

Ireneusz GRZYBEK

Wyższy Urząd Górniczy, Katowice

NOWA PROCEDURA OBLICZEŃ METANONOŚNOŚCI RESZTKOWEJ WĘGLA METODĄ ANALITYCZNA W ŚWIEŁLE WYNIKÓW BADAŃ W CENTRALNEJ CZĘŚCI ZAGŁĘBIA GÓRNOŚLĄSKIEGO

Streszczenie. Metody bezpośredniego pomiaru metanonośności resztkowej na ogół nie są stosowane w polskiej praktyce, więc metanonośność ta podlega tylko szacowaniu pośredniemu, z użyciem tzw. "metody analitycznej". Opiera się ona na wysokiej korelacji pomiędzy metanonośnością całkowitą (G) i wskaźnikiem desorpcji (ΔP_2) i do oceny metanonośności resztkowej (G_r) wykorzystuje równania regresji w postaci: $G = a_0 + a_1 \Delta P_2$, gdzie: a_0 i a_1 są współczynnikami równania regresji, a $a_0 = G_r$. Jednak do chwili obecnej wyniki tego typu obliczeń nie były satysfakcjonujące z uwagi na nieuwzględnianie w nich stopnia metamorfizmu węgla. Obliczenia autora wykonane dla węgli z centralnej części GZW wykazują, że dla węgli charakteryzujących się zawartością części lotnych (V^{daf}) wyższą od 28 % metanonośność resztkowa jest silnie zależna od V^{daf} (współczynnik korelacji $r = -0,95$). Zależność tę można wyrazić równaniem regresji: $G_r = 6,51 - 0,17V^{daf}$. Z drugiej strony, poniżej 28% zawartości części lotnych, aż do 14 %, metanonośność resztkowa nie wykazuje żadnej zależności, a wyniki jej obliczeń oscylują wokół wartości średniej $2,345 \text{ m}^3/\text{Mg}$. Na tej podstawie w pracy zaproponowano nową procedurę wykorzystywania metody analitycznej.

ANALYTICAL METHOD OF RESIDUAL METHANE CONTENT DETERMINATION. THE NEW PROCEDURE BASED ON INVESTIGATIONS FROM THE CENTRAL PART OF THE UPPER SILESIA COAL BASIN, POLAND

Summary. Direct methods of residual methane content testing are not common in Polish praxis. So, the content is only assessed by indirect method, called 'analytical'. It is based on high correlation between total methane content (G) and desorption ratio (ΔP_2), and to assess the residual methane content (G_r) it uses regression equation in the form: $G = a_0 + a_1 \Delta P_2$; where a_0 and a_1 are the equation coefficients; and $a_0 = G_r$. But to date results of such a calculations have not been satisfactory, because a rank of coal has not been taken into account. Calculations by author, made for coals from central part of the Upper Silesian Coal Basin (Poland) show, that for hard coals, characterized by volatile matter content (V^{daf}) higher than 28 %, the residual methane content is strongly depen-

dent on V^{daf} (correlation coefficient $r = -0.95$). The dependence can be expressed by regression equation: $G_r = 651 - 0.17V^{daf}$. On the other hand, below 28 % of volatile matter content, down to 14 %, the residual methane content does not show any dependence ($r = -0.21$), and different calculations of it oscillate the average value of $2.345 \text{ m}^3/\text{Mg}$. On this basis, a new procedure of analytical method use has been proposed.

1. Wprowadzenie

Jednym z naturalnych procesów fizyki atmosfery ziemskiej jest pochłanianie i zatrzymywanie własnego i odbitego promieniowania cieplnego Ziemi przez niektóre z gazów atmosferycznych. Spowodowany aktywnością człowieka wzrost ich koncentracji, jaki obserwuje się w ostatnich dwustu latach [15], prowadzi jednak do zaburzenia tego procesu i nadmiernego zatrzymywania energii cieplnej w atmosferze, określanego powszechnie mianem "efektu cieplarnianego". Efekt ten należy niewątpliwie do globalnych problemów ochrony środowiska Ziemi. Wśród wywołujących go gazów drugie co do ważności miejsce zajmuje metan, odpowiedzialny za 17-18% globalnego efektu cieplarnianego [1, 22]. Choć emisja metanu ma miejsce także ze źródeł naturalnych, takich jak np. bagienny rozkład materii organicznej, to jednak w dwóch trzecich pochodzi ze źródeł antropogenicznych [1, 22, 28]. Jednym z poważniejszych, trzecim z kolei źródłem jego emisji antropogenicznej jest górnictwo węgla kamiennego. Wyniki najnowszych badań wskazują, że uwalnia się on tak w trakcie eksploatacji węgla, jak i podczas tzw. procesów powydobywczych, obejmujących przeróbkę, składowanie i transport węgla [24, 27, 28]. Wydziela się także ze zwalów (hałd) odpadów pogórnich [8, 14]. Wymienione procesy, a także odmetanowanie złóż węgla, w trakcie których dochodzi do emisji metanu, w literaturze z zakresu ochrony środowiska nazywane są emitorami.

Górnictwo węgla jest jednocześnie źródłem emisji metanu, którego niekorzystny wkład w efekt cieplarniany można stosunkowo prosto ograniczyć. Racjonalne ukierunkowanie podejmowanych w tym celu działań wymaga jednak znajomości wielkości emisji z poszczególnych jego emitorów. Dla oceny ich znaczenia niezbędna jest znajomość szeregu parametrów geologicznych i górniczych (por. [28]). Należy do nich m.in. tzw. "metanonośność resztkowa" [8, 14], definiowana jako objętość metanu przypadająca na jednostkę masy czystej substancji węglowej, która pozostaje w poddanej swobodnej degazacji, rozkruszonej próbce węgla w chwili zmiany charakteru jej odgazowania z dynamicznego na dyfuzyjny [13]. Metanonośność resztkowa jest ponadto jednym z podstawowych parametrów geologiczno-gazowych, wyko-

rzystywanych w obliczeniach zasobów metanu pokładów węgla (vide: [32]). Polskie metody badawcze nie uwzględniają jednak bezpośredniego jej pomiaru. Dlatego do jej wyznaczania stosuje się powszechnie metodę pośrednią, nazywaną "metodą analityczną" [13]. Artykuł przedstawia podstawowe założenia tej metody i w oparciu o najnowsze wyniki badań autora prezentuje propozycję nowej procedury obliczeń metanonośności resztkowej, umożliwiającą - jak się wydaje - eliminację wielu z dotychczas stwierdzonych wad metody analitycznej.

2. Podstawowe założenia metody analitycznej

W trakcie rozpoznawania i eksploatacji złóż w Polsce najczęściej bada się jedynie dwa ściśle gazowe parametry węgla: metanonośność i intensywność desorpcji gazu. Inne parametry mierzy się stosunkowo rzadko i niemal wyłącznie do celów badań podstawowych. Metanonośność definiuje całkowitą objętość metanu, a czasem sumy węglowodorów szeregu C_nH_{2n+2} (dla $n = 1-4$), jaką w warunkach złożowych zawiera jednostka czystej substancji węglowej (dalej: "csw"). Intensywność desorpcji, wyrażana bądź - dawniej - tzw. desorpcją właściwą V_{2p} , bądź - obecnie - wskaźnikiem desorpcji ΔP_2 , określa natomiast ilość gazu, jaka uwalnia się z próbki węgla o określonej masie csw w stałym czasie, liczonym od momentu zakończenia jej pobierania. Przedstawia się ją bądź wprost - w jednostkach objętości (V_{2p}), bądź pośrednio - w jednostkach nadciśnienia, ekwiwalentnego do uwolnionej objętości (ΔP_2). Metodykę pomiaru wymienionych parametrów przedstawiono szczegółowo w wielu opracowaniach (np.: [3, 4, 6, 9, 11, 18, 19, 29]), wobec czego jej opis można tu pominąć. Warto jednak przypomnieć, że zazwyczaj równocześnie z pomiarem metanonośności pobranej próbki węgla (G) mierzy się także jej intensywność desorpcji. Uzyskane w ten sposób pary pomiarów (V_{2p} , G) lub (ΔP_2 , G) wykorzystuje się w metodzie analitycznej. Ponadto należy zauważyć, że wielkości desorpcji właściwej V_{2p} i wskaźnika desorpcji ΔP_2 , mimo niedokładności pomiarów ΔP_2 (vide: [25, 26]), są w wysokim stopniu wzajemnie skorelowane [4, 25]. W związku z tym dalszy wywód można ograniczyć tylko do jednej z nich, zachowując w pamięci, że poza niuansami wnioski będą prawdziwe również w stosunku do drugiej.

Wartości omówionych parametrów gazowych węgla zależą od wielu czynników, wśród których podstawowe znaczenie (z punktu widzenia tej pracy) ma ciśnienie porowe węgla. Jego wysokość wyznacza bowiem górną granicę nasycenia węgla metanem, opisaną tzw. "izotermą sorpcji" [31] (a więc w praktyce metanonośność), a także początkowe ciśnienie desorpcji,

od którego m.in. zależy intensywność desorpcji gazu z węgla [3, 5, 6, 25]. Definiując zatem wartości metanonośności i wskaźnika desorpcji jako funkcje ciśnienia porowego (p):

$$G = f(p) \quad (1)$$

$$\Delta P_2 = g(p) \quad (2)$$

uzasadnione wydaje się przyjęcie założenia J. Borowskiego i innych [3, 5, 6], że metanonośność danego węgla powinna być proporcjonalna do zmierzonej w nim intensywności desorpcji. W odniesieniu do układu fizycznego węgiel-metan założenie takie nie jest w pełni ścisłe, przede wszystkim z uwagi na obserwowany, różny przebieg sorpcji i desorpcji metanu (rys. 1), wynikający najprawdopodobniej z przyczyn kinetycznych [20, 21], oraz badanie metanonośności wyłącznie w odniesieniu do metanu, przy równoczesnych pomiarach intensywności desorpcji nie metanu, lecz mieszanin gazowych faktycznie zawartych w złożach (ich skład silnie wpływa na przebieg desorpcji - vide: [10]). Ponadto istotne znaczenie mają tu wspomniane niedokładności pomiarów wskaźnika desorpcji, zróżnicowane temperatury takich pomiarów oraz - w przypadku prób węgla z powierzchniowych otworów wiertniczych - zróżnicowany czas niekontrolowanej desorpcji gazu z próby, poprzedzającej jej umieszczenie w instrumencie pomiarowym (desorbometrze). Powyższe, a także inne przyczyny sprawiają, że omawianej proporcjonalności nie można wyrazić funkcyjnie, lecz jedynie w formie równania regresji, najczęściej w postaci:

$$G = a_0 + a_1 \Delta P_2 \quad (3)$$

gdzie: G - metanonośność, [m^3/Mg],

ΔP_2 - wskaźnik desorpcji, [$\text{mm H}_2\text{O}$],

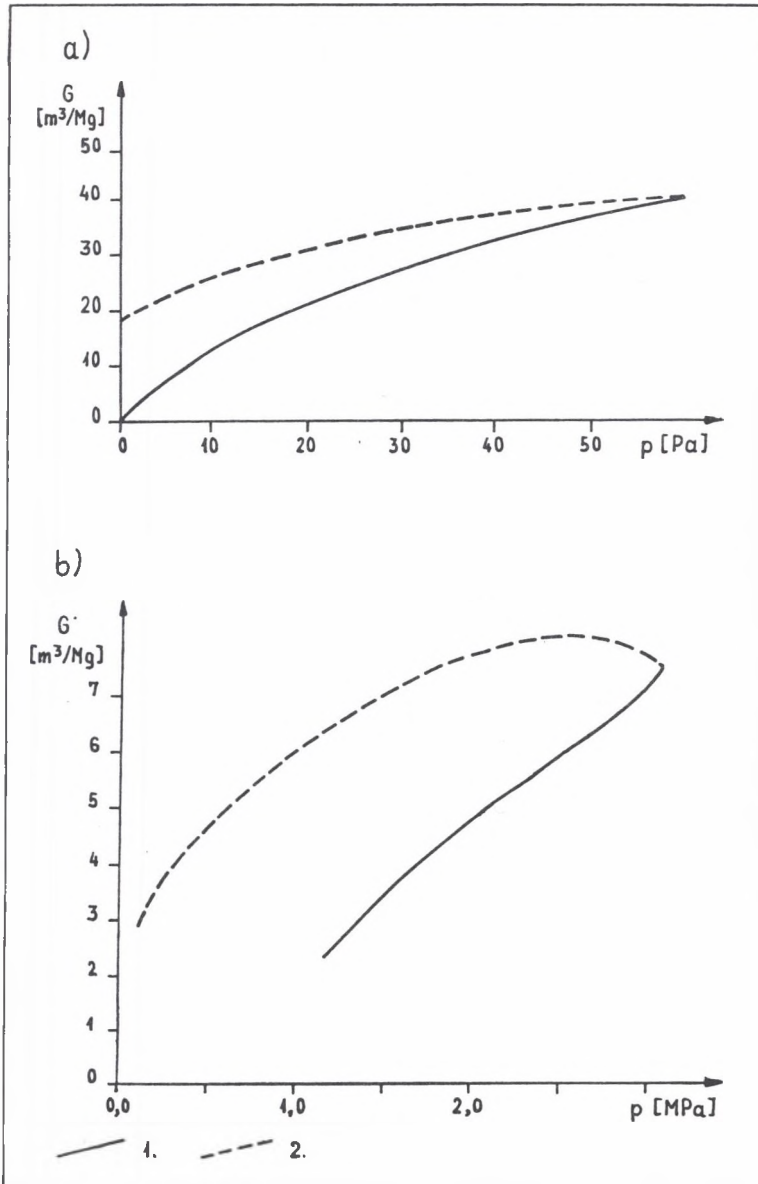
a_0, a_1 - niemianowane współczynniki równania regresji, wyznaczone metodą najmniejszych kwadratów (vide: [2]).

Z metodyki pomiaru intensywności desorpcji wynika, że zerowej wartości wskaźnika ΔP_2 , charakteryzującej brak desorpcji gazu z węgla, odpowiada ciśnienie porowe co najwyżej równe ciśnieniu atmosferycznemu. W takim przypadku także zmierzona równocześnie metanonośność jest na ogół typowa nie dla ciśnienia porowego równego ciśnieniu atmosferycznemu, lecz dla jego nieznannej wartości p_x , spełniającej nierówność:

$$0 \leq p_x \leq p_{atm} \quad (4)$$

gdzie: p_{atm} - ciśnienie atmosferyczne (zazwyczaj $p_{atm} = 0,098-0,101$ MPa).

Jest więc oczywiste, że par ($\Delta P_2, G$) z zerową wartością wskaźnika desorpcji nie można wykorzystywać w badaniach ich korelacji i regresji.



Rys. 1. Przykłady odmiennego przebiegu sorpcji (1) i desorpcji (2) metanu z węgla zagłębi węgierskich: a - wg [23], b - wg [20]
 Fig. 1. Examples of various progress of methane sorption (1) and desorption (2) from Hungary basins coals: a - acc. to [23], b - acc. to [20]

Analizując z kolei przebieg desorpcji metanu z dowolnej próbki węgla, można zauważyć, że w jej trakcie ciśnienie porowe w próbce dąży do zrównania z ciśnieniem atmosferycznym ($p \rightarrow p_{atm}$), a intensywność desorpcji maleje ($\Delta P_2 \rightarrow 0$). Tym samym w chwili zaniku desorpcji metanu równanie (3) przyjmuje postać:

$$G = a_0 \quad (5)$$

a dalsze wydzielanie metanu z próbki może mieć wyłącznie dyfuzyjny charakter [5]. Wobec tego wyrażona równaniem (5) wartość metanonośności odpowiada zdefiniowanej we wprowadzeniu metanonośności resztkowej (G_r). Można więc przyjąć, że bez względu na wartości początkowe G i ΔP_2 w równaniu (3) obliczone wartości współczynnika a_0 równań regresji, wyrażone w $[m^3/Mg]$, reprezentują średnie metanonośności resztkowe badanych populacji próbek węgla:

$$(\Delta P_2, G) \wedge p > p_{atm} \quad p \rightarrow p_{atm} \Rightarrow \Delta P_2 \rightarrow 0 \wedge G \rightarrow G_r = a_0 \quad (6)$$

Założenie to stanowi istotę metody analitycznej.

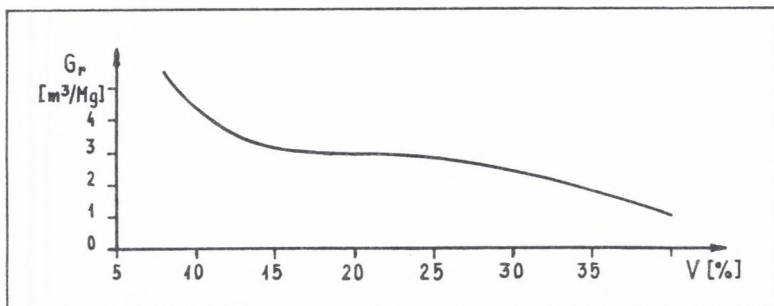
Liczne z dotychczasowych badań statystycznych zbiorów par (V_{2p}, G) lub ($\Delta P_2, G$) wykazały ich ścisłą korelację, wyrażoną wartościami współczynnika korelacji (r) w granicach 0,805-0,976 [3, 5, 6]. Tym niemniej w niektórych przypadkach obliczenia prowadziły do znacznie gorszych wyników ($r = 0,58-0,887$ [16, 17]), w tym szczególnie dla danych z powierzchniowych otworów wiertniczych ($r = 0,488-0,592$ [13]). Nie przeczy to jednak przyjętym założeniom, wskazując tylko, że czasami proporcjonalność metanonośności i intensywności desorpcji zaburzają inne czynniki. Biorąc pod uwagę definicję metanonośności resztkowej podaną przez J. Tarnowskiego i A. Struzika [30]:

$$G_r = f(V, p = 0,101 \text{ MPa}) \quad (7)$$

gdzie: V - zawartość części lotnych, [%],

a także wykres J. Borowskiego [3] przedstawiony na rysunku 2, można przypuszczać, że jednym z tych czynników jest zróżnicowanie stopnia metamorfizmu węgla w populacjach próbek poddanych badaniom w cytowanych pracach. Już zgrubna analiza sposobu ich przeprowadzenia ukazuje, że wyższe współczynniki otrzymano pracując na populacjach próbek pobranych specjalnie do badań z aktualnie czynnych wyrobisk kopalnianych, rozmieszczonych w stosunkowo wąskich interwałach głębokości. Niższe współczynniki korelacji charakteryzują natomiast obliczenia wykonane na zbiorach danych kopalnianych z wielu lat, a więc uzyskanych z bardziej zróżnicowanych głębokości, a najniższe na populacjach próbek pobranych z bardzo szerokich interwałów głębokościowych otworów wiertniczych. Ponieważ ze wzrostem głębo-

kości zalegania węgla w Zagłębiu Górnosląskim wiąże się wzrost jego uwęglenia [19], to spadek korelacji par $(\Delta P_2, G)$ i (V_{2p}, G) w miarę poszerzania interwałów głębokości potwierdza wyrażone wyżej przypuszczenie. W podobny sposób można wyjaśnić także różne wartości metanonośności resztkowych, uzyskane dla tych samych złóż, lecz w oparciu o dane z różnych okresów czasu (tab. 1).



Rys. 2. Zależność metanonośności resztkowej (G_r) od zawartości części lotnych (V) w węglu, wg [3]
Fig. 2. Relation between residual methane content (G_r) and volatile matter content (V) of coal, acc. to: [3]

Tabela 1

Porównanie wartości metanonośności resztkowych uzyskanych dla tych samych złóż w oparciu o pomiary metanonośności i wskaźnika desorpcji, wykonane w latach 1977—1985 (wg [16])
i w latach 1981—1991 (wg [17])

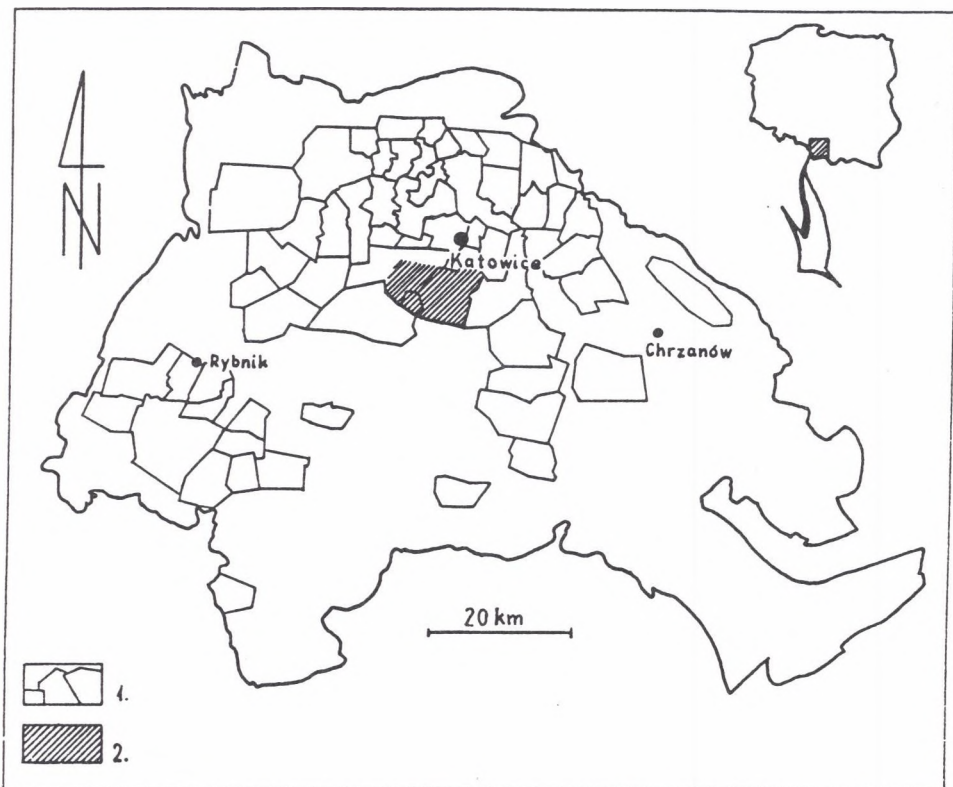
Nazwa złoża	Metanonośność resztkowa w $[m^3/Mg]$ wg	
	[16]	[17]
KWK „Anna”	1,26	2,050
KWK „Borynia”	1,74	0,748
KWK „Jastrzębie”	2,56	2,299
KWK „Pniówek”	1,58	1,510

3. Procedura i wyniki przeprowadzonych badań

Przedstawiony w poprzednim rozdziale znaczny rozrzut współczynników korelacji i często niskie ich wartości, a także różnice pomiędzy wartościami metanonośności resztkowych, wyznaczonymi dla sąsiednich, a nawet dla tych samych złóż węgla, lecz na podstawie innych zbiorów danych, dały asumpt do kwestionowania wiarygodności wyników uzyskiwanych metodą analityczną (J. Daniel, B. Niemczyk, Z. Pękała - w dyskusjach). Jak jednak już wstępnie

wykazano, wymienione wady metody wynikały najprawdopodobniej z mechanicznego jej stosowania - bez uwzględnienia wpływu zmienności cech petrograficznych węgla na jego własności desorpcyjne.

Dla sprawdzenia powyższego przypuszczenia przeprowadzono metodą analityczną badania zależności metanonośności reszkowej od stopnia metamorfizmu węgla. Oparto je na wynikach pomiarów wskaźników desorpcji i metanonośności wykonanych przez laboratorium Katowickiego Przedsiębiorstwa Geologicznego dla populacji 335 próbek węgla, pobranych z 31 powierzchniowych otworów wiertniczych, rozmieszczonych w miarę równomiernie w przestrzeni złóż centralnej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (rys.3). Próbki te charakteryzowały się zróżnicowanym stopniem metamorfizmu, wyrażonym zawartością części lotnych w stanie suchym i bezpopiołowym (V^{daf}) w granicach od 14 do 40 procent. Dlatego



Rys. 3. Uproszczona mapa Zagłębia Górnośląskiego z lokalizacją obszaru badań: 1 - granice czynnych kopalń wg [19], uaktualnione, 2 - obszar badań

Fig. 3. Simplified map of the Upper Silesian Coal Basin, Poland showing location of the lized: 1 - boundaries of active coal mines acc. to [19], actualized; 2 - area of investigations

uzyskane dla nich pary pomiarów $(\Delta P_2, G)$ przyporządkowano podzbiорom całego zbioru par, odpowiadającym subpopulacjom próbek o zbliżonej zawartości części lotnych. Subpopulacje, a zatem i podzbiory definiowały wzajemnie przylegające i rozłączne przedziały wartości V^{daf} o szerokości 4 procent (np. 14-18, 18-22 % itd.). Następnie dla każdego z podzbiорów odrębnie - po uprzednim sporządzeniu wykresów rozrzutu (rys. 4) - obliczono współczynnik korelacji i średnią metanonośność resztkową. Dodatkowo dla każdej z subpopulacji próbek wyznaczono średnią zawartość części lotnych, kierując się założeniem, że jest ona zmienną losową i może się różnić od wartości centralnej danego przedziału V^{daf} . W celu zniwelowania ewentualnego wpływu wyboru skrajnych wartości przedziałów V^{daf} na otrzymane wyniki obliczenia wykonano w dwóch seriach, w drugiej z nich redefiniując podzbiory par $(\Delta P_2, G)$ poprzez konsekwentną zmianę wartości skrajnych przedziałów V^{daf} o 2 % (a więc odpowiednio: 16-20, 20-24 % itd.).

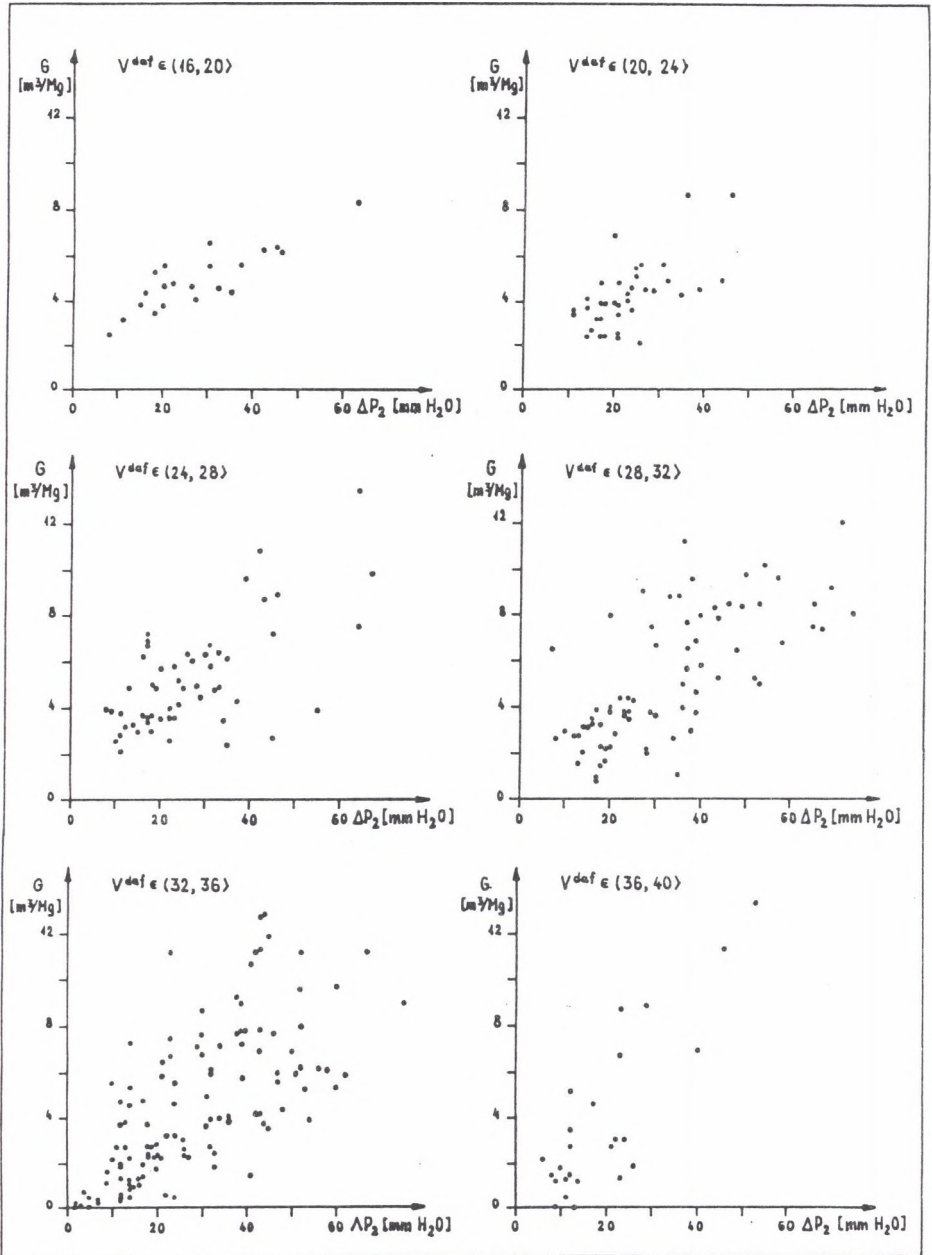
Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2. i na rysunku 5. Wskazują one na odmienne kształtowanie się metanonośności resztkowej w różnych zakresach zawartości części lotnych. Potwierdza to wyrażone powyżej przypuszczenia oraz wnioski i założenia z wcześniejszych prac J. Borowskiego [3] oraz J. Tarnowskiego i A. Struzika [30]. Wątpliwości budzi jedynie ujemna metanonośność resztkowa wyznaczona dla przedziału:

$$V^{daf} \in (36,40) \quad (8)$$

Ten pozbawiony (?) sensu fizycznego wynik łatwo jednak wytłumaczyć dużym udziałem objętościowym azotu w składzie mieszaniny gazowej zawartej w próbkach odpowiadającej przedziałowi subpopulacji (do 97,3 %), zniekształcającym pomiary wskaźnika desorpcji (por. [12]). Z tego względu wyniku tego nie brano pod uwagę w dalszych rozważaniach.

Obliczone średnie wartości metanonośności resztkowych i zawartości części lotnych można traktować jak zmienne losowe. Tym samym przedstawiony na rysunku 5. wykres jest wykresem ich rozrzutu. Jego analiza ujawnia, że w zakresie węgla słabo zmetamorfizowanych ($V^{daf} \geq 28\%$) istnieje wyraźna zależność metanonośności resztkowej i zawartości części lotnych. Przy współczynniku korelacji $r = -0,95$, istotnym na poziomie ufności pomiędzy 0,01 a 0,02, można ją wyrazić równaniem regresji:

$$G_r = 6,51 - 0,17 \overline{V^{daf}} \quad (9)$$



Rys. 4. Wykresy rozrzutu metanonośności (G) i wskaźnika desorpcji (ΔP_2) w przedziałach zawartości części lotnych (V^{daf}) drugiej serii obliczeń metanonośności resztkowej, na podstawie złóż centralnej części Zagłębia Górnosląskiego (rys. 3)

Fig. 4. Graphs of relation between total methane content (G) and desorption ratio (ΔP_2) within subpopulations of similar volatile matter content (V^{daf}) for the second series of calculations, on the basis of deposits of the central part of the Upper Silesian Coal Basin (fig. 3)

Tabela 2

Wyniki obliczeń metanoności reszkowych (G_{ri}) w przedziałach zawartości części lotnych (V^{daf}), przeprowadzonych na podstawie otworowych pomiarów metanoności i wskaźnika desorpcji w złożach centralnej części Zagłębia Górnosląskiego (rys. 3)

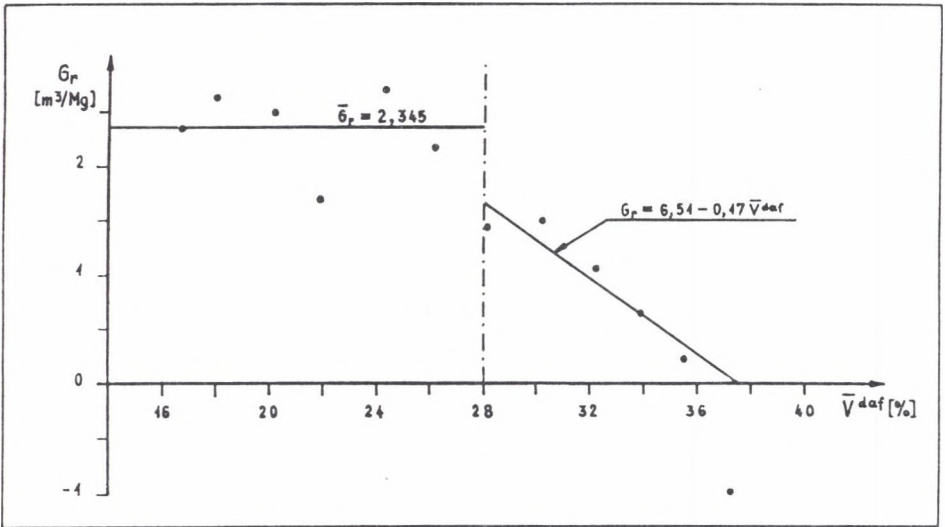
V^{daf} [%]	n	r	G_{ri} [m ³ /Mg]	$\overline{V^{daf}}$ [%]
I seria obliczeń				
14,01—18,00	10	0,962	2,362	16,74
18,01—22,00	30	0,649	2,488	20,16
22,01—26,00	44	0,474	2,705	24,30
26,01—30,00	63	0,752	1,440	28,12
30,01—34,00	110	0,691	1,046	32,22
34,01—38,00	72	0,686	0,239	35,55
38,01—42,00	2	-	-	-
II seria obliczeń				
12,01—16,00	1	-	-	-
16,01—20,00	21	0,846	2,656	18,01
20,01—24,00	38	0,621	1,693	21,87
24,01—28,00	57	0,696	2,171	26,16
28,01—32,00	75	0,717	1,515	30,17
32,01—36,00	118	0,680	0,649	33,89
36,01—40,00	25	0,835	-0,976	37,23

Uwaga: n - liczebność próby, r - współczynnik korelacji, $\overline{V^{daf}}$ - średnia zawartość części lotnych w próbach danego przedziału V^{daf} .

Natomiast w węglach silniej zmetamorfizowanych ($14\% \leq V^{daf} \leq 28\%$) zależność taka nie występuje ($r = -0,21$), a obliczone dla poszczególnych podzbiorów metanoności reszkowe (G_{ri}) oscylują wokół ich średniej (\overline{G}_n), ważonej liczebnością par (ΔP_2 , G) w podziorach, i równej:

$$\overline{G}_n = 2,345 \text{ [m}^3\text{/Mg]} \quad (10)$$

przy współczynniku zmienności 0,16.



Rys. 5. Wykres zależności metanoności reszkowej (G_r) od średniej zawartości części lotnych (\bar{V}^{daf}) w przedziałach V^{daf} wykorzystanych do obliczeń I i II serii (tab. 2); \bar{G}_r - średnia metanoność reszkowa dla węgla o $V^{daf} \leq 28\%$

Fig. 5. Graphs of relation between residual methane content (G_r) and the average value of volatile matter content (\bar{V}^{daf}) used for the first and second series of calculations (Tab. 2); \bar{G}_r - average residual methane content for the coals of $V^{daf} \leq 28\%$

4. Dyskusja wyników i wnioski - nowa procedura szacowania metanoności reszkowej metodą analityczną

Przedstawione powyżej wyniki obliczeń, mimo że uzyskane dla ograniczonego obszaru, wydają się wiarygodne. Wskazuje na to otrzymana wartość graniczna $V^{daf} = 28\%$, przy której stwierdzono diametralną zmianę własności desorpcyjnych węgla. Wartość ta odpowiada tzw. "właściwemu skokowi uwęglania", przy przekroczeniu którego w procesie metamorfizmu zmienia się skokowo także wiele innych własności węgla (por. [7]). Za ich poprawnością przemawia też podobieństwo (w badanym zakresie V^{daf}) wynikowego przebiegu zależności metanoności reszkowej od uwęglania węgla (rys. 5) do przebiegu takiej zależności, opracowanego na podstawie danych z wielu złóż Zagłębi Górno- i Dolnośląskiego przez J. Borowskiego (rys. 2). Wobec tego należy jednoznacznie stwierdzić, że dalsze stosowanie metody analitycznej znajduje uzasadnienie tylko w odniesieniu do węgla o zbliżonym stopniu

metamorfizmu. Tym samym w przypadkach, gdy niezbędne jest posługiwanie się uśrednioną dla danego złoża lub rejonu wartością metanonośności resztkowej (a więc w obliczeniach z zakresu ochrony środowiska i szacowania zasobów), konieczne jest zastosowanie procedury odmiennej od dotychczasowej. Nowa, proponowana procedura powinna polegać na:

- 1) podziale danych gazowych złoża lub rejonu na podzbiory i (gdzie: $i = 1, 2, \dots, n$) odpowiadające populacjom próbek węgla o zbliżonej zawartości części lotnych, w tym co najmniej jednej o $V^{daf} \leq 28 \%$,
- 2) wykonaniu obliczeń metanonośności resztkowych (G_r) w wyznaczonych podzbiórach,
- 3) wyznaczeniu średniej metanonośności resztkowej złoża lub rejonu (\bar{G}_r) jako średniej ważonej z wartości G_r , z wykorzystaniem jako wagi stosunku masy węgla określonych populacji $V^{daf}(M_i)$ do całkowitej masy węgla w badanym złożu lub rejonie (M):

$$\bar{G}_r = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^n M_i G_r \quad (11)$$

Równocześnie porównywalność otrzymanych wyników z innymi upoważnia do wyrażenia przypuszczenia, że wykonanie większej ilości obliczeń w przedstawiony w pracy sposób pozwoliłoby wyznaczyć stałe wartości metanonośności resztkowych, odpowiadające poszczególnym stopniom metamorfizmu węgla. Tym samym w przyszłości można by ograniczyć przedstawioną procedurę tylko do etapu omówionego powyżej w punkcie 3.

Na zakończenie warto zwrócić uwagę na jeszcze jeden aspekt przedstawionych rezultatów badań. Założenia stanowiące podstawę metody analitycznej legły bowiem także u podstaw tzw. "desorbometrycznej, uproszczonej metody określania metanonośności pokładów węgla" (vide np.: [3]). Brak powtarzalności i porównywalności uzyskiwanych za jej pomocą wyników z wynikami bezpośrednich pomiarów metanonośności przyczynił się do powszechnej, choć dość oględnej krytyki metody desorbometrycznej (np.: [5, 16]). Wydaje się jednak, że jej braki wynikają przede wszystkim z nieuwzględnienia w założeniach zróżnicowania własności desorpcyjnych węgli, zależnego od stopnia jego metamorfizmu. Wobec tego zmiana tych założeń i zastosowanie procedury zbliżonej do zaproponowanej powyżej w odniesieniu do obliczeń metanonośności resztkowej powinny się przyczynić do przynajmniej częściowego wyeliminowania wspomnianych wad metody desorbometrycznej.

LITERATURA

1. Adler M.J. (red.): International Anthropogenic Methane Emissions: Estimates for 1990, US EPA Report 230-R-93-010, 1994.
2. Benjamin J.R., Cornell C.A.: Rachunek prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna i teoria decyzji dla inżynierów, Wyd. 1, WNT, Warszawa 1977.
3. Borowski J.: Nowe metody określania metanonośności pokładów węglowych, Przegl. Górn., 10, s. 399-406, 1975.
4. Borowski J.: Określanie ciśnienia gazu w pokładach węgla, Przegl. Górn., 9, s. 378-384, 1976.
5. Borowski J., Gawraczyński Z.: Zwiększenie dokładności określeń metanonośności pokładów węgla metodą desorbometryczną. Mat. konf.: Metody rozpoznawania zagrożeń metanowych w kopalniach węgla kamiennego, Katowice, czerwiec 1986 r., s. 163-177, Katowickie Gwarectwo Węglowe-SITG ZO w Katowicach, 1986.
6. Borowski J., Matuszewski J.: Kierunki udoskonalenia systemu określania gazonośności pokładów węgla. Przegl. Górn., 1, s. 13-19, 1978.
7. Gabzdyl W.: Petrografia węgla, Wyd. II, Politechnika Śląska, Gliwice 1987.
8. Gawlik L., Grzybek I.: Metodyka oszacowania emisji metanu związanego z eksploatacją węgla w Polsce, Gosp. Sur. Min., 11/3, s. 371-393, 1995.
9. Gawraczyński Z., Borowski J.: Określenie zależności między metanonośnością ociosową i pokładową. Mat. konf. Metody rozpoznawania zagrożeń metanowych w kopalniach węgla kamiennego, Katowice, czerwiec 1986 r., s. 151-162, Katowickie Gwarectwo Węglowe-SITG ZO w Katowicach, 1986.
10. Greaves K.H., Owen L.B., McLennan J.D., Olszewski A.: Multicomponent gas sorption-desorption behavior of coal, Procs of the 1993 Int. Coalbed Methane Symp., Birmingham, May 17-21, vol. I, s. 197-205, 1993.
11. Grzybek I.: The Polish methods of coalbed methane content testing and its reserves estimating, Procs of the 1993 Int. Coalbed Methane Symp., Birmingham, May 17-21, vol. I, s. 61-68, 1993.
12. Grzybek I.: Wprowadzenie w zagadnienia stymulacji pokładów węgla. Biul. FEWE: Metan Pokładów Węgla, 4, s. 9-12, 1993.
13. Grzybek I., Gawlik L., Suwała W., Kuzak R.: Wstępne wyniki implementacji analitycznej metody określania metanonośności resztkowej w GZW, Mat. semin.: Węgiel kamienny -

- własności, akumulacja, uwalnianie i poszukiwanie gazów kopalnianych. Kraków, 11-12 października, s. 7-9, 1994.
14. Grzybek I., Gawlik L., Suwała W., Kuzak R.: Method for estimation methane emissions from Polish coal mining. Gayer R., Pešek J. (red.): European Coal Geology and Technology, Geol. Soc. Special Publication, No. 125, s. 425-434, 1997.
 15. Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-1993, US EPA Report 230-R-94-014, Washington 1994.
 16. Jaworek J., Kandora P., Michalik H.: Modyfikacja desorbometrycznej ruchowej metody określania metanonośności pokładów węgla w dostosowaniu do kopalń ROW. Mat. konf.: Metody rozpoznawania zagrożeń metanowych w kopalniach węgla kamiennego, Katowice, czerwiec 1986 r., s. 119-134 Katowickie Gwarectwo Węglowe-SITG ZO w Katowicach, 1986.
 17. Kandora P., Grzybek I.: O kryteriach bilansowości zasobów metanu pokładów węgla. Bezp. Pracy i Ochrona Środ. w Górnictwie, 2, s. 17-22, 1992.
 18. Kobiela Z., Modrzejewski Z., Simka A., Sobala E., Wrona B.: Sposoby opróbowania, metody laboratoryjne określania gazonośności w pokładach węgla oraz metody prognozowania metanowości wyrobisk stosowane w Polsce. Procs of UN ECE Workshop on The Recovery and End-Use of Coal-Bed Methane, Katowice, March 16-21, Report B-4, 11s., 1992.
 19. Kotas A. (red.): Coal-bed methane potential of the Upper Silesian Coal Basin, Poland. Prace PIG, CXLII, 1994.
 20. Nodzeński A.: Wysokociśnieniowa desorpcja dwutlenku węgla z węgla kamiennych w aspekcie procesu uwalniania gazu z pokładu węglowego. Zeszyty Nauk. AGH, Chemia 17, s. 1-108, 1990.
 21. Olajossy A.: Opóźnione uwalnianie metanu w pokładzie węgla z powodu desorpcji, Mat. semin.: Węgiel kamienny - własności, akumulacja, uwalnianie i poszukiwanie gazów kopalnianych, Kraków, 11-12 października, s. 24-26, 1994.
 22. Pyka M.: O energii metanu. Biul. FEWE: Metan Pokładów Węgla, 5, s. 3-11, 1993.
 23. Radnai S., Bakai-Papp K.: Coalbed methane exploitation possibilities in Hungary, Procs of the 1993 Int. Coalbed Methane Symp., Birmingham, May 17-21, vol. II, s. 421-427, 1993.

24. Radwański E., Skowroński P., Twarowski A.: Uwarunkowania inwentaryzacji emisji i wychwytu gazów cieplarnianych w Polsce w 1988 roku. Raport FEWE (niepublikowany), 1991.
25. Rogowska J.: Analiza wskaźników szybkości desorpcji CO₂ i CH₄ z węgla wyrzutowych jako kryterium zagrożenia wyrzutowego. W: Litwiniszyn J. (red.): Górotwór jako ośrodek wielofazowy. Wyrzuty skalno-gazowe, t.II, IMG PAN Kraków, AGH, s.573-593, 1990.
26. Ryncarz T.: Wyznaczanie gazonośności i współczynnika dyfuzji gazu w węglu desorbometrem DMC-2. W: Litwiniszyn J. (red.): Górotwór jako ośrodek wielofazowy. Wyrzuty skalno-gazowe, t.III, IMG PAN Kraków, AGH, s.955-965, 1991.
27. Skowroński P., Twarowski A.: Metodyka oszacowania emisji i wychwytu gazów cieplarnianych. Raport FEWE (niepublikowany), 1991.
28. Smith I.M., Sloss L.L.: Methane emissions from coal, IEA Coal Research Perspectives, s. 1-26, 1992.
29. Tarnowski J.: Stosowane w kraju metody oznaczeń gazonośności złożowej. Przegl. Górn., 9, s. 17-26, 1992.
30. Tarnowski J., Struzik A.: Wycena zasobów gazu projektowanego obszaru górniczego, Przegl. Górn., 6, s. 245-249, 1978.
31. Yee D., Seidle J.P., Hanson W.B.: Gas sorption on coal. W: Law B.E., Rice D.D. (red.): Hydrocarbons from coal, Am. Ass. of Petrol. Geol., 1992.
32. Zalecane kryteria bilansowości złóż kopalin. MOŚZNiL, Warszawa 1994.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Wiesław Gabzdyl

Wpłynęło do Redakcji 3.06.1997 r.

Abstract

Residual methane content (defined in [13, 30]) is one of the parameters anyone needs to estimate methane emission from coal mining [14]. Direct methods of residual methane content testing are not common in Polish praxis. So, the content is only assessed by indirect method,

called 'analytical'. The method is based on pairs of measurements of total methane content (G , m^3/Mg) and desorption ratio (ΔP_2 ; $\text{mm H}_2\text{O}$) made for the same coal samples (for details see: [3, 4, 11, 29]). Because both of the measurements depend on pore pressure of coal [5, 25], the existence of linear relation between them can be assumed [3, 5]. The assumption is not exact (comp. Fig. 1), and the relation can be only expressed by the regression equation (3), where: a_0 & a_1 are the equation coefficients. Analysis of desorption process shows, that during it pore pressure of coal trends towards atmospheric pressure and desorption ratio decreases down to zero. So, when the desorption ratio is equalized to zero a further desorption progresses only under diffusion laws. This being so the residual methane content (G_r ; m^3/Mg) can be assumed equal to the a_0 coefficient of the equation (3), as the equation (5) shows. However assessments of residual methane content made by described method to date have been incomparable one to another (Fig. 2, Tab. 1). The case is probably because degree of coal coalification has not been taken into account. To ascertain this supposition is true the new calculations have been made for 335 coal samples from coal deposit of the central part of the Upper Silesian Coal Basin, Poland (Fig. 3). They were carried out for subpopulations of samples characterized by similar volatile matter content (difference up to 4 %), and for division into subpopulations twice done by 2 per cents translation of volatile matter contents bordered the subpopulations. For each subpopulation the residual methane content (G_{ri} - comp. Fig. 4) and average value of volatile matter content ($\overline{V^{daf}}$, %) were calculated (Tab. 2). The results presented in the Table 2 show the high correlation between calculated values of G_{ri} and $\overline{V^{daf}}$ (correlation coefficient $r = -0.95$) - if volatile matter content is as high as 28 % in minimum; and independence of them ($r = -0.21$) - if volatile matter content is between 14—28 %. This enables to calculate: (a) the regression equation (9); and (b) the average value (10); for the adequate pairs of G_{ri} and $\overline{V^{daf}}$ (Fig. 5). This makes possible too to assess the average value of residual methane content for the whole deposit (for the population of samples), according to the formula (11), where: M_i is the mass of coals of given subpopulation, and M is total mass of coals within the deposit. The described steps of calculations create the new procedure of the analytical method.