

Oznaczanie metanoności w pokładach węgla kamiennego według nowej metody wraz z oceną niepewności pomiarowej wyniku

Determination of methane content in coal using a new method with analyzes of the uncertainty of measurements



Prof. dr hab. inż. Nikodem Szlązak^{*)}



Dr inż. Marek Korzec^{*)}

Treść: W polskich kopalniach węgla kamiennego powszechnie występuje zagrożenie metanowe. Jest ono związane z obecnością metanu w węglu i jego uwalnianiem się do wyrobisk w wyniku prowadzonej eksploatacji. Zagrożenie to stanowi duże niebezpieczeństwo dla pracujących pod ziemią załóg. Prawidłowe rozpoznanie zagrożenia metanowego ma istotne znaczenie dla doboru profilaktyki jego zwalczania. Rozpoznanie to jest prowadzone na etapie drażenia wyrobisk i wykonywania wierceń rozpoznawczych. Parametrem węgla służącym do oceny tego zagrożenia jest metanoność, której oznaczanie, zgodnie z obowiązującymi przepisami, jest obligatoryjne w polskich kopalniach węgla kamiennego. Dla celów oznaczania metanoności opracowana została nowa metoda oznaczania metanoności. W artykule przedstawiona została charakterystyka tej metody. Głównie jednak uwaga skupiona została na przeprowadzonej ocenie niepewności pomiarowej związanej z oznaczaniem metanoności. W artykule zaprezentowany został również program komputerowy AGHGAZ służący do prowadzenia oznaczeń.

Abstract: Methane has a bad influence on safety in underground mines as it is emitted to the air during mining works. Appropriate identification of methane hazard is essential to determine methane hazard prevention methods, ventilation systems and methane drainage systems. Methane hazard is identified while roadways are driven and boreholes are drilled. Methane content in coal is one of the parameters which is used to assess this threat. This is a requirement according to the Polish mining law. For this purpose a new method for determining methane content in coal in underground coal mines has been developed. This method consists of two stages – collecting samples in a mine and testing the samples in the laboratory. The stage of determining methane content in a coal sample in a laboratory is essential. This paper presents the estimation of measurement uncertainty of determining methane content in a coal sample according to this methodology and computer software AGHGAZ to conduct the measurements.

Słowa kluczowe:

metanoność, metoda oznaczania metanoności, zagrożenie metanowe, dokładność pomiaru, niepewność pomiaru, program do oznaczania metanoności

Key words:

methane content of coal, method for determining the methane content of coal, methane hazard, measurements accuracy, uncertainty of measurement, software to determine the methane content of coal

1. Wprowadzenie

Zagrożenie metanowe jest jednym z najniebezpieczniejszych zagrożeń naturalnych występujących w polskim górnictwie węgla kamiennego [3, 9, 12]. Jednym z parametrów wykorzystywanych przy ocenie stanu tego zagrożenia jest me-

tanoność, którą definiuje się jako objętościową zawartość metanu pochodzenia naturalnego w węglu, w przeliczeniu na tzw. czystą substancję węglową. Zgodnie z obowiązującymi przepisami w kopalniach węgla kamiennego należy prowadzić badania metanoności [11]. Każdego roku w polskich kopalniach węgla kamiennego wykonuje się szacunkowo od 1600÷2000 takich oznaczeń [8]. Na przestrzeni lat metodyka oznaczania metanoności ulegała zmianom [2, 14, 15].

^{*)} AGH w Krakowie, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii

Oznaczanie metanonośności może być prowadzone zgodnie z polską normą PN-G-44200 – Górnictwo – Oznaczanie metanonośności w pokładach węgla kamiennego – Metoda zwiercinowa. Metoda zawarta w normie została opracowana przez zespół autorski pod kierunkiem prof. Nikodema Szlązaka, w ramach projektu badawczego [7, 8, 13]. Metoda składa się zasadniczo z dwóch części. Pierwsza to pobór próbek do badań w warunkach kopalnianych do hermetycznie zamykanych, stalowych pojemników. Druga to późniejsze badanie próbek węgla w warunkach laboratoryjnych. Zmierzona w laboratorium zawartość metanu w próbce węgla jest ostatecznie powiększana o wyznaczoną doświadczalnie stratę gazu i stanowi wynik oznaczonej metanonośności.

Oszacowanie niepewności pomiaru jest nieodłącznym elementem związanym z każdą procedurą pomiarową [17]. Wykonując pomiar musimy mieć świadomość, że otrzymany wynik jest obarczony pewnym błędem. Znajomość niepewności pomiaru stanowi ważną informację zarówno dla podmiotu wykonującego pomiar, jak również podmiotu wykorzystującego później jego wynik. Podawanie wyniku pomiaru wraz z oszacowaną niepewnością pomiarową świadczy o jego wiarygodności i pozwala na jego porównywanie z wynikami uzyskanymi z zastosowaniem innych metod pomiarowych. Źródłem błędów jest wiele i są one szeroko opisane w literaturze [1, 4, 16, 17].

Ważne jest, aby oznaczanie metanonośności prowadzone było z wystarczającą dokładnością, a błąd związany z jej wyznaczeniem kształtował się na akceptowalnym poziomie. Z uwagi na brak możliwości oceny błędu popełnianego w czasie poboru próbki do badań w warunkach kopalnianych w artykule uwaga zwrócona została na procedurę badania próbki węgla w laboratorium. Dla procedury tej przeprowadzono analizę niepewności wyznaczenia zawartości metanu w próbce węgla.

Dla celów prowadzenia oznaczeń metanonośności zgodnie z opisaną metodą [7, 8, 13] opracowany został program komputerowy AGHGAZ.

2. Metoda oznaczania metanonośności

2.1. Charakterystyka metody

Metoda polega na odgazowaniu próbek węgla, później- szym pomiarze objętości wydzielonego z nich metanu oraz oznaczeniu na tej podstawie metanonośności pokładu węgla.

Dla oznaczenia metanonośności pokładu węgla w kopalni należy pobrać dwie próbki węgla. Próbki stanowią zwierciny uzyskane w czasie wiercenia otworów o długości do 4 m w warstwie węgla. Odległość pomiędzy otworami powinna być nie mniejsza niż 1 m. Zwierciny po uprzednim przesianiu przez sита dzielone są na dwie części. Porcja około 100 cm³ zwiercin klasy ziarnowej powyżej 1,0 mm umieszczana jest w hermetycznie zamykanym pojemniku. Natomiast porcja około 5 cm³ zwiercin klasy ziarnowej 0,5-1,0 mm umieszczana jest w desorbometrze manometrycznym w celu określenia wskaźnika intensywności desorpcji. Czynności od momentu rozpoczęcia wiercenia otworu na głębokości 3,5÷4,0 m, do momentu zamknięcia próbki w hermetycznym pojemniku, oraz w desorbometrze należy zakończyć w czasie 120 s. Na podstawie wskaźnika intensywności desorpcji określa się przybliżoną metanonośność pokładu węgla. Jednocześnie w trakcie wykonywania wymienionych czynności dokonuje się pomiaru stężenia metanu i ciśnienia atmosferycznego w miejscu pobierania próby.

Dalsze czynności związane z oznaczaniem metanonośności przeprowadzane są w laboratorium. Do badań laboratoryj-

nych przekazywane są dwa hermetycznie zamknięte, stalowe pojemniki z próbkami węgla pochodzącymi z miejsca badań. Procedura laboratoryjna prowadzi do oznaczenia zawartości metanu w próbce. Następnie na tej podstawie oznacza się metanonośność pokładu węgla, z uwzględnieniem straty metanu powstałej w czasie poboru próbki. Czynności, które należy wykonać dla oznaczenia metanonośności, zostały przedstawione na rysunku 1 w postaci schematu blokowego. Procedura ta jest szczegółowo przedstawiona w normie PN-G-44200 [10].

W normie opisane zostały dokładnie wszystkie czynności konieczne do wykonania celem oznaczenia metanonośności. Wskazano również przyrządy i aparaturę potrzebną do oznaczenia metanonośności. Dla ułatwienia prowadzenia oznaczeń opracowano wzory kart zapisu wyników, dla osoby dokonującej poboru próbki w laboratorium, jak również dla osoby badającej próbkę w laboratorium. Do normy dołączono również wykresy oraz tablice pozwalające na wyznaczenie przybliżonej wartości metanonośności na podstawie wskaźnika intensywności desorpcji oraz przeliczenie wyznaczonej w laboratorium zawartości metanu w próbce węgla na wartość oznaczonej metanonośności.

2.2. Sposób oznaczenia metanonośności

W celu oznaczenia metanonośności pokładu węgla należy kolejno wyznaczyć:

- zawartość czystej substancji węglowej w próbce z_{CSW}

$$z_{CSW} = 100 - (W_c + A_a), \% \quad (2.1)$$

gdzie:

- W_c – zawartość wilgoci całkowitej, %,
- A_a – zawartość popiołu w węglu, %,
- masę czystej substancji węglowej m_{CSW}

$$m_{CSW} = \frac{m_w \cdot z_{CSW}}{100}, \text{ g} \quad (2.2)$$

- m_w – masa próbki węgla, g,
- objętość próbki węgla V_w

$$V_w = \frac{m_w}{d_{rd}}, \text{ cm}^3 \quad (2.3)$$

gdzie:

- d_{rd} – gęstość węgla, g/cm³,
- objętość wolnej przestrzeni pojemnika stalowego z próbką V_{wp}

$$V_{wp} = V_p - (V_w + V_k), \text{ cm}^3 \quad (2.4)$$

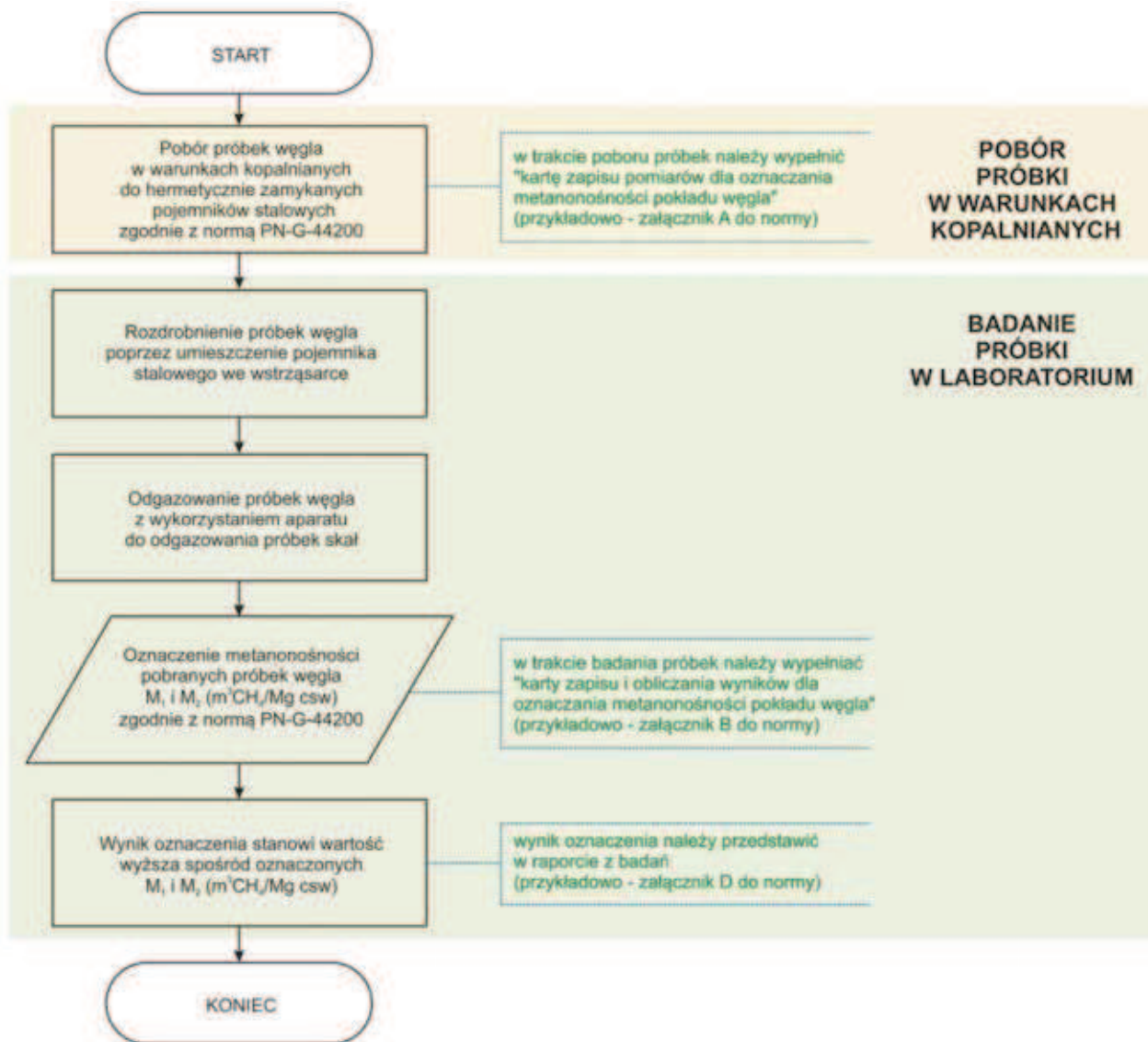
gdzie:

- V_p – objętość pojemnika zawierającego próbkę węgla, cm³,
- V_k – objętość kul w pojemniku stalowym zawierającym próbkę węgla, cm³,
- objętość mieszaniny gazów pobranych do stalowego pojemnika w trakcie poboru próbki z uwzględnieniem warunków panujących w miejscu jej poboru V'_{wp} (w odniesieniu do temperatury 20 °C i ciśnienia 1013,25 hPa)

$$V'_{wp} = 0,2893 \cdot \frac{V_{wp} \cdot p_w}{273,15 + t_w}, \text{ cm}^3 \quad (2.5)$$

gdzie:

- p_w – ciśnienie atmosferyczne powietrza w wyrobisku, hPa,
- t_w – temperatura powietrza w wyrobisku, °C,
- objętość mieszaniny gazów uzyskanych z odgazowania próbki V_o z uwzględnieniem warunków panujących w miejscu odgazowania (w odniesieniu do temperatury 20 °C i ciśnienia 1013,25 hPa oraz po wyrównaniu temperatury w zbiorniku pomiarowym z temperaturą panującą w laboratorium)



Rys. 1. Schemat blokowy oznaczania metanonośności według normy PN-G-44200

Fig. 1. Flowchart of determining the methane content of coal according to the Polish Standard PN-G-44200

$$V_0 = 0,2893 \cdot \frac{V_z \cdot p_z}{273,15 + t_t}, \text{ cm}^3 \quad (2.6)$$

- V_z – objętość zbiornika pomiarowego, cm^3 ,
 p_z – ciśnienie mieszaniny gazów uzyskanych z odgazowania próbki w zbiorniku pomiarowym, hPa,
 t_t – temperatura powietrza w laboratorium, $^{\circ}\text{C}$,
 – objętość metanu w mieszaninie gazów uzyskanych z odgazowania próbki V_{CH_4}

$$V_{CH_4} = \frac{V_0 \cdot S_{CH_4}}{100}, \text{ cm}^3 \quad (2.7)$$

gdzie:

- S_{CH_4} – stężenie metanu w mieszaninie gazów uzyskanych z odgazowania próbki, %,
 – objętość metanu nabytego do pojemnika stalowego wraz z próbką V'_{CH_4}

$$V'_{CH_4} = \frac{V'_{wp} \cdot C_{CH_4}}{100}, \text{ cm}^3 \quad (2.8)$$

gdzie:

- C_{CH_4} – stężenie metanu w wyrobisku, %,
 – objętość metanu uzyskanego z próbki węgla V''_{CH_4}

$$V''_{CH_4} = V_{CH_4} - V'_{CH_4}, \text{ cm}^3 \quad (2.9)$$

- zawartość metanu w próbce M_L

$$M_L = \frac{V''_{CH_4}}{m_{csw}}, \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{Mg csw} \quad (2.10)$$

- Metanonośność oznaczoną pokładu M węgla z uwzględnieniem straty gazu powstałej w czasie poboru próbki oblicza się wg wzoru

$$M = 1,12 \cdot M_L, \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{Mg csw} \quad (2.11)$$

3. Ocena niepewności pomiarów bezpośrednich

Zgodnie z przewodnikiem GUM [5, 6] niepewność pomiarów bezpośrednich określa się jako niepewność standardową. W zależności od sposobu wykonywania pomiaru wyróżnia się niepewność standardową typu A i typu B.

Metoda obliczania niepewności typu A znajduje zastosowanie w przypadku, kiedy istnieje możliwość przeprowadzenia w identycznych warunkach pomiarowych wielu niezależnych obserwacji jednej z wielkości, ponieważ metoda

ta opiera się na analizie statystycznej serii wyników pomiarów. Za wynik pomiaru w takim przypadku przyjmuje się średnią arytmetyczną \bar{x} pewnej liczby wykonanych pomiarów

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.1)$$

gdzie:

n – liczba wyników pomiarów,

x_i – wynik i -tego pomiaru.

W metodzie typu A za niepewność standardową wyniku pomiaru wielkości x przyjmuje się odchylenie standardowe eksperymentalne średniej arytmetycznej $u(x)$, obliczane jako

$$u_A(x) = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.2)$$

Ocena niepewności pomiaru metodą typu A obejmuje także inne metody określania niepewności przy użyciu metod statystycznych, do których można zaliczyć między innymi niepewność wyznaczenia parametrów dopasowania krzywej regresji do wykreślonego rozrzutu punktów stanowiących wynik eksperymentu.

Metoda obliczania niepewności typu B znajduje zastosowanie w przypadku, kiedy wykonany został jeden pomiar, albo w przypadku, kiedy wyniki pomiaru nie wykazują rozrzutu. W takiej sytuacji niepewność standardowa jest oceniana na podstawie wszystkich dostępnych informacji o danej wielkości, jak również o przedziale, w jakim jej wartość rzeczywista powinna się mieścić. Często niepewność standardowa typu B wyznaczana jest na podstawie rozkładu prawdopodobieństwa, określonego na przedziale równym wartości działki elementarnej Δx urządzenia. W przypadku przyjęcia rozkładu jednostajnego na tym przedziale niepewność standardowa przyjmuje wartość

$$u_B(x) = \frac{\Delta x}{\sqrt{3}} \quad (3.3)$$

Na niepewność standardową typu B może mieć wpływ wiedza związana z [3]:

- danymi uzyskanymi z wcześniej przeprowadzonych pomiarów,
- posiadanym doświadczeniem,
- niepewnością wzorcowania $\Delta_w x$:
 - przyrządów analogowych,
 - przyrządów cyfrowych,
- niepewnością eksperymentatora $\Delta_e x$,
- niepewnością tablicową $\Delta_t x$,
- specyfikacją producentów.

Jeżeli dochodzi do sytuacji, że na niepewność standardową typu B mają wpływ dwa czynniki (np. niepewność wzorcowania i niepewność eksperymentatora) i oba nie mogą zostać zaniedbane oblicza się ją jako

$$u_B(x) = \sqrt{\frac{(\Delta_w x)^2}{3} + \frac{(\Delta_e x)^2}{3}} \quad (3.4)$$

W przypadku kiedy występują oby dwa typy niepewności A i B, to należy wyznaczyć niepewność standardową (tzw. całkowitą) korzystając ze wzoru

$$u(x) = \sqrt{u_A^2(x) + u_B^2(x)} \quad (3.5)$$

4. Ocena niepewności pomiarów pośrednich

Zgodnie z przewodnikiem GUM [5] niepewność pomiarów pośrednich należy określić jako złożoną niepewność

standardową oraz niepewność rozszerzoną. W praktyce oprócz metod zaproponowanych w przewodniku GUM stosowana jest również metoda obliczania niepewności maksymalnej (nazywana również błędem maksymalnym). W artykule przedstawiono analizę niepewności pomiarowej przeprowadzoną dla niepewności standardowej i niepewności maksymalnej.

W dalszych rozważaniach przyjęto poniższe założenia. Szukana wielkość y jest obliczana z zależności

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (4.1)$$

gdzie:

x_1, x_2, \dots, x_k – wielkości mierzone bezpośrednio.

4.1. Złożona niepewność standardowa

Złożoną niepewność standardową $u_c(y)$ wielkości liczonej pośrednio w oparciu o pomierzone wielkości mierzone bezpośrednio oblicza się wykorzystując prawo przenoszenia niepewności pomiarów bezpośrednich nieskorelowanych, korzystając z zależności

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{j=1}^k \left(\frac{\partial f}{\partial x_j} \right)^2 \cdot u^2(x_j)} \quad (4.2)$$

4.2. Niepewność maksymalna

Dla obliczenia niepewności maksymalnej wykorzystuje się prawo przenoszenia niepewności maksymalnej. W rachunku niepewności maksymalnej przyczynki pochodzące od poszczególnych zmiennych wejściowych oblicza się tak samo jak przy obliczaniu niepewności złożonej standardowej, jednak zamiast sumy geometrycznej oblicza się sumę algebraiczną ich wartości bezwzględnych zgodnie z zależnością

$$\Delta y = \sum_{j=1}^k \left| \frac{\partial f}{\partial x_j} \cdot \Delta x_j \right| \quad (4.3)$$

5. Ocena niepewności oznaczenia metanonośności w pokładach węgla kamiennego

Dla przedstawionej metody oznaczania metanonośności przeprowadzono ocenę niepewności wyznaczenia zawartości metanu w próbce węgla pobranej do badań. Analiza procedury laboratoryjnej wyznaczania zawartości metanu w próbce pokazuje, że jej wartość jest zależna od jedenastu parametrów oznaczonych w laboratorium oraz dwóch parametrów oznaczonych w wyrobisku w czasie poboru próbek do badań. Wzór końcowy służący do wyznaczenia zawartości metanu w próbce węgla przyjmuje następującą postać

$$M_L = 0,002893 \cdot \frac{V_Z \cdot p_{Z \cdot CH_4} \cdot (V_P - \frac{m_w}{d_r d} - V_k) \cdot p_{w \cdot CH_4}}{273,15 + t_l} \cdot \frac{273,15 + t_w}{m_w - 0,01 \cdot m_w \cdot (W_c + A_d)}, \text{ m}^3 \text{CH}_4 / \text{Mg csw} \quad (5.1)$$

Wzór (5.1) zawiera wszystkie parametry wyznaczone w laboratorium oraz w miejscu poboru próbki do badań, które wpływają na wartość wyznaczonej zawartości metanu w próbce węgla. Parametry te wraz z błędami związanymi z ich pomiarem zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Parametry uwzględniane przy obliczaniu zawartości metanu w próbce wraz z błędami ich wyznaczenia
Table 1. Parameters used to determine methane content in coal sample including their measuring uncertainty

Lp.	Wyszczególnienie	Symbol	Jednostka	Błąd	Błąd względny
1	objętość zbiornika pomiarowego	V_z	cm ³	10,00	–
2	ciśnienie w zbiorniku pomiarowym	p_z	hPa	–	1,00%
3	stężenie metanu w mieszaninie z odgazowania	s_{CH_4}	%	–	3,0% – 0,5% *
4	objętość pojemnika stalowego	V_p	cm ³	10,00	–
5	masa węgla	m_w	g	–	1,00%
6	gęstość węgla	d_w	g/cm ³	0,02	–
7	objętość kul w stalowym pojemniku	V_k	cm ³	1,00	–
8	ciśnienie atmosferyczne w wyrobisku	p_w	hPa	1,00	–
9	stężenie metanu w wyrobisku	c_{CH_4}	%	0,05	–
10	temperatura w laboratorium	t_l	°C	0,20	–
11	temperatura w wyrobisku	t_w	°C	0,20	–
12	zawartość wilgoci	W_c	%	–	1,00%
13	zawartość popiołu	A_a	%	–	3,00%

* w zależności od stężenia gazu

Analiza niepewności pomiarowej została przeprowadzona dla 78 oznaczeń metanonośności. Obliczono pochodne cząstkowe zawartości metanu w próbce węgla względem

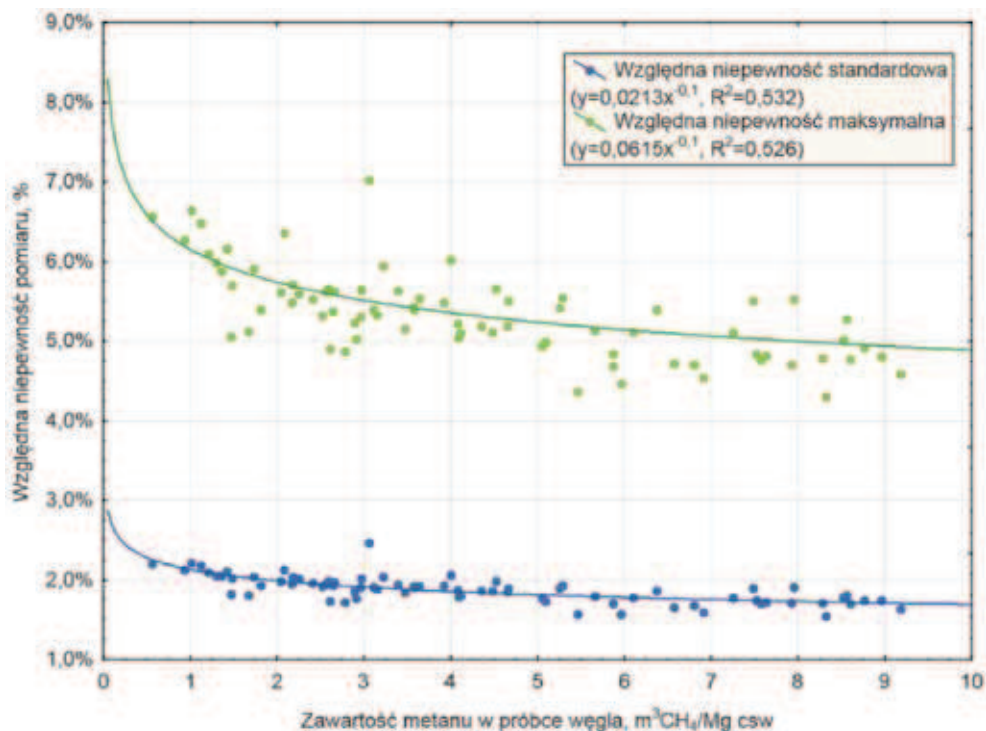
poszczególnych parametrów wchodzących w skład zależności 4.1, które przedstawiono w tabelicy 2. Pochodne te stanowią tzw. współczynnik wrażliwości.

Tablica 2. Pochodne cząstkowe zawartości metanu w próbce względem parametrów wykorzystywanych do jej wyznaczenia
Table 2. Partial derivatives with respect to the parameters used for determination

Lp.	Pochodna cząstkowa liczona względem	Wyznaczona pochodna cząstkowa
1	objętości zbiornika pomiarowego	$\frac{\partial M_L}{\partial V_z} = \frac{0,002893 \cdot p_z \cdot s_{CH_4}}{(273,15 + t_l) \cdot m_w \cdot (1 - 0,01 \cdot W_c - 0,01 \cdot A_a)}$
2	ciśnienia w zbiorniku pomiarowym	$\frac{\partial M_L}{\partial p_z} = \frac{0,002893 \cdot V_z \cdot s_{CH_4}}{(273,15 + t_l) \cdot m_w \cdot (1 - 0,01 \cdot W_c - 0,01 \cdot A_a)}$
3	stężenia metanu w mieszaninie z odgazowania	$\frac{\partial M_L}{\partial s_{CH_4}} = \frac{0,002893 \cdot V_z \cdot p_z}{(273,15 + t_l) \cdot m_w \cdot (1 - 0,01 \cdot W_c - 0,01 \cdot A_a)}$
4	objętości pojemnika stalowego	$\frac{\partial M_L}{\partial V_p} = -\frac{0,002893 \cdot p_w \cdot c_{CH_4}}{(273,15 + t_w) \cdot m_w \cdot (1 - 0,01 \cdot W_c - 0,01 \cdot A_a)}$
5	masy węgla	$\frac{\partial M_L}{\partial m_w} = -\frac{0,002893 \cdot V_z \cdot p_z \cdot s_{CH_4}}{(273,15 + t_l) \cdot m_w^2 \cdot (1 - 0,01 \cdot W_c - 0,01 \cdot A_a)} + \frac{0,002893 \cdot p_w \cdot c_{CH_4} \cdot V_p}{(273,15 + t_w) \cdot m_w^2 \cdot (1 - 0,01 \cdot W_c - 0,01 \cdot A_a)} - \frac{0,002893 \cdot p_w \cdot c_{CH_4} \cdot V_k}{(273,15 + t_w) \cdot m_w^2 \cdot (1 - 0,01 \cdot W_c - 0,01 \cdot A_a)}$
6	gęstości węgla	$\frac{\partial M_L}{\partial d_{rd}} = -\frac{0,002893 \cdot p_w \cdot c_{CH_4}}{(273,15 + t_w) \cdot (1 - 0,01 \cdot W_c - 0,01 \cdot A_a) \cdot d_{rd}^2}$
7	objętości kul w stalowym pojemniku	$\frac{\partial M_L}{\partial V_k} = \frac{0,002893 \cdot p_w \cdot c_{CH_4}}{(273,15 + t_w) \cdot m_w \cdot (1 - 0,01 \cdot W_c - 0,01 \cdot A_a)}$
8	ciśnienia atmosferycznego w wyrobisku	$\frac{\partial M_L}{\partial p_w} = -\frac{0,002893 \cdot c_{CH_4} \cdot \left(V_p - \frac{m_w}{d_{rd}} - V_k\right)}{(273,15 + t_w) \cdot m_w \cdot (1 - 0,01 \cdot W_c - 0,01 \cdot A_a)}$
9	stężenia metanu w wyrobisku	$\frac{\partial M_L}{\partial c_{CH_4}} = -\frac{0,002893 \cdot p_w \cdot \left(V_p - \frac{m_w}{d_{rd}} - V_k\right)}{(273,15 + t_w) \cdot m_w \cdot (1 - 0,01 \cdot W_c - 0,01 \cdot A_a)}$
10	temperatury w laboratorium	$\frac{\partial M_L}{\partial t_l} = -\frac{0,002893 \cdot V_z \cdot p_z \cdot s_{CH_4}}{(273,15 + t_l)^2 \cdot m_w \cdot (1 - 0,01 \cdot W_c - 0,01 \cdot A_a)}$
11	temperatury w wyrobisku	$\frac{\partial M_L}{\partial t_w} = \frac{0,002893 \cdot p_w \cdot c_{CH_4} \cdot \left(V_p - \frac{m_w}{d_{rd}} - V_k\right)}{(273,15 + t_w)^2 \cdot m_w \cdot (1 - 0,01 \cdot W_c - 0,01 \cdot A_a)}$
12	zawartości wilgoci	$\frac{\partial M_L}{\partial W_c} = \frac{0,00002893 \cdot V_z \cdot p_z \cdot s_{CH_4}}{(273,15 + t_l) \cdot m_w \cdot (1 - 0,01 \cdot W_c - 0,01 \cdot A_a)^2} - \frac{0,00002893 \cdot p_w \cdot c_{CH_4} \cdot \left(V_p - \frac{m_w}{d_{rd}} - V_k\right)}{(273,15 + t_w) \cdot m_w \cdot (1 - 0,01 \cdot W_c - 0,01 \cdot A_a)^2}$
13	zawartości popiołu	$\frac{\partial M_L}{\partial A_a} = \frac{0,00002893 \cdot V_z \cdot p_z \cdot s_{CH_4}}{(273,15 + t_l) \cdot m_w \cdot (1 - 0,01 \cdot W_c - 0,01 \cdot A_a)^2} - \frac{0,00002893 \cdot p_w \cdot c_{CH_4} \cdot \left(V_p - \frac{m_w}{d_{rd}} - V_k\right)}{(273,15 + t_w) \cdot m_w \cdot (1 - 0,01 \cdot W_c - 0,01 \cdot A_a)^2}$

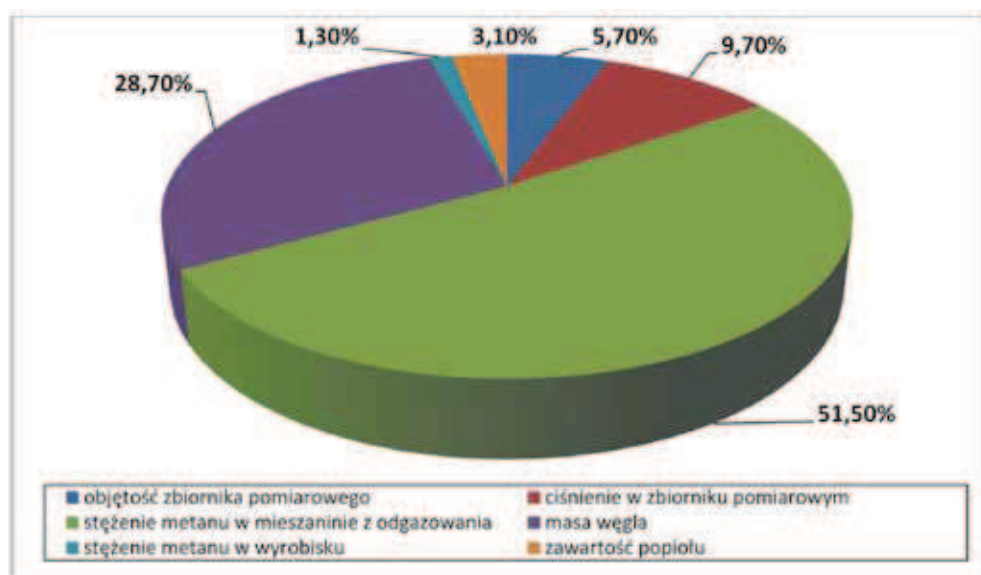
Zgodnie z wzorem (4.2) obliczono złożoną niepewność standardową. Niepewność tę odniesiono do zawartości metanu w próbce węgla uzyskując wartość niepewności względnej wyznaczenia parametru. Analogiczne obliczenia zostały wykonane dla niepewności maksymalnej zgodnie z wzorem (4.3). Na rysunku 2 przedstawiono zmiany względnej niepewności standardowej i maksymalnej pomiaru zawartości metanu w próbce węgla w zależności od zawartości metanu w próbce węgla.

Dla wszystkich przeanalizowanych pod kątem wyznaczenia niepewności pomiaru próbek węgla wykonano dodatkowo obliczenia udziału poszczególnych parametrów w niepewności złożonej. Przeprowadzone obliczenia pokazały, że tylko sześć spośród trzynastu parametrów uwzględnianych przy wyznaczaniu zawartości metanu w próbce wpływa znacząco na jej wynik. Średnie wartości udziału zostały przedstawione na rysunku 3.



Rys. 2. Względna niepewność standardowa i względna niepewność maksymalna w zależności od zawartości metanu w próbce

Fig. 2. Relationship between standard relative uncertainty and maximum relative uncertainty of determining methane content in coal sample according to the value of methane content in coal sample



Rys. 3. Udział błędów pomiarowych poszczególnych parametrów w niepewności wyznaczenia zawartości metanu w próbce węgla

Fig. 3. Percentage uncertainty participation of measured parameters in relation to uncertainty of determined values of methane content in coal sample

5. Program oznaczania metanonośności AGHGAZ

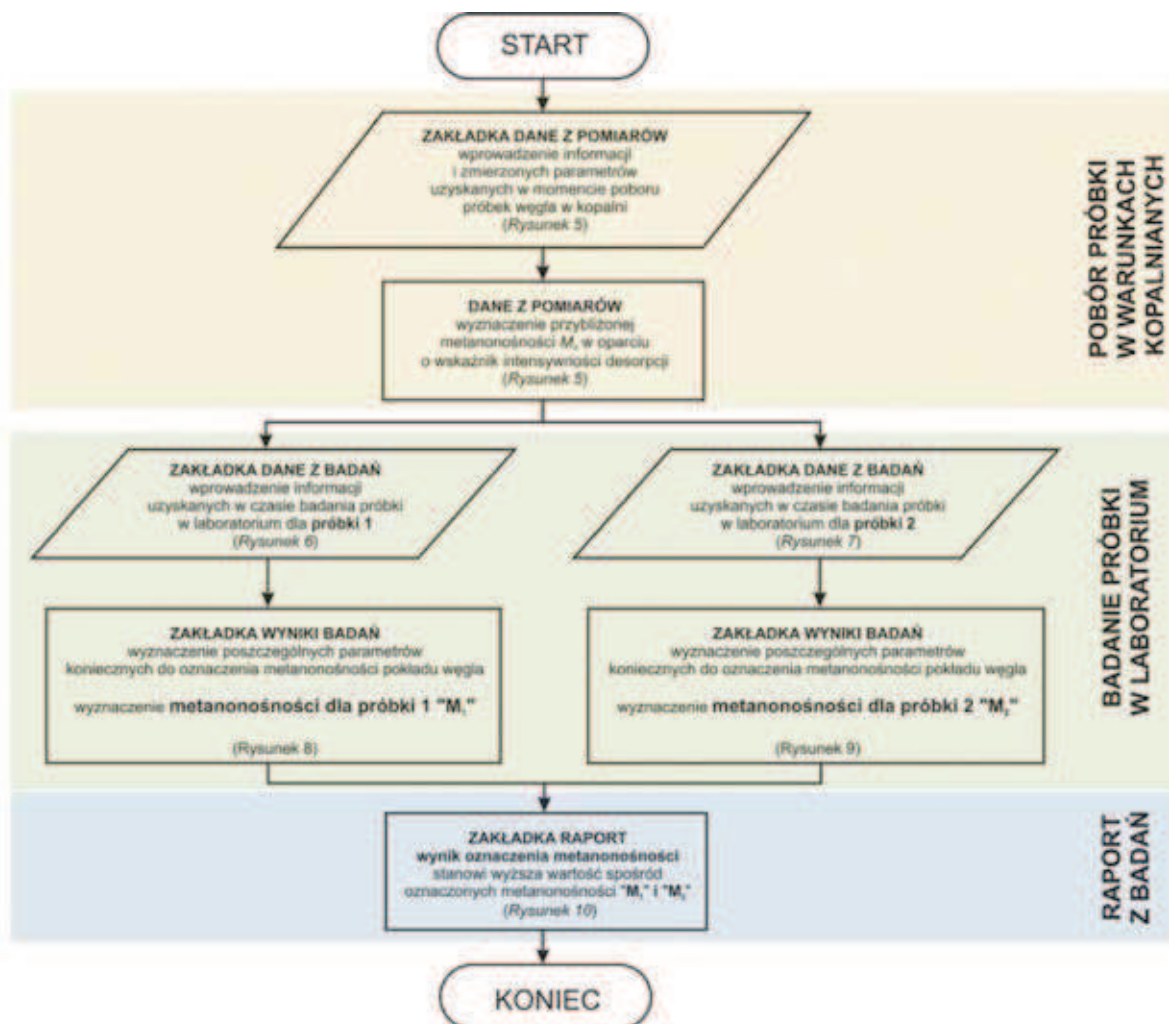
Program AGHGAZ służy do prowadzenia oznaczeń zgodnie z przedstawioną metodyką oznaczania metanonośności. Za pośrednictwem zakładek program ten jest podzielony na cztery części: *dane z pomiarów*, *dane z badań*, *wyniki badań*, *raport*. Dwie pierwsze służą do wprowadzenia danych, natomiast dwie ostatnie stanowią zestawienie wyników pomiarów. W poszczególnych polach podświetlonych na biało użytkownik wpisuje wartości parametrów uzyskanych, bądź w czasie poboru próbki węgla w kopalni, bądź w czasie jej badania w laboratorium. Pola podświetlone w programie na szaro nie są edytowalne i służą tylko wyświetlaniu wyników etapów pośrednich oznaczenia i wyniku końcowego.

W artykule przedstawione zostały widoki programu AGHGAZ. W poszczególnych oknach programu znajdują się przykładowe dane dotyczące dwóch próbek węgla, które zostały wprowadzone celem zaprezentowania sposobu oznaczania metanonośności z wykorzystaniem programu. Schemat blokowy programu został przedstawiony na rysunku 4. Na schemacie tym zaznaczono kolorem dane uzyskiwane w czasie poboru próbki w warunkach kopalnianych oraz badania próbki węgla w laboratorium.

Po uruchomieniu programu AGHGAZ otwiera się pierwsza zakładka „*dane z pomiarów*”. W zakładce tej należy wypełnić wszystkie pola stanowiące informacje dotyczące poboru próbki. Widok okna programu z zakładką „*dane*

z *pomiarów*” przedstawiono na rysunku 5. W zakładce tej znajdują się te same informacje, co w „karcie zapisu pomiarów dla oznaczania metanonośności pokładu węgla”, stanowiącej załącznik A do normy [9].

Rys. 5. Widok programu AGHGAZ – Dane z pomiarów
Fig. 5. Software AGHAZ view – data obtained in the mine



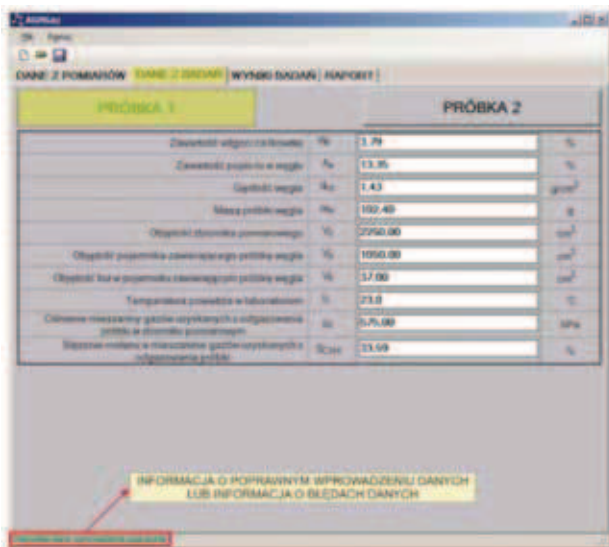
Rys.k 4. Schemat blokowy programu AGHGAZ
Fig. 4. Flowchart of AGHGAZ software

Kolejna zakładka programu to „dane z badań”. W tej części należy wprowadzać informacje dotyczące parametrów danej próbki stanowiące wyniki badań laboratoryjnych. W zakładce tej wprowadzić należy również dodatkowe informacje dotyczące parametrów pojemnika, w którym umieszczona była próbka oraz parametrów termodynamicznych powietrza w laboratorium w momencie prowadzenia odgazowania próbki. Z uwagi na fakt poboru dwóch próbek węgla program zawiera w tej części dwa okna pomiędzy którymi należy się przemieszczać klikając „PRÓBKA 1” lub „PRÓBKA 2”. Po uzupełnieniu prawidłowo wszystkich danych dla konkretnej próbki program wyświetla na zielono w stopce informację „wszystkie dane wprowadzone poprawnie”. W innym przypadku w stopce widnieje czerwony napis „dane niekompletne”, co uniemożliwi przejście do podglądu wyników badań. Na rysunku 6 przedstawiono widok programu AGHGAZ z wprowadzonymi danymi z badań dla 1 próbki, natomiast na rysunku 7 dla 2 próbki.

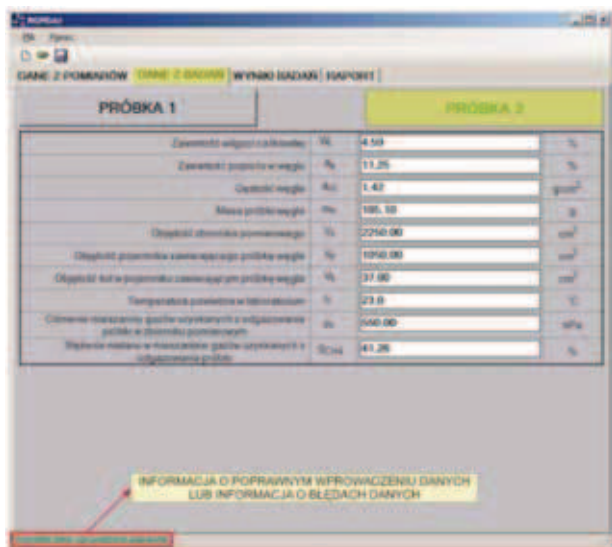
Trzecia zakładka programu „wyniki badań” pozwala na podglądnięcie wyników prowadzonych badań. Podobnie jak

w poprzedniej zakładce programu z uwagi na fakt poboru dwóch próbek węgla program zawiera w tej części dwa okna pomiędzy którymi należy się przemieszczać klikając „PRÓBKA 1” lub „PRÓBKA 2”. Program umożliwi podglądnięcie nie tylko końcowego wyniku oznaczenia, ale również wyników poszczególnych etapów prowadzenia obliczeń. Na rysunku 8 przedstawiono widok programu AGHGAZ z wynikami badań dla 1 próbki, natomiast na rysunku 9 dla 2 próbki.

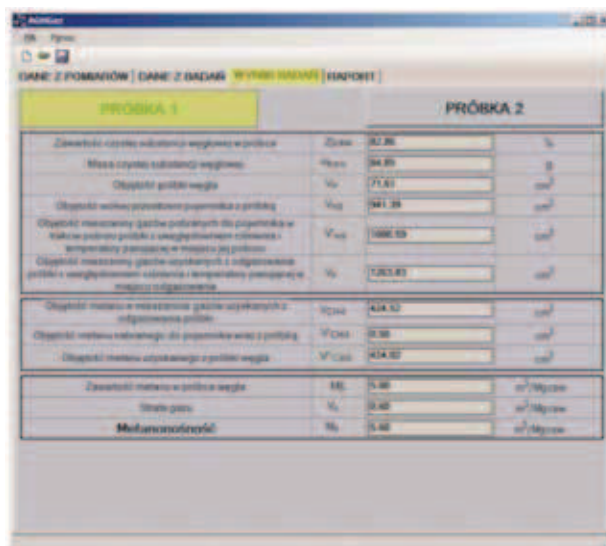
Ostatnia zakładka programu „raport” stanowi może sprawozdanie z przeprowadzonego oznaczenia (załącznik D normy [10]). W części tej znajduje się wynik oznaczenia metanonośności oraz najistotniejsze informacje dotyczące jednostki wykonującej oznaczenie, zakładu, dla którego oznaczenie było wykonywane, jak również miejsca poboru próbki. Zgodnie z opracowaną „Metodą oznaczania metanonośności w pokładach węgla kamiennego” program samodzielnie przyjmuje za wynik oznaczenia wyższą wartość metanonośności uzyskaną z obu pobranych próbek węgla wyświetlając w raporcie podstawowe dane dotyczące tej próbki węgla. Na rysunku 10 przedstawiono widok programu AGHGAZ z raportem mogącym stanowić sprawozdanie z wykonanego oznaczenia.



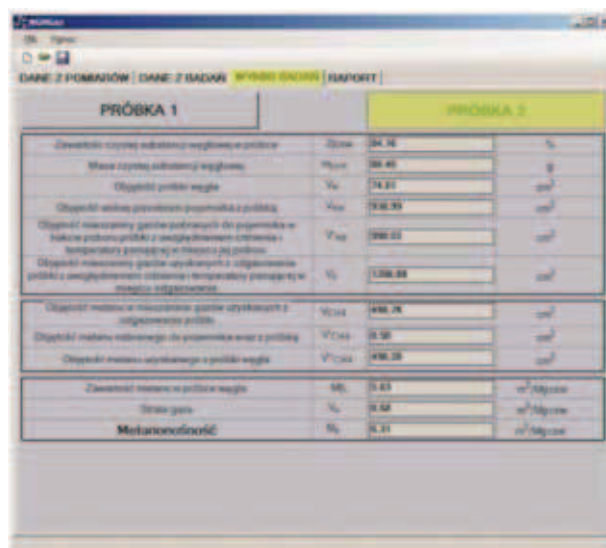
Rys. 6. Widok programu AGHGAZ – Dane z badań – próbka 1
 Fig. 6. Software AGHAZ view – data obtained in the laboratory – sample 1



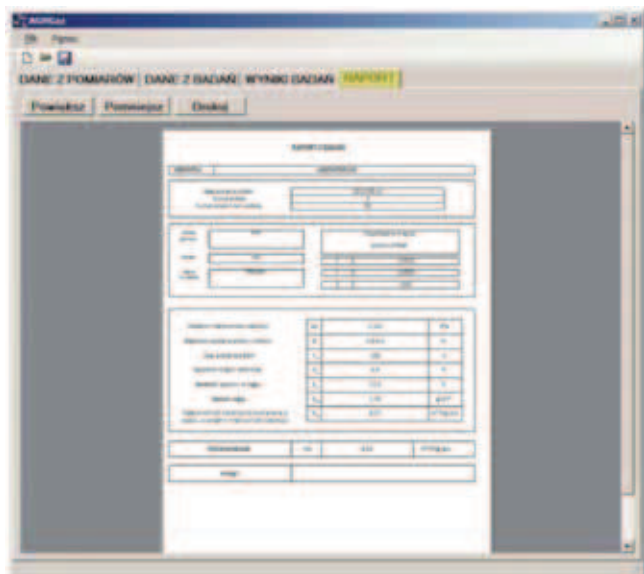
Rys. 7. Widok programu AGHGAZ – Dane z badań – próbka 2
 Fig. 7. Software AGHAZ view – data obtained in the laboratory – sample 2



Rys. 8. Widok programu AGHGAZ – Wyniki badań – próbka 1
 Fig. 8. Software AGHAZ view – measurement results – sample 1



Rys. 9. Widok programu AGHGAZ – Wyniki badań – próbka 2
 Fig. 9. Software AGHAZ view – measurement results – sample 2



Rys. 10. Widok programu AGHGAZ – Raport
Fig. 10. Software AGHAZ view – report from the measurements

6. Podsumowanie

Oznaczanie metanoności może być prowadzone w oparciu o próbkę zwiercinową, zgodnie z przedstawioną w artykule metodą. Metoda ta ujednolica dotychczas stosowane metody.

Przeprowadzona analiza niepewności pozwala stwierdzić, że procedura wyznaczania zawartości metanu w próbce węgla jest wystarczająco dokładna. Dla analizowanych próbek węgla względna niepewność standardowa wyznaczenia tej wielkości nie przekroczyła 2,5 %, natomiast względna niepewność maksymalna nie przekracza 7,0 %. Przedstawione na rysunku 2 wykresy pozwalają stwierdzić, że większą niepewnością względną charakteryzują się oznaczenia metanoności wykonywane dla niższych zawartości metanu w węglu.

Obliczone zostały udziały błędów popełnianych przy wyznaczaniu poszczególnych parametrów, mających wpływ na ostateczny wynik oznaczenia zawartości metanu w próbce węgla. Analiza średnich udziałów tych błędów w niepewności wyznaczenia zawartości metanu w próbce świadczy o tym, że na wynik oznaczenia największy wpływ ma dokładność oznaczenia takich parametrów jak: stężenie metanu w mieszaninie z odgazowania, masa próbki węgla, ciśnienie w zbiorniku pomiarowym, objętość zbiornika pomiarowego, zawartość popiołu oraz stężenie metanu w wyrobisku w momencie poboru próbki do badań. Dokładność wyznaczenia pozostałych parametrów jest wystarczająco duża i nie wpływa w sposób istotny na wynik oznaczenia.

Przedstawiony w artykule program AGHGAZ oparty jest na opracowanej metodzie oznaczania metanoności w pokładach węgla kamiennego i pozwala na prowadzenie oznaczeń metanoności oraz archiwizowanie wyników wykonanych oznaczeń. Z uwagi na budowę programu oraz

podobny układ w stosunku do kart (zapisu pomiarów oraz badania próbki w laboratorium) zawartych w opracowanej metodzie praca z programem jest bardzo intuicyjna i ułatwia prowadzenie oznaczeń.

Praca została wykonana w ramach projektu rozwojowego nr NR09002106 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Literatura

1. *Arendarski J.*: Niepewność pomiarów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006
2. *Borowski J.*: Badanie gazoności pokładów z zastosowaniem nowych metod. Prace GiG, Komunikat nr 645, Katowice 1975
3. *Dziurzyński W., Wasilewski S., Krach A., Palka T.*: Prognoza stanu atmosfery w rejonie ściany i jej zrobach na podstawie danych z systemu monitoringu kopalni. Przegląd Górniczy, t. 67, nr 7-8, s. 265-271, Katowice 2011
4. *Giercuskiewicz-Bajlik M., Gworek B.*: Metody wyrażania niepewności pomiaru w analizie chemicznej próbek środowiskowych. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, nr 39, Warszawa 2009
5. Główny Urząd Miar: Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik GUM, Warszawa 1999
6. International Standard Organization: ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995), Switzerland 1995, 2008
7. Projekt rozwojowy NCBiR nr NR09002106: „Opracowanie metody oznaczania zawartości metanu (metanoności) w pokładach węgla kamiennego”, realizowany w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii w latach 2009-2010
8. *Korzec M.*: Opracowanie metody oznaczania metanoności w pokładach węgla kamiennego. Rozprawa doktorska, Kraków 2013
9. *Krause E., Wierzbicki K.*: Wpływ przekroju wyrobisk oraz uwarunkowań wentylacyjno-metanowych na kształtowanie się zagrożenia metanowego. Przegląd Górniczy t. 65, nr 11-12, s. 52-60, Katowice 2009
10. Polski Komitet Normalizacyjny: PN-G-44200 – Górnictwo – Oznaczanie metanoności w pokładach węgla kamiennego – Metoda zwiercinowa
11. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz. U. Nr 139, poz. 1169 wraz z późniejszymi zmianami)
12. *Szłazak J., Szłazak N.*: Zagrożenie metanowe w zrobach ścian zawalowych. Przegląd Górniczy, t. 61, nr 10, s. 20-30, Katowice 2005
13. *Szłazak N., Borowski M., Obracaj D., Swolkień J., Korzec M.*: Metoda oznaczania metanoności w pokładach węgla kamiennego. Wydawnictwa AGH, Kraków 2011
14. *Tarnowski J., Pelka A.*: Określenie strat gazu w czasie pobierania prób węgla do bezpośredniego oznaczania gazoności złożowej. Archiwum Górnictwa, vol. 35, nr 2, s. 305-336, Kraków 1990
15. *Tarnowski J.*: Stosowane w kraju metody oznaczeń gazoności złożowej. Przegląd Górniczy, nr 9, s. 17-26, Katowice 1992
16. *Taylor R.J.*: Wstęp do analizy błęd pomiarowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999
17. *Terenowski H.*: Szacowanie niepewności pomiarów. Problemy Techniki Uzbrojenia, z. 115, nr 8/2010, s. 77-84, Zielonka 2010