systems. Fig.1 presents the real values of pipeline resistance coefficient for methane drainage network measured in *Zofiówka* coal mine (schema of the drainage system is shown on Fig.3). Fig.2 depicts the characteristics of Zgoda and Vittig compressors for 50% methane concentration. The principles and formulas of design of methane drainage networks are presented. Table 2 contains the results calculated for the discussed *Zofiówka* mine.