ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1982

Seria: GÓRNICTWO z. 116 Nr kol. 717

Henryk BADURA, Krystian OCHMAN, Marian PIECZKA

TWORZENIE ZBIORCZYCH CHARAKTERYSTYK OTWORÓW DRENAŻOWYCH I NIEROZGAŁĘZIONEGO, POZIOMEGO RUROCIĄGU ODMETANOWANIA

Streszczenie. W artykule przedstawiono w oparciu o literaturę poglądy na temat charakterystyk pracy otworów drenażowych oraz wzory na obliczanie przepływu gazu w rurociągach przy uwzględnieniu oporów rozłożonych oraz miejscowych. Zaproponowano metodę tworzenia charakterystyk zbiorczych otworów drenażowych i rurociągu zbiorczego sieci odmetanowania, a także podano przykładowe wyniki obliczeń charakterystyki zbiorczej, przeprowadzonych za pomocą maszyny cyfrowej.

Aktywne zwalczanie zagrożenia metanowego poprzez odmetanowanie otworami drenażowymi wykonanymi z wyrobisk górniczych stosowane jest w Polsce od 1959 r. Ponieważ ilość ujmowanego metanu jest znaczna (np. w kopalniach RZPW wynosiła w 1979 r. 383 m^3/min), nawet niewielkie zmniejszenie ceny ujęcia metra sześciennego metanu daje znaczne efekty ekonomiczne. Skłania to do podjęcia prac zmierzających do opracowania metod obliczeń sieci odmetanowania.

Sieć odmetanowania składa się z trzech zasadniczych elementów szeregowo ze sobą połączonych: otworów odmetanowania, rurociągów oraz ssawy. Praca całej sieci zależy od charakterystyk pracy poszczególnych jej elementów. Zmiana parametrów w jednym elemencie wywiera w mniejszym lub większym stopniu wpływ na pracę całego układu. Aby określić pracę całego układu, należy znać charakterystyki poszczególnych elementów sieci odmetanowania.

Zachodzi pytanie, czy zagadnienie obliczania sieci odmetanowania da się sprowadzić do zagadnienia podobnego jak obliczanie sieci wentylacyjnej? Oznacza to, że należałoby zbudować charakterystykę wspólną (zastępczą) otworów drenażowych oraz rurociągów.

W pracy przedstawiono metodę tworzenia charakterystyki zastępczej nierozgałęzionego, poziomego rurociągu zbiorczego oraz otworów podłączonych do niego.

CHARAKTERYSTYKA PRACY OTWORÓW ODMETANOWANIA

Zagadnieniem określenia pracy otworów odmetanowania zajmowali się zarówno badacze polscy, jak i zagraniczni. Niektóre źródła radzieckie, np.

praca [3], przyjmują zależność liniową pomiędzy depresją a wydatkiem mieszaniny gazów lub metanu z otworów odmetanowania

$$Q = A + BP$$
$$QM = C + DP, \tag{1}$$

gdzie:

A, B, C, D - stałe, zależne od konkretnych warunków naturalnych złoża w obrębie wpływu otworu drenażowego, np. metanonośności złoża i ciśnienia gazu, gazoprzepuszczalności itp.,

Q - wydatek mieszaniny gazowej,

QM - wydatek metanu.

Inne przyjmują, że wydatek metanu i mieszaniny jest proporcjonalny do pierwiastka podciśnienia na wylocie z otworów [8]

$$Q = A + B\sqrt{P}$$
$$QM = A_c + B_c\sqrt{P} \tag{2}$$
$$QP = A_p + B_p\sqrt{P},$$

gdzie:

Q, QM, QP - odpowiednio wydatek mieszaniny metanu oraz powietrza,

A, A_c, A_p, B_c, B_p, B - stałe charakteryzujące wydajność mieszaniny metanu i powietrza, zależne od warunków geologicznych oraz uszczelnienia otworów.

Literatura niemiecka [6] podaje, że nie zaobserwowano większego wpływu depresji na wydatek otworów. Natomiast z badań przeprowadzonych na rurociągach zbiorczych wynika dość duża zależność przepływu mieszaniny gazu od wytworzonego podciśnienia [9].

W Polsce szerokie badania w tym zakresie przeprowadził Z. Ciaś [1, 2] i L. Łunarzewski [5].

Badania przeprowadzone w pracy [5] dotyczą odmetanowania bieżącego ścian. Wyniki badań zależności wydajności odmetanowania od depresji aproksymowano krzywą

$$QM = A\,n\sqrt{P - P_o}, \tag{3}$$

gdzie:

A - stała,

n - ilość otworów drenażowych w jednej wiązce,

P - wytwarzana depresja,

P_o - współczynnik określający wielkość podciśnienia potrzebnego do spowodowania wypływu metanu z otworów.

W pracach [1, 2] wyniki zależności wydatku ujmowanego metanu oraz mieszaniny gazowej od depresji, określanych dla odmetanowania wyprzedzającego, aproksymowano wzorem:

$$Q = AP^2 + BP + C, \tag{4}$$

gdzie:

A, B, C - stałe,

P - depresja.

Do dalszych rozważań przyjęto charakterystykę otworów opisaną wzorem (4), chociaż przyjęcie takiego lub innego wzoru nie ma wpływu na sam sposób tworzenia charakterystyki zastępczej otworów i rurociągów.

PRZEPŁYW MIESZANINY GAZÓW POZIOMYM ODCINKIEM RUROCIĄGÓW

W trakcie przepływu gazu przez rurociąg następuje duża zmiana gęstości gazu. W związku z tym nie różnica ciśnień jest proporcjonalna do kwadratu natężenia przepływu gazu, lecz różnica kwadratów ciśnień pomiędzy dwoma punktami.

Dla rurociągów poziomych różnica ta dana jest wzorem [4]

$$p_1^2 - p_2^2 = \lambda w_n^2 \varrho_n p_n \frac{l}{d}. \tag{5}$$

gdzie:

p_1, p_2 - ciśnienie absolutne w punktach 1 i 2,

w_n - prędkość przepływu gazu dla warunków normalnych,

p_n - ciśnienie normalne,

l - długość odcinka rurociągu pomiędzy punktami 1 i 2,

d - średnica rurociągu,

λ - bezwymiarowy współczynnik oporu rozłożonego,

ϱ_n - gęstość mieszaniny gazów dla warunków normalnych.

Przyjmując, że mieszanina gazów składa się z powietrza i metanu, wartość gęstości można określić ze wzoru:

$$\varrho_n = 0{,}7168 \cdot S + 1{,}2428(1 - S) \tag{6}$$

Oprócz oporów rozłożonych w sieci odmetanowania napotyka się również opory miejscowe. Spadek naporu na oporze miejscowym oblicza się według wzoru [7]:

$$\Delta p = \xi \frac{w^2 \varrho}{2}, \tag{7}$$

gdzie:

ξ - bezwymiarowy współczynnik oporu,

w - prędkość przepływu,

ϱ - gęstość gazu.

Zależność (7) można doprowadzić, zakładając przemianę izotermiczną, do postaci:

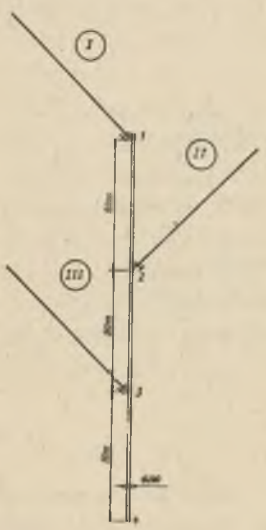
$$\Delta p = \varphi \frac{Q^2 p_n \varrho_n}{p} \tag{8}$$

Wielkość współczynnika φ określamy dla danego oporu empirycznie. Jego wartość będzie stała, zależna od miejsca pomiaru ciśnienia p, tzn. czy będzie ono mierzone przed czy za oporem miejscowym. Nie zależy natomiast od wartości ciśnienia p.

METODA TWORZENIA CHARAKTERYSTYKI ZASTĘPCZEJ

Danymi wyjściowymi do utworzenia charakterystyki zastępczej są:

- parametry A, B, C funkcji (4) dla zależności opisujących wydatek mieszaniny gazów oraz metanu z poszczególnych wiązek otworów,
- podciśnienie PK na końcu rurociągu,
- podciśnienia na wyjściu wiązek otworów P_i przy końcowym podciśnieniu w rurociągu PK,
- średnice rurociągu d_i, odległość pomiędzy kolejnymi punktami podłączeń wiązek otworów do rurociągu l_i oraz wielkości bezwymiarowego współczynnika tarcia oporu rozłożonego λ_i.



Rys. 1. Schemat otworów odmetanowania i rurociągu zbiorczego

Charakterystykę zastępczą dla schematu przedstawionego na rysunku 1 tworzy się w następujący sposób.

Znając podciśnienie w pierwszej (i=1) wiązce otworów drenażowych oraz wartości A, B, C obliczono na podstawie wzoru (4) wypływ mieszaniny Q_1 oraz metanu QM_1 z tej wiązki. Znając Q_1 oraz QM_1 obliczono na podstawie wzoru (6) wartość ϱ_n. Zgodnie ze wzorem (8) wartość współczynnika φ dla zasuwy regulacyjnej pierwszej wiązki otworów dana jest wzorem:

$$\varphi_1 = \frac{\Delta p_1 p_1}{Q^2 p_n \varrho_n},$$

gdzie:

$\Delta p_1 = P_1 - PK$,

p_1 - ciśnienie absolutne w rurociągu w punkcie 1.

Znając ilość mieszaniny $Q = Q_1$, przepływającą przez rurociąg na odcinku pomiędzy punktami 1 i 2, obliczono według wzoru (5) ciśnienie absolutne p_2 w punkcie 2.

W punkcie 2 wykonuje się analogiczne obliczenia jak w punkcie 1, tzn. oblicza się Q_2, QM_2, φ_2.

Znając ilość mieszaniny przepływającej na odcinku 2-3 równej $Q = Q_1 + Q_2$ oraz ilość metanu $QM = QM_1 + QM_2$ oblicza się ciśnienie w punkcie 3. Obliczenia powtarzają się dla punktu 3, uzyskując Q_3, QM_3, φ_3, a następnie oblicza się ciśnienie oraz podciśnienie PP_1 w punkcie 4.

Punkty o współrzędnych (PP_1, QC_1) oraz (PP_1, QMC_1) są pierwszymi punktami charakterystyk zbiorczych (dla mieszaniny oraz dla metanu).

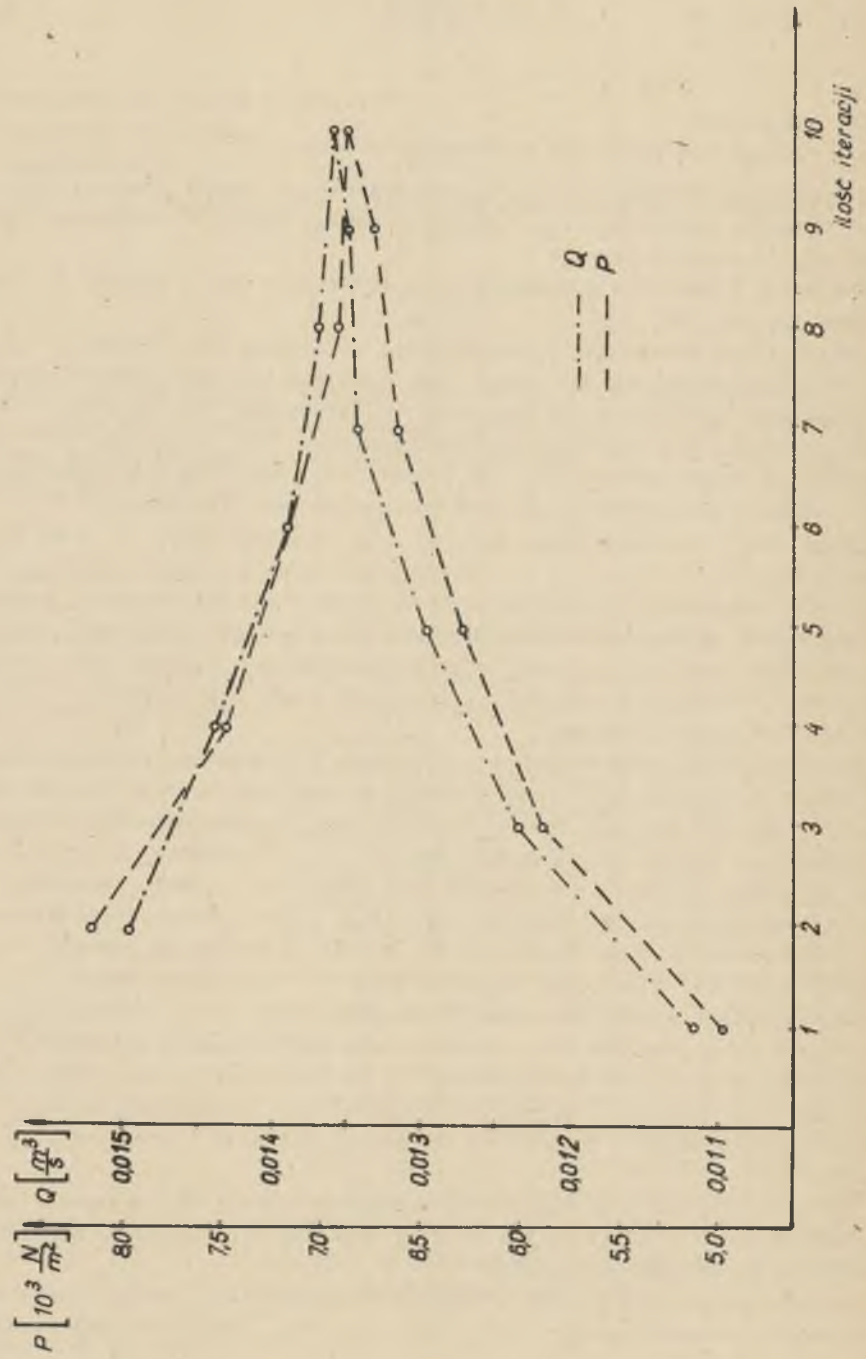
Przez QC_1 oznaczono sumę $Q_1 + Q_2 + Q_3$ a przez QMC_1 - sumę $QM_1 + QM_2 + QM_3$.

W celu znalezienia następnego punktu charakterystyki zbiorczej zakłada się zmienioną wartość podciśnienia na końcu rurociągu. Ponieważ podciśnienia w punktach 1, 2, 3 będą inne niż poprzednio, zmienią się również wielkości podciśnień w otworach, a tym samym zmienią się wydatki z poszczególnych wiązek otworów.

Wielkości podciśnień w otworach obliczamy iteracyjnie, ponieważ spadek ciśnienia na zasuwie jest proporcjonalny do kwadratu wydatku mieszaniny z otworów, ten zaś nie jest znany. Pierwszy krok w procesie iteracyjnym dla wiązki pierwszej, polega na obliczeniu wydatku Q_{11} z otworów przy założeniu, że spadek ciśnienia na zasuwie jest równy Δp_1, tzn. jest taki sam jak przy obliczeniach dotyczących pierwszego punktu charakterystyki zbiorczej. Następnie oblicza się wzorem (8) spadek ciśnienia na zasuwie, wstawiając w miejsce Q wartość Q_{11}. Wartość φ w tym wzorze wynosi φ_1. Z kolei zakładając spadek ciśnienia na zasuwie równy Δp_{11}, oblicza się nową wartość Q_{12}, aby dla niej obliczyć nową wartość spadku ciśnienia Δp_{12}. Proces ten powtarza się kilkakrotnie, aż do uzyskania w kolejnych iteracjach wartości Q_{1n} i $Q_{1(n+1)}$ bliskich sobie. Przykładowe wartości wydatku i podciśnienia w otworze dla kolejnych iteracji przedstawiono na rysunku 2.

Tak samo jak dla grupy pierwszej otworów postępuje się po uprzednim obliczeniu ciśnień w punktach 2 i 3, przy określaniu wielkości wydatku z otworów grupy drugiej i trzeciej.

Po obliczeniu podciśnienia w punkcie 4 uzyskuje się drugi punkt charakterystyk o współrzędnych (PP_2, QC_2) i (PP_2, QMC_2). Ta sama procedu-

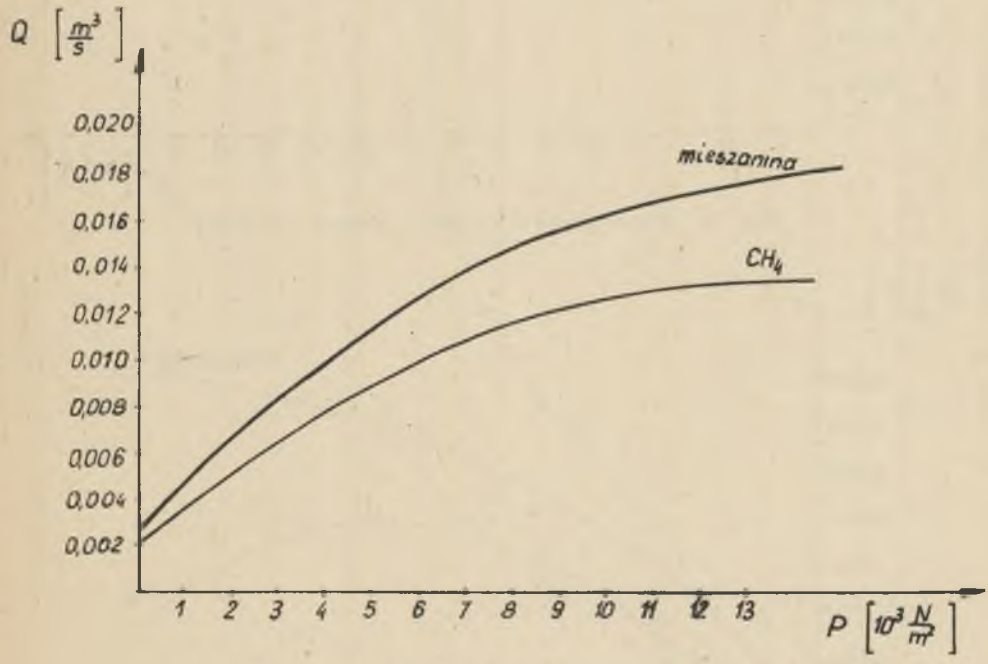


Rys. 2. Przykładowe wyniki kolejnych iteracji

ra pozwala na obliczanie współrzędnych dalszych punktów charakterystyk. Tak obliczone punkty charakterystyki zbiorczej aproksymuje się parabolą (4).

Obliczenia dotyczące aproksymacji funkcją (4) pomiarów zależności Q = = f(P) oraz QM = g(P) wykonanych w kopalniach, a także tworzenia charakterystyki zastępczej nawet przy niewielkiej ilości grup otworów są bardzo czasochłonne. W celu praktycznego wykorzystania metody zostały opracowane dwa programy dla maszyny cyfrowej o nazwach OLC1 i OSO2.

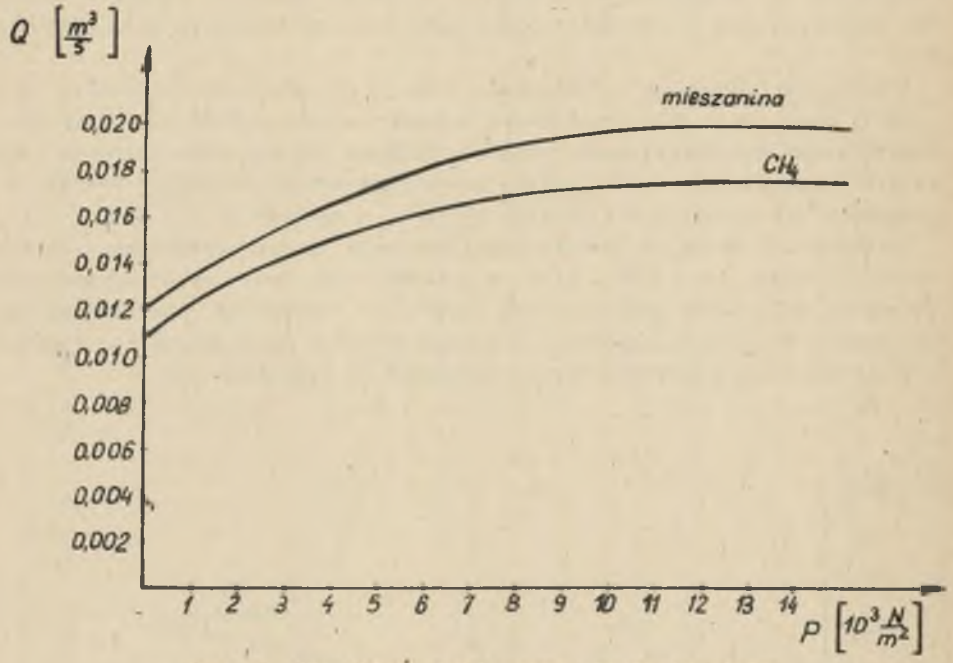
Program OLC1 służy do aproksymacji parabolą punktów pomiarowych zależności Q = f(P) oraz QM = g(P), a program OSO2 jest wykorzystywany do wykonania wszystkich obliczeń związanych z tworzeniem charakterystyki zbiorczej. Przykładowe obliczenia według programu OLC1 parametrów funkcji (4) wykonano dla zależności przedstawionych na rysunkach 3-5.



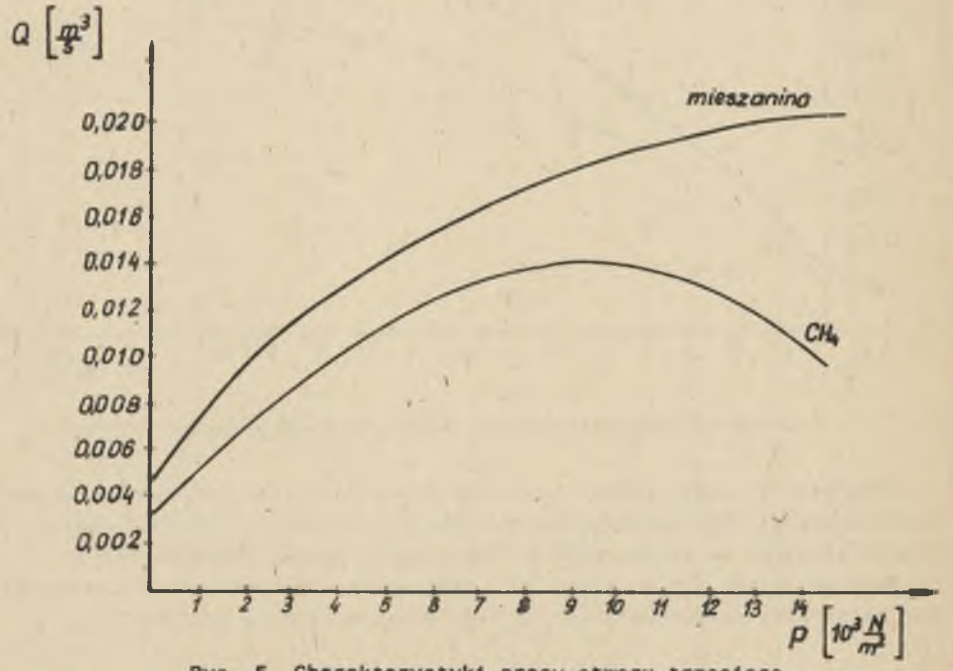
Rys. 3. Charakterystyki pracy otworu pierwszego

Ponieważ dla danej metody tworzenia charakterystyki zbiorczej nie jest istotny kształt charakterystyki otworów drenażowych, przyjęte do obliczeń charakterystyki są zależnościami fikcyjnymi, jednak prawdopodobnymi.

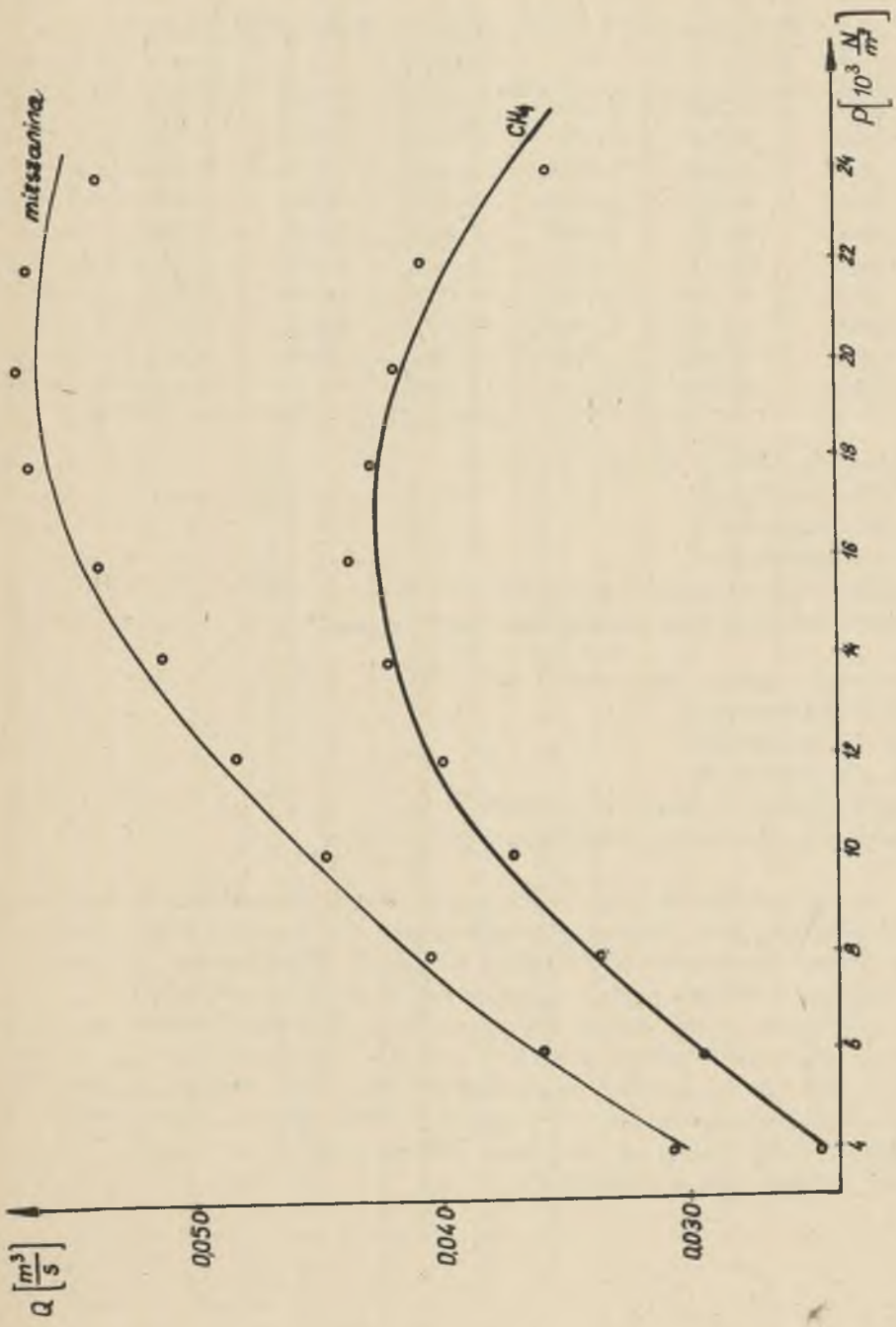
Dane wejściowe dla programu OLC1 oraz wyniki obliczeń przeprowadzonych dla zależności przedstawionych na rys. 3 umieszczono w tablicy 1.



Rys. 4. Charakterystyki pracy otworu drugiego



Rys. 5. Charakterystyki pracy otworu trzeciego



Rys. 6. Charakterystyka zbiorcza

Tablica 1

Dane wejściowe i wyniki obliczeń według programu OLC1

P	Q	QO	Q-QO	QM	QMO	QM-QMO
2000	0,0066	0,0065	0,0001	0,0050	0,0050	0,0000
3000	0,0082	0,0083	-0,0001	0,0063	0,0063	0,0000
4000	0,0098	0,0099	-0,0001	0,0075	0,0075	0,0000
6000	0,0126	0,0126	0,0000	0,0094	0,0096	-0,0002
7000	0,0137	0,0138	-0,0001	0,0103	0,0105	-0,0002
8000	0,0149	0,0148	0,0001	0,0114	0,0113	0,0001
9000	0,0157	0,0156	0,0001	0,0121	0,0120	0,0001
10000	0,0163	0,0163	0,0000	0,0127	0,0125	0,0002
11000	0,0168	0,0169	-0,0001	0,0130	0,0130	0,0000
12000	0,0173	0,0173	0,0000	0,0132	0,0134	-0,0002

Parametry funkcji $Q = AP^2 + BP + C$

A = -0,748087E-10

B = 0,212433E-05

C = 0,256286E-02

Współczynnik korelacji R = 0,9998

Resztkowe odchylenia standardowe ROS = 0,0001

Parametry funkcji $QM = AMP^2 + BMP + CM$

AM = -0,535364E-10

BM = 0,158682E-05

CM = 0,199307E-02

Współczynnik korelacji R = 0,09989

Resztkowe odchylenia standardowe ROS = 0,0001

Wyniki obliczeń według programu OLC1 stanowią część danych wejściowych dla programu OSO2. Całkowity zestaw danych dla programu OSO2, przygotowany według schematu przedstawionego na rys. 1, zamieszczono w tablicy 2, a tablica 3 zawiera wyniki obliczeń charakterystyki zbiorczej.

Graficzne przedstawienie charakterystyki zbiorczej stanowi rys. 6. Zaznaczone punkty obrazują dyskretny przebieg charakterystyk $Q = f(P)$ i $QM = g(P)$. Są to punkty o współrzędnych $(PP_1, QC_1), (PP_2, QC_2), \ldots, (PP_n, QC_n)$ dla mieszaniny gazów oraz (PP_1, QMC_1), $(PP_2, QMC_2), \ldots, (PP_n, QMC_n)$ dla metanu. Linie ciągłe są parabolami aproksymującymi te punkty. Parametry tych parabol podano w tablicy 3.

Tablica 2

Dane wejściowe do programu OSO2

Nr ot.	A	B	C	AM	BM	CM	P	λ	d	l
1	-0,748087E-10	0,212433E-05	0,256286E-02	-0,535364E-10	0,158682E-05	0,199307E-02	10000	0,025	0,2	50
2	-0,578206E-10	0,131552E-05	0,123863E-01	-0,487144E-10	0,108444E-05	0,115118E-01	9000	0,025	0,2	50
3	-0,642328E-10	0,189322E-05	0,619939E-02	-0,138390E-09	0,256085E-05	0,207091E-02	9500	0,025	0,2	50

Tablica 3

Wyniki obliczeń charakterystyki zbiorczej według programu OS02

P	Q	QO	Q-QO	QM	QMO	QM-QMO
4003,9	0,0309	0,0302	0,0007	0,0249	0,0247	0,0002
6005,5	0,0362	0,0361	0,0001	0,0298	0,0298	0,0000
8001,2	0,0409	0,0413	-0,0004	0,0339	0,0341	-0,0002
10008,9	0,0450	0,0456	-0,0006	0,0373	0,0375	-0,0002
12010,7	0,0486	0,0493	-0,0007	0,0400	0,0400	0,0000
14012,4	0,0516	0,0522	-0,0005	0,0422	0,0417	0,0005
16014,0	0,0543	0,0543	0,0000	0,0438	0,0424	0,0013
18016,7	0,0570	0,0556	0,0013	0,0381	0,0423	-0,0042
20016,6	0,0571	0,0562	0,0009	0,0437	0,0413	0,0024
22017,1	0,0568	0,0561	0,0007	0,0408	0,0395	0,0013
24015,9	0,0537	0,0552	-0,0015	0,0356	0,0368	-0,0011

Parametry funkcji $Q = AP^2 + BP + C$

$A = -0{,}941779 \cdot 10^{-10}$

$B = 0{,}388704 \cdot 10^{-5}$

$C = 0{,}161753 \cdot 10^{-1}$

Resztkowe odchyl. standardowe: 0,0008

Współczynnik korelacji: 0,9957

Parametry funkcji $QM = AM \cdot P^2 + BM \cdot P + CM$

$AM = -0{,}109204 \cdot 10^{-9}$

$BM = 0{,}366259 \cdot 10^{-5}$

$CM = 0{,}117782 \cdot 10^{-1}$

Resztkowe odchyl. standardowe: 0,0016

Współczynnik korelacji: 0,9586

UWAGI DO TABLIC

Tablica 1 zawiera następujące dane:

P - wartość podciśnienia na wylocie z otworów drenażowych, N/m^2,

Q, QM - odpowiednio wydatek mieszaniny gazów oraz metanu z rozpatrywanej grupy otworów, m^3/s,

P, Q, QM - są wartościami pomiarowymi,

QO, QMO - odpowiednio, obliczeniowe wartości wydatku mieszaniny oraz metanu. Zostały one obliczone dla danych P z funkcji $Q = f(P)$ i $QM = g(P)$, określonych wzorem (4).

Q-QO, QM-QMO - różnice pomiędzy wartościami pomiarowymi oraz obliczeniowymi wydatku mieszaniny gazów oraz metanu.

Wartości parametrów funkcji Q = f(P) oraz QM = g(P) są podane w używanym w FORTRANIE tzw. kodzie konwersji E. Liczbę stojącą przed literą E należy pomnożyć przez potęgę, której podstawą jest liczba 10, a wykładnik jest równy liczbie za literą E. W ten sam sposób zapisano parametry funkcji w tablicy 3 oraz dane wejściowe dla programu OSO2, dotyczące charakterystyk otworów drenażowych, przedstawione w tablicy 2.

Tablica 2 zawiera parametry A, B, C oraz AM, BM, CM funkcji opisujących charakterystyki otworów, a także:

P - podciśnienie w poszczególnych grupach otworów drenażowych przy wartości podciśnienia na końcu rurociągu PK = 16000 N/m^2,

λ - współczynnik oporu rozłożonego dla odcinków pomiędzy kolejnymi punktami obliczeniowymi według schematu rys. 1,

d - średnice poszczególnych odcinków rurociągu m,

l - odległości pomiędzy punktami obliczeniowymi m.

W tablicy 3 przedstawione punkty charakterystyki zbiorczej otworów i rurociągu, obliczone opisaną metodą, przy czym wartości P, Q, QM odpowiadają wartościom PP, QC, QMC, omawianym w tekście. Wartości QO i OMO są wielkościami obliczonymi wzorem (4), dla którego parametry są podane na końcu tablicy.

PODSUMOWANIE

Przedstawiona metoda tworzenia charakterystyki zbiorczej otworów drenażowych oraz rurociągu zbiorczego jest jednym z kroków na drodze opracowania praktycznej metody obliczeń sieci odmetanowania. Zastosowanie maszyny cyfrowej do aproksymacji zależności wydatku mieszaniny gazowej oraz metanu z otworów drenażowych od wielkości depresji, a także do obliczeń punktów charakterystyki zbiorczej skraca efektywny czas obliczeń do kilkudziesięciu sekund. Dalsze prace nad rozwinięciem przedstawionej metody powinny iść w kierunku określenia charakterystyki zbiorczej całej sieci odmetanowania, z uwzględnieniem odcinków pochyłych rurociągu, aby na tej podstawie określić punkt pracy ssawy. Pozwoli to w dalszej kolejności na określenie parametrów pracy poszczególnych gałęzi oraz otworów sieci odmetanowania, a także na optymalizację pracy sieci odmetanowania.

LITERATURA

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

[2] Z. Ciaś: Określenie optymalnej depresji w otworach drenażowych odmetanowania w kopalniach. Przegląd Górniczy, Nr 12, 1976.

[3] J.A. Cejtlin, J.J. Oksen, T.W. Popowa: Rasčet režima raboty degazacjonnych sistem ugolnych szacht s primienieniem ECWM. Gornaja elektromechanika i awtomatika, Wypusk 29, 1976.

[4] D. Hilgenstock: Vereinfachte Berechnung von Methanleitungen im Untertagebetrieb. Glückauf - Forschungshefte, Nr 36, 1975.

[5] L. Łunarzewski: Warunki optymalnego odmetanowania pokładów węgla w zależności od systemu ich eksploatacji. Praca doktorska, AGH, Kraków 1976.

[6] K. Paul: Verringerung des Gasinhalts im Bauflöz durch Gasabsaugung mit flozgengingen Bohrlöchern. Glückauf, Nr 20, 1976.

[7] J. Pawiński, J. Roszkowski, J. Strzemiński: Przewietrzanie kopalń. Wydawnictwo Śląsk, 1979.

[8] A.W. Sadčikow: Izmienienie debita gaza pri razlicznych režimach raboty degazacjonnych skważin proburenych po ugolnom płastu. Izwiestia WUZ Gornyj Żurnał, Nr 9, 1975.

[9] Praca zbiorowa: Beherrschung der Ausgasung. Steinkohlenbergbauverein. Essen, 1974.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Hubert Myszor

Wpłynęło do Redakcji 23.09.1981 r.

ОБРАЗОВАНИЕ СБОРОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕНАЖНЫХ ОТВЕРСТИЙ И НЕРАЗВЕТВЛЕННОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ РУДНИЧНОГО ГАЗА

Р е з ю м е

В работе, на основании литературы, представлены взгляды на тему характеристик работы дренажных отверстий и формулы для расчета течения газа в трубопроводах учитывая распределенные и местные сопротивления. Был предложен метод образования сборочных характеристик дренажных отверстий и сборочного трубопровода для сети удаления метана, а кроме того были представлены примерные результаты расчетов сводной характеристики, проведенных с использованием вычислительной машины.

ESTABLISHING COLLECTIVE CHARACTERISTICS OF DRAIN HOLES AND A NON-BRANCHED, HORIZONTAL DEMETHANIZING PIPELINE

S u m m a r y

Basing on the literature, the paper presents views on the characteristics of drain holes operation, as well as the formulas for calculating the flow of gas in pipelines, taking the distributed and local resistance into consideration. The method of establishing collective characteristics for drain holes and a non-branched, horizontal demethanizing pipelane has been put forward, and the exemplary results of calculations of a collective characteristics, carried out by a computer has been presented.