

Nikodem Szlązak, Marek Borowski*, Marek Korzec*,
Dariusz Obracaj*, Justyna Swolkień**

SPOSÓB OKREŚLANIA METANONOŚNOŚCI W POKŁADACH WĘGLA KAMIENNEGO**

1. Wstęp

W okresie 2009–2010 przeprowadzono badania kopalniane i laboratoryjne dotyczące opracowania metody oznaczania metanonośności. Badania były prowadzone przez Akademię Górniczo-Hutniczą, Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego Sp. z o.o., Główny Instytut Górnictwa Kopalnia Doświadczalna Barbara i Zakład Odmetanowania Kopalń ZOK Sp. z o. o. w ramach projektu rozwojowego [12]. Ich celem było dokonanie oceny istniejących metod oraz na tej podstawie opracowanie nowej metody oznaczania metanonośności pokładów węgla. W tym celu przeprowadzono analizę procedur postępowania przy:

- poborze próbek węgla w przodkach wyrobisk korytarzowych,
- analizie laboratoryjnej próbek,
- opracowaniu wyników z oznaczenia metanonośności pokładów węgla.

Procedury te mają zastosowanie do badania stanu zagrożenia metanowego w podziemnych zakładach górniczych, które wykonuje rzeczoznawca ds. ruchu zakładu górniczego zgodnie z § 249 *Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28.06.2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych* (Dz. U. z 2002 r. Nr 139, poz. 1169) oraz załącznikiem nr 5 do tego rozporządzenia.

Jednym z najistotniejszych czynników decydujących o prawidłowym określeniu metanonośności pokładów węgla jest oszacowanie strat metanu w czasie pobierania próbki węgla w warunkach kopalnianych.

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Kraków

** Praca została wykonana w ramach projektu rozwojowego N R09 0021 06 finansowanego przez NCBiR

2. Badania sorpcji próbek węgla pobranych w kopalniach

W celu określenia strat metanu w trakcie pobierania prób węgla do analizy przeprowadzono badania na analizatorze grawimetrycznym IGA w Kopalni Doświadczalnej Barbara oraz Zakładzie Odmetanowania Kopalń ZOK. Układ mierników i kontrolerów ciśnienia utrzymuje stałe ciśnienie podczas procesu sorpcji, w związku z czym proces przebiega nie tylko w warunkach izotermicznych, ale również przy stałym ciśnieniu. Pozwala to na śledzenie kinetyki sorpcji w warunkach stałej aktywności chemicznej sorbatu. Przeprowadzając badania sorpcji dla wielu punktów ciśnieniowych, można wyznaczyć zależność parametrów kinetycznych procesu sorpcji od stężenia sorbatu w próbce czy nad próbką. Za pomocą metod stosowanych w IGA wyznaczyć można nie tylko izotermy sorpcji i desorpcji, ale także parametry kinetyczne obu procesów w funkcji temperatury i stężenia sorbatu.

Wykorzystywany do badań analizator został wyprodukowany przez firmę Hiden Isochema. Zestaw składa się z analizatora termogravimetrycznego typ IGA-001 wraz z wyposażeniem dodatkowym (dodatkowy manometr o zakresie 0–1 bar, stanowisko wysokiej próżni, reaktor zintegrowany z grzejnikiem odgazowania i układem chłodzącym). Urządzenie pozwala na pracę w temperaturach od -196°C do 1000°C oraz w warunkach ciśnienia od ultraniskiego do 20 bar.

Zwierziny przywiezione z pomiaru poddawano suszeniu w 25°C przez 8 h, następnie przesiewano je na sicie $500\ \mu\text{m}$. Do dalszych badań wykorzystywano frakcję poniżej $500\ \mu\text{m}$. Po umieszczeniu próbki o wadze ok. $0,100\ \text{g}$ w aparacie poddawano ją działaniu metanu pod ciśnieniem $0,5\ \text{MPa}$ przez godzinę, po czym ustalano ciśnienie na $0,1\ \text{MPa}$ przez 15 min. W kolejnym kroku ustalano ciśnienie $1,0\ \text{MPa}$ przez godzinę, po czym ustalano ciśnienie $0,1\ \text{MPa}$ przez 15 min. W ostatnim kroku ustalano ciśnienie $1,5\ \text{MPa}$ przez godzinę, a następnie $0,1\ \text{MPa}$ przez 15 min. Całość badania przeprowadzono przy zadeklarowanej temperaturze wynoszącej 25°C . Parametrami notowanymi podczas eksperymentu były: temperatura próbki, ciśnienie wewnątrz reaktora, waga próbki i czas trwania eksperymentu.

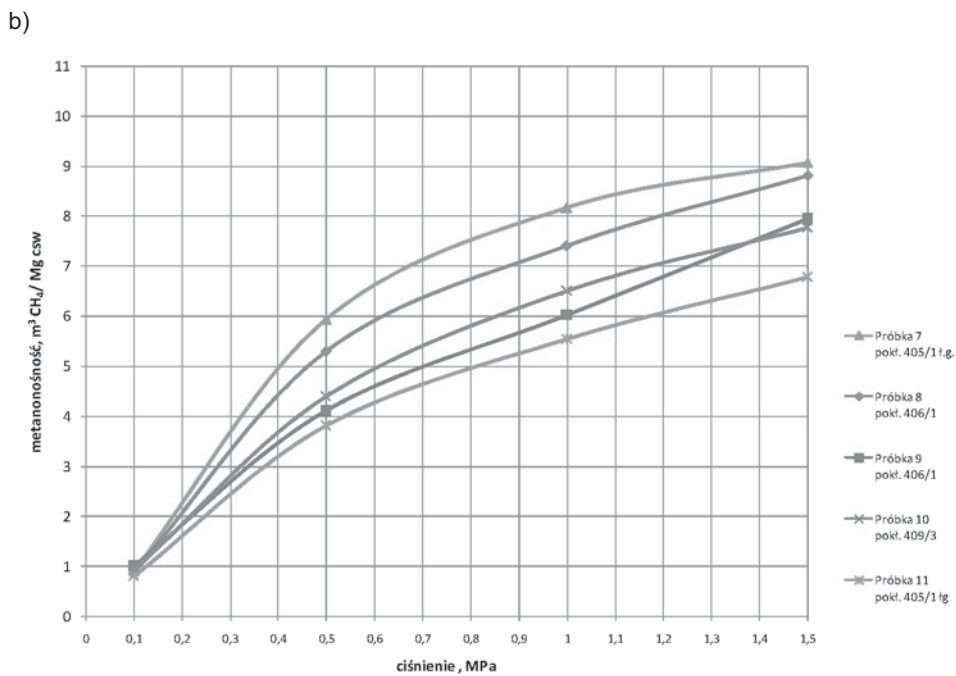
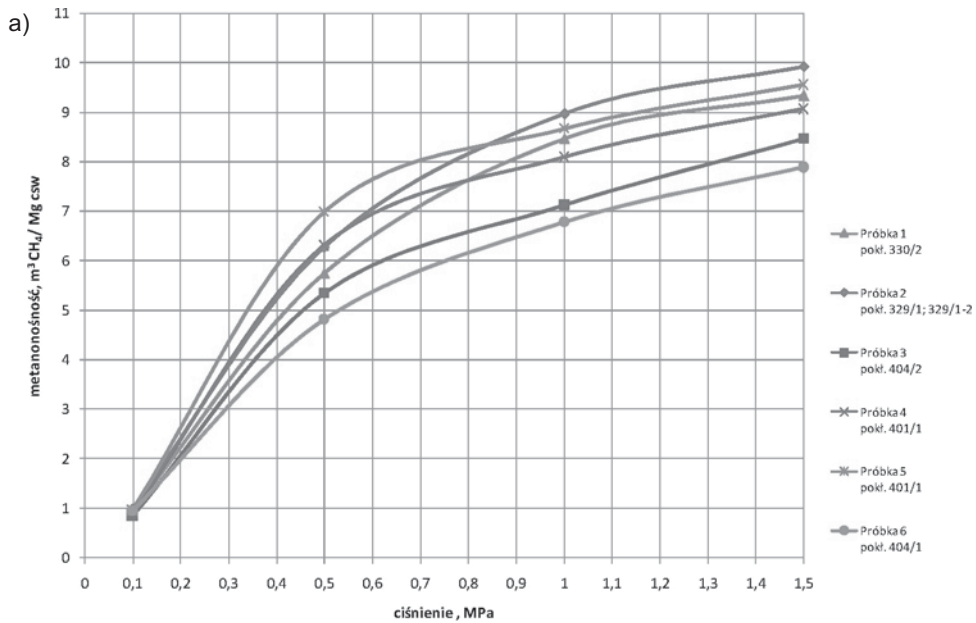
Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe izotermy sorpcji na różnych próbkach węgla pobranych z różnych pokładów węgla kamiennego. Badania prowadzono, zmieniając ciśnienie od $0,1\ \text{MPa}$ do $1,5\ \text{MPa}$.

Otrzymane izotermy sorpcji aproksymowano równaniem Langmuira. Obliczenia wykonano dla izotermy Langmuira w postaci:

$$\frac{M}{M_n} = \frac{b \cdot p}{1 + b \cdot p} \quad (1)$$

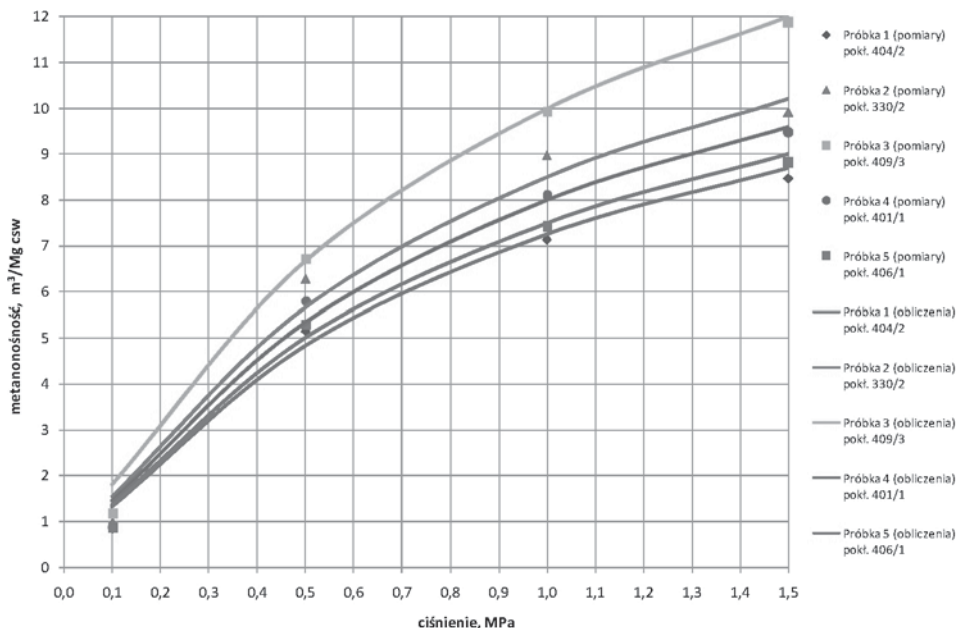
gdzie:

- p — ciśnienie metanu [MPa],
- M — metanonośność przy danym ciśnieniu [m^3/Mg csw],
- M_n — metanonośność dla ciśnienia nasycenia [m^3/Mg csw],
- b — współczynnik absorpcji.



Rys. 1. Przykładowe izotermy sorpcji próbek węgla przy zmiennej wartości ciśnienia:
a) próbki 1–6; b) próbki 7–11

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe aproksymacje izoterm sorpcji badanych próbek zależnością (1). Wykonane aproksymacje izoterm sorpcji pozwoliły na wyznaczenie metanonośności w warunkach ciśnienia nasycenia.

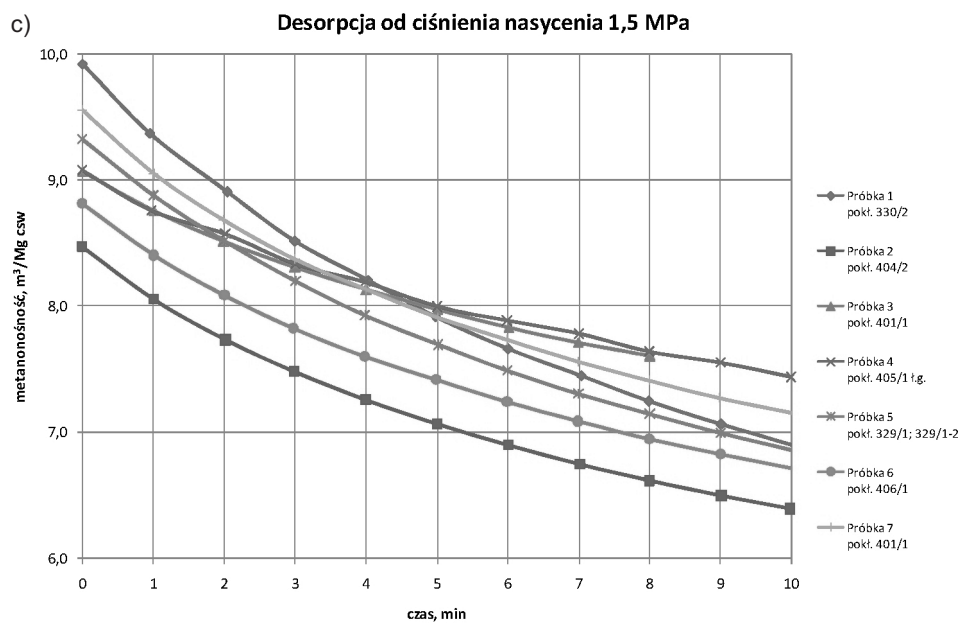
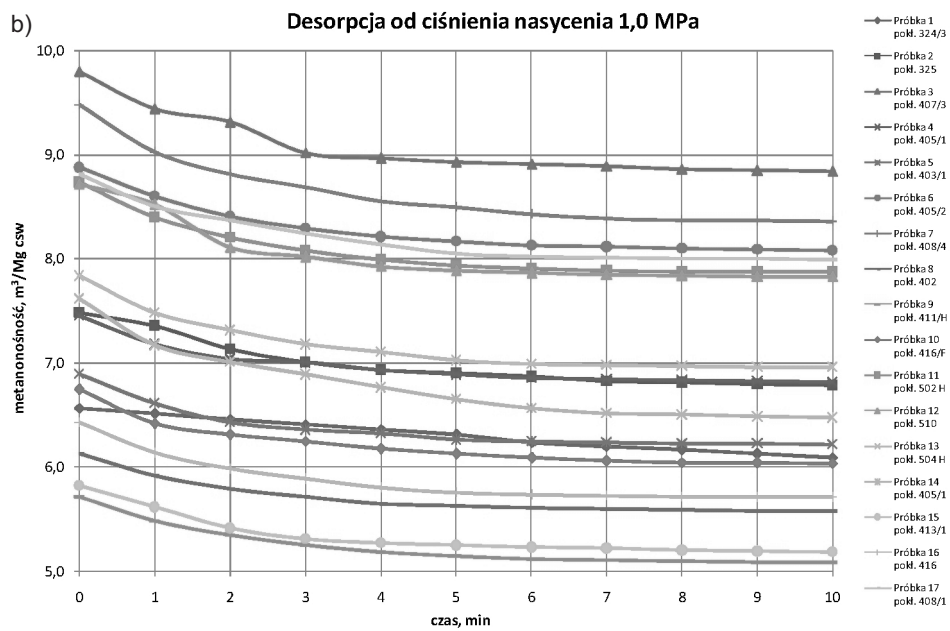
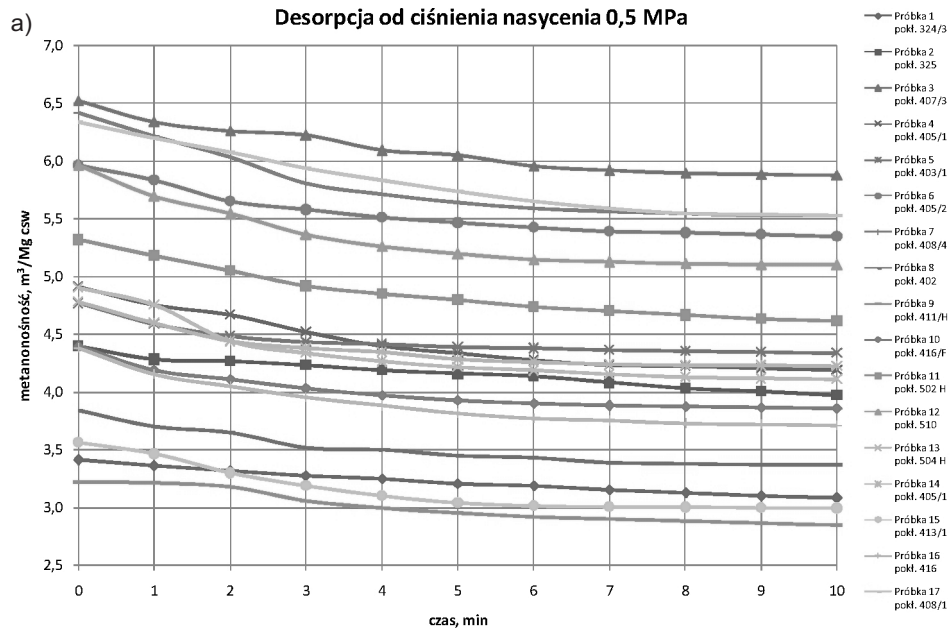


Rys. 2. Aproksymacja izoterm sorpcji wg Langmuira dla badanych próbek węgla

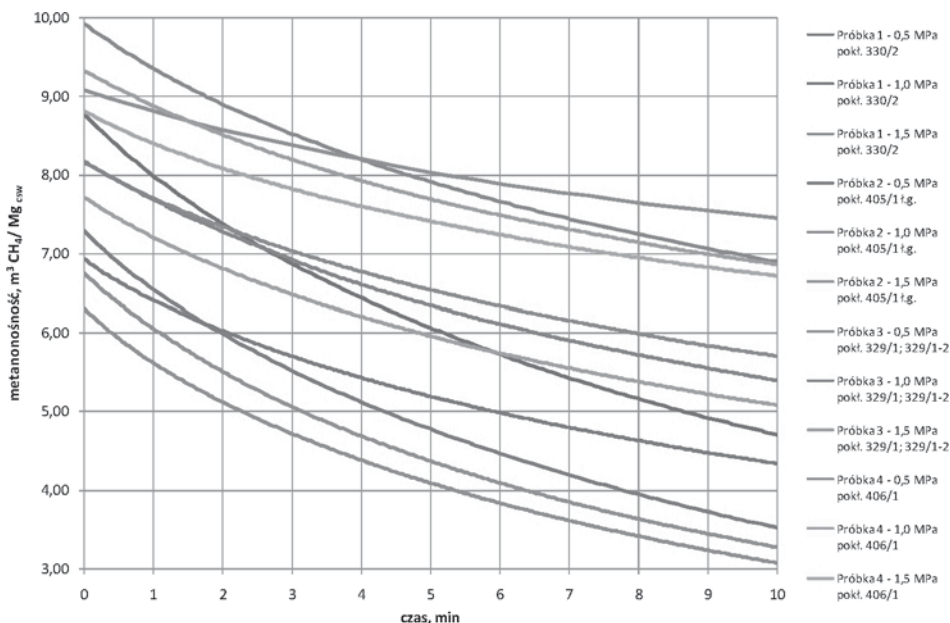
3. Badania desorpcji metanu na próbkach węgla kamiennego pobranych w kopalniach

Proces desorpcji metanu na próbkach węgla przeprowadzano również za pomocą analizatora grawimetrycznego IGA. Do badań wykorzystywano te same próbki węgla, na których wyznaczano metanonośność pokładu węgla. Po upływie czasu nasycenia próbki podawane były procesowi desorpcji w czasie. Na rysunku 3 (na wklejce) przedstawiono zależność zmian metanonośności w funkcji czasu po zmniejszeniu ciśnienia ze stanu nasycenia do ciśnienia równego 0,1 MPa. Rysunki przedstawiają przykładowe desorpcje metanu dla różnych wartości ciśnienia nasycenia. Na rysunku 4 natomiast przedstawiono zmiany desorpcji metanu wybranych próbek przy różnych wartościach ciśnienia nasycenia.

Tak wykonane badania pozwalają na określenie strat metanu w czasie pobierania próbki węgla w warunkach kopalnianych.



Rys. 3. Przykładowe desorpcje metanu:
a) ciśnienie nasycenia 0,5 MPa; b) ciśnienie nasycenia 1,0 MPa; c) ciśnienie nasycenia 1,5 MPa



Rys. 4. Przykładowa desorpcja metanu przy różnych wartościach ciśnienia nasycenia

Wielkość strat metanu ustalono na podstawie krzywych desorpcji metanu na węglu kamiennym. Po nasyceniu próbki odczytywano ciśnienie i określano krzywą desorpcji metanu z próbki.

Przebieg desorpcji metanu z próbki aproksymowano zależnością:

$$M = M_o - (a \cdot (T^n)) \quad (2)$$

gdzie:

M — metanonośność próbki w czasie T [m^3/Mg],

M_o — metanonośność początkowa (w chwili rozpoczęcia desorpcji) [m^3/Mg],

T — czas od rozpoczęcia desorpcji metanu z próbki [min],

a, n — współczynniki uzależnione od właściwości węgla i procesu desorpcji.

Niezależnie od opisu zmian desorpcji metanu zależnością (2) określono wielkość strat metanu w czasie pierwszych 2 min od rozpoczęcia procesu desorpcji. W pracy [12] określono zależność współczynnika a w funkcji metanonośności określonej po upływie 2 min od rozpoczęcia desorpcji. Z aproksymacji wyników uzyskano zależność na wielkość współczynnika a w funkcji metanonośności po upływie 2 min w postaci:

$$a = 0,085 \cdot M(2) \quad (3)$$

gdzie $M(2)$ – metanonośność próbki węgla wyznaczona w laboratorium [m^3/Mg csw].

Natomiast współczynnik n w funkcji metanonośności po upływie 2 min przyjmuje stałą wartość równą 0,5.

Na rysunku 5 przedstawiono wybrane porównanie wyników desorpcji węgla z wartościami obliczonymi wzorem (2), z uwzględnieniem współczynnika a obliczonego ze wzoru (3) i współczynnika $n = 0,5$.

Na podstawie powyższych zależności, otrzymano wzór określający wartość metanonośności w odniesieniu do metanonośności wyznaczonej w laboratorium:

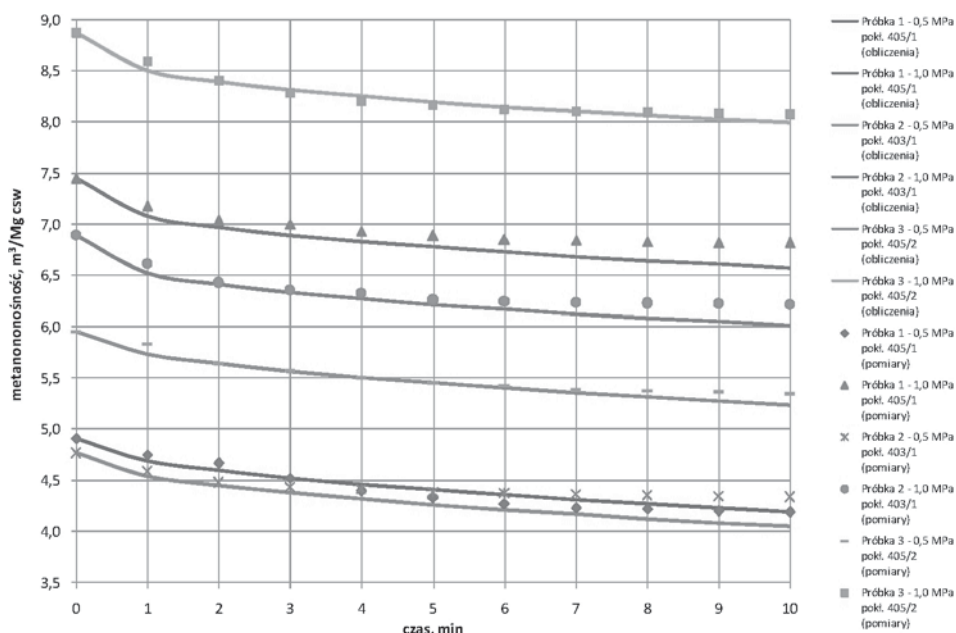
$$M_o = 1,12 \cdot M(2) \quad (4)$$

gdzie:

M_o — metanonośność istotna pokładu węgla [m^3/Mg csw],

$M(2)$ — metanonośność próbki węgla wyznaczona w laboratorium [m^3/Mg csw].

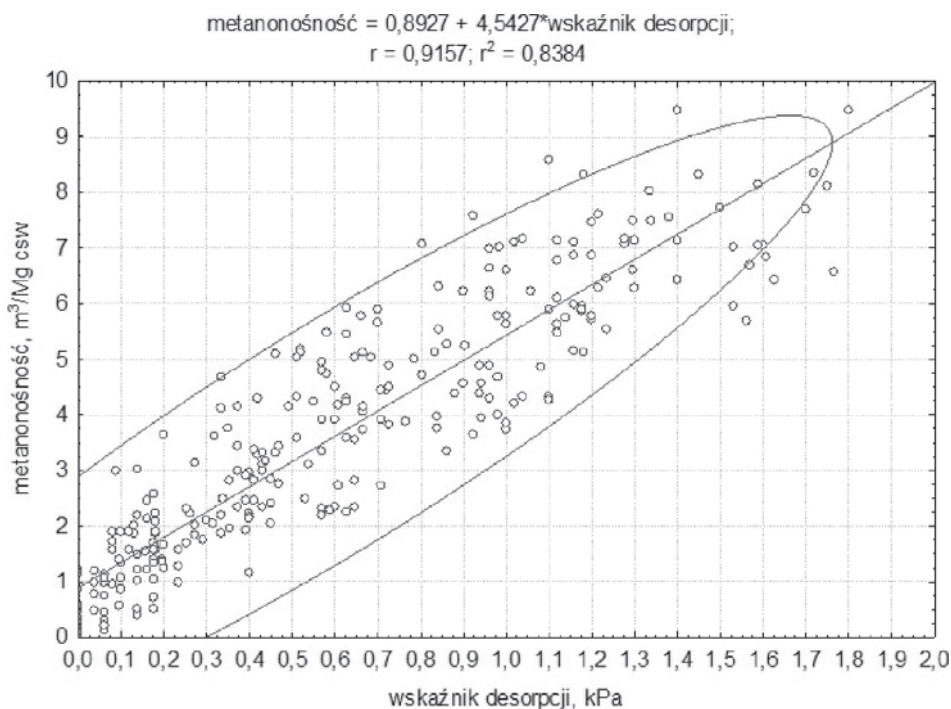
Metanonośność wyznaczoną w laboratorium należy przeliczyć na metanonośność istotną ze wzoru (4).



Rys. 5. Przykładowe zależności desorpcji metanu z próbki w czasie badań i obliczone zależnością (4)

4. Zależność wskaźnika desorpcji od metanonośności węgla

Zależność metanonośności węgla od wskaźnika desorpcji określonego po upływie 2 minut od zamknięcia w naczyniu hermetycznym próbki węgla była niejednokrotnie przedmiotem analizy. Rysunek 6 przedstawia zależność metanonośności węgla od wskaźnika desorpcji dla wyników metanonośności uzyskanych z prowadzonych badań.



Rys. 6. Zależność metanoności od wskaźnika desorpcji

Z tego rysunku wynika, że zależność metanoności pokładu węgla od wskaźnika desorpcji może być opisana zależnością:

$$M = 0,8927 + 4,5427\Delta p \quad (5)$$

gdzie:

M — metanoność pokładu węgla [$\text{m}^3/\text{Mg csuw}$],

Δp — wskaźnik desorpcji określony po 2 minutach od zamknięcia próbki węgla w pojemniku [kPa].

Intensywność desorpcji i zawartość metanu w pokładzie węgla są parą cech, między którymi istnieje zależność. Współczynnik korelacji r , który wyraża liniową zależność między dwoma parametrami, wynosi 0,9157, natomiast współczynnik determinacji r^2 jest równy 0,8384. Wartość r^2 mówi nam, jaką część zmienności wyjaśnia model regresji. Współczynnik r^2 jest tym bliżej wartości 1, im lepiej model opisuje dane. Z obliczeń wynika, że powiązanie między parametrami można wytłumaczyć liniowo aż w 84% wyników.

Zależność (5) umożliwia na podstawie pomierzonego wskaźnika desorpcji określenie metanoności pokładu węgla podczas pobierania próby.

5. Opracowanie nowej metody oznaczania metanoności pokładów węgla

W celu oznaczenia metanoności pokładu węgla w kopalni pobiera się dwie próbki węgla. Próbki stanowią zwierciny uzyskane w czasie wiercenia otworów o długości do 4 m w warstwie węgla. Odległość między 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 powyżej 1,0 mm umieszczana jest w hermetycznie zamykanym pojemniku. Porcja około 5 cm³ zwiercin klasy 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 obliczonego z wykorzystaniem zależności (5) określa się metanoność pokładu węgla. Jednocześnie w trakcie wykonywania wymienionych czynności dokonuje się pomiaru metanu i ciśnienia bezwzględnego w miejscu pobierania próby. Procedura pobierania próbek węgla w celu oznaczania metanoności przedstawiona jest w podrozdziale 5.1.

Do badań laboratoryjnych przekazywane są dwa hermetycznie zamknięte pojemniki z próbkami węgla pochodzącymi z miejsca badań. Procedura badania próbek w laboratorium w celu oznaczania metanoności przedstawiona jest w podrozdziale 5.2.

Procedura laboratoryjna prowadzi do oznaczenia zawartości metanu w próbce. Metanoność pokładu węgla, z uwzględnieniem straty metanu powstałej w czasie poboru próbki, oznacza się wg wzoru (4).

5.1. Procedura pobierania próbek węgla w celu oznaczenia metanoności

W wyrobiskach korytarzowych

- 5.1.1. Należy pobrać dwie próbki węgla.
- 5.1.2. Próbkę pobiera się z otworów wykonanych w warstwie węgla w wyrobisku, które powinno być drażone co najmniej jedną dobę poprzedzającą dzień pobrania próbek.
- 5.1.3. Należy wykonać dwa otwory umożliwiające pobranie próbek. Odległość pomiędzy tymi otworami powinna być nie mniejsza niż 1 m.
- 5.1.4. Próbkę węgla stanowią zwierciny uzyskane w czasie wiercenia otworu bez przedmuchu (koronką minimum $\varnothing 42$) z odcinka otworu na głębokości $G = 3,5-4$ m.
- 5.1.5. W celu wykonania oznaczenia metanoności węgla w każdym wyrobisku należy przygotować dwa hermetycznie zamykane pojemniki stalowe.
- 5.1.6. Przed rozpoczęciem wiercenia należy:
 - a. przygotować dwa sита o średnicach oczek: górne – 1,0 mm, dolne – 0,5 mm,
 - b. skontrolować pojemnik na próbki, a w szczególności: stan węża, stan uszczelki, obecność kul, zamknięcie końcówki węża,
 - c. oznaczyć na przewodzie wiertniczym głębokość otworu, przy której pobierana będzie próba (3,5–4,0 m).

- 5.1.7. W momencie dowiercenia otworu do głębokości 3,5 m wiercenie należy przerwać, a otwór dokładnie oczyścić. Następnie należy podłożyć sita pod wylot otworu i kontynuować wiercenie.
- 5.1.8. Po napełnieniu sita przerwać wiercenie oraz niezwłocznie:
- przesiać zebrane na sitach zwierciny,
 - odmierzyć przy użyciu skalibrowanego naczynia porcję zwiercin klasy powyżej 1 mm (z górnego sita) o objętości ok. 100 cm³ (dla oznaczenia metanonośności),
 - próbkę umieścić w hermetycznym pojemniku,
 - szczelnie domknąć pokrywę pojemnika, sprawdzając stan i centryczność ułożenia uszczelki,
 - zwierciny klasy 0,5–1,0 mm (z dolnego sita) należy wykorzystać do określenia wskaźnika intensywności desorpcji,
 - próbkę o objętości około 5 cm³ umieścić w desorbometrze manometrycznym.
- 5.1.9. Czynności opisane w pkt. 5.1.7 i 5.1.8 powinny być wykonane w czasie 120 s (t_p).
- 5.1.10. Dokonać pomiaru wskaźnika intensywności desorpcji (Δp) po 120 s od zamknięcia próbki w desorbometrze.
- 5.1.11. W wyrobisku w miejscu poboru próbki należy wykonać pomiar stężenia metanu (c_{CH_4}), temperatury powietrza (t_w), oraz ciśnienia bezwzględnego ($6p_w$).
- 5.1.12. Wyniki pomiarów określonych w pkt. 5.1.10 i 5.1.11 oraz głębokość (G) poboru próbki i czas jej poboru (t_w) należy wpisać w „Karcie zapisu pomiarów dla oznaczania metanonośności pokładu węgla” (rys. 8).
- 5.1.13. Pobieranie drugiej próbki powinno się odbywać zgodnie z procedurą stosowaną przy pobieraniu próbki pierwszej.
- 5.1.14. Dodatkowo do „Karty zapisu pomiarów dla oznaczania metanonośności pokładu węgla” należy wpisać:
- numery pobranych próbek,
 - numery pojemników, do których poszczególne próbki zostały pobrane,
 - datę poboru próbek,
 - nazwisko osoby pobierającej próbki,
 - nazwę zakładu górniczego,
 - numer pokładu,
 - nazwę wyrobiska,
 - współrzędne (x, y, z) miejsca, w którym pobierane były próbki.
- 5.1.15. Na podstawie wskaźnika intensywności desorpcji (Δp), przy wykorzystaniu zależności (5) określa się metanonośność i wynik zapisuje w „Karcie zapisu pomiarów dla oznaczania metanonośności pokładu węgla”.
- 5.1.16. W „Karcie zapisu pomiarów dla oznaczania metanonośności pokładu węgla” należy wykonać szkic rozmieszczenia wykonanych otworów.
- 5.1.17. W przypadku stwierdzonych zjawisk gazodynamicznych towarzyszących pomiarem, takich jak: syczenie gazu, widoczne zaburzenia geologiczne, wydzielanie wody na ociosie wyrobiska, widoczne zmiany w strukturze węgla oraz innych odstępstw od przedstawionej powyżej procedury, zmiany zaznaczyć w rubryce „Uwagi” w „Karcie zapisu pomiarów dla oznaczania metanonośności pokładu węgla”.

- 5.1.18. Do badań laboratoryjnych w celu oznaczenia metanonośności należy przekazać dwie próbki węgla, zamknięte w stalowych pojemnikach, pobrane zgodnie z zasadami zawartymi w niniejszej procedurze wraz z wypełnioną „Kartą zapisu pomiarów dla oznaczania metanonośności pokładu węgla”.

W drążonych szybach (szybikach) oraz w wyrobiskach korytarzowych w momencie przechodzenia tymi wyrobiskami przez pokłady węgla o miąższości powyżej 0,4 m

- 5.1.19. Po stwierdzeniu pokładu węgla o miąższości powyżej 0,4 m niezwłocznie pobiera się próbkę z otworu wykonanego w pokładzie węgla. Procedura pobierania próbki po nawierceniu pokładu węgla jest identyczna jak ta przedstawiona w punktach 5.1.1–5.1.18.

5.2. Procedura badania próbek węgla w laboratorium

- 5.2.1. Stan przekazanych do laboratorium pojemników należy skontrolować, uwzględniając:
- stan węża,
 - centryczność ułożenia uszczelki,
 - prawidłowość zamknięcia pokrywy przez próbę dokręcenia śruby dociskowej.
- Pojemniki, w których kontrola wykazała nieszczelność powodującą stratę gazu, należy eliminować z dalszych badań.
- 5.2.2. Wskazane jest rozdrobnienie węgla bezpośrednio po otrzymaniu pojemnika.
- 5.2.3. Po zakończeniu rozdrabniania należy wykonać odgazowanie próbek węgla z zastosowaniem aparatu do odgazowania próbek skał, zgodnie z instrukcją obsługi tego aparatu.
- 5.2.4. Po zakończonym odgazowaniu węgla należy odczytać ciśnienie w zbiorniku pomiarowym odciągniętego gazu (p_g) oraz temperaturę powietrza w laboratorium (t_l). Następnie należy pobrać próbkę gazu ze zbiornika pomiarowego w celu określenia procentowego stężenia metanu.
- 5.2.5. Stężenie metanu w odciągniętej mieszaninie gazów należy wpisać do „Karty zapisu i obliczania wyników dla oznaczania metanonośności pokładu węgla” (rys. 7).
- 5.2.6. Po odgazowaniu próbki węgla należy doprowadzić powietrze do pojemnika, otwierając zacisk na wężu. Następnie należy otworzyć pojemnik i wyjąć łyżeczką kule na tacę, wysypać na nią węgiel, omiatając dokładnie pędzelkiem pojemnik, wewnętrzną powierzchnię pokrywy i kule.
- 5.2.7. Każdorazowo należy skontrolować prawidłowość rozdrobnienia węgla. Obecność w rozdrobnionej próbce grubszych ziarenek węgla świadczy o złej pracy wstrząsarki lub o wysokiej zwięzłości węgla. W zależności od ustalonej przyczyny należy:
- naprawić wstrząsarkę,
 - wydłużyć czas rozdrabniania,
 - ściśle przestrzegać pobierania próbek o właściwej objętości.

- 5.2.8. Następnie należy określić masę próbki (m_w) przez zważenie jej z dokładnością do 0,1 g. Przesypać węgiel do szczelnie zamkniętego naczynia, zaopatrzyć go w metrykę próbki i przekazać do analizy w celu określenia zawartości: wilgoci całkowitej i popiołu w węglu. Dodatkowo należy wyznaczyć gęstość węgla (d_{rd}) wg normy PN-G-04537.
- 5.2.9. Zawartość wilgoci całkowitej (W_c), popiołu (A_a) należy oznaczyć zgodnie z polskimi normami: PN-G-04511:1980, PN-ISO 1171:2002 lub PN-G-04560:1998.
- 5.2.10. W laboratorium wypełnia się „Kartę zapisu i obliczania wyników dla oznaczania metanonośności pokładu węgla” (rys. 7), tj.:
- numer pobranej próbki,
 - numer pojemnika z pobraną próbką,
 - nazwę zakładu górniczego,
 - numer pokładu,
 - nazwę wyrobiska,
 - datę pobrania próbki,
 - datę analizy próbki,
 - stężenie metanu w miejscu poboru próbki (c_{CH_4}),
 - zawartość wilgoci całkowitej (W_c),
 - zawartość popiołu w węglu (A_a),
 - gęstość węgla (d_{rd}),
 - masę próbki (m_w),
 - objętość zbiornika gazu (V_z),
 - objętość pojemnika zawierającego próbkę węgla (V_p),
 - objętość kul w pojemniku zawierającym próbkę węgla (V_k),
 - temperatura powietrza w laboratorium (t_l),
 - ciśnienie w zbiorniku pomiarowym odciągniętego gazu (p_z),
 - stężenie metanu w odciągniętej mieszaninie (s_{CH_4}).
- 5.2.11. W celu oznaczenia metanonośności pokładu węgla należy wyznaczyć:
- udział czystej substancji węglowej w próbce (c_{sw}):

$$c_{sw} = 100 - (W_c + A_a) [\%]$$

- masę czystej substancji węglowej (m_{csw}):

$$m_{csw} = \frac{m_w \cdot c_{sw}}{100} [\text{g}]$$

- objętość próbki węgla (V_w):

$$V_w = \frac{m_w}{d_{rd}} [\text{cm}^3]$$

- objętość wolnej przestrzeni pojemnika z próbką (V_{wp}):

$$V_{wp} = V_p - (V_w + V_k) [\text{cm}^3]$$

- e. objętość wolnej przestrzeni pojemnika z próbką z uwzględnieniem warunków panujących w miejscu poboru próbki (V'_{wp}):

$$V'_{wp} = \frac{V_{wp} \cdot p_w}{p_o} \cdot \frac{273,15 + t_o}{273,15 + t_w} [\text{cm}^3]$$

gdzie:

p_o — ciśnienie odniesienia [hPa],
 t_o — temperatura odniesienia [$^{\circ}\text{C}$].

W odniesieniu do temperatury 20°C i ciśnienia 1013,25 hPa powyższy wzór przyjmuje następującą postać:

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

- f. objętość gazu odciągniętego z pojemnika zawierającego próbkę (V_o):

$$V_o = \frac{V_z \cdot p_z}{p_o} \cdot \frac{273,15 + t_o}{273,15 + t_l} [\text{cm}^3]$$

gdzie:

V_o — objętość odciągniętego gazu z pojemnika w temperaturze t_o i przy ciśnieniu p_o ,
 V_z — objętość gazu w pojemniku wzorcowym w temperaturze t_l i przy ciśnieniu p_z ,
 p_o — ciśnienie odniesienia [hPa],
 t_o — temperatura odniesienia [$^{\circ}\text{C}$].

W odniesieniu do temperatury 20°C i ciśnienia 1013,25 hPa oraz po wyrównaniu temperatury w zbiorniku odciągniętego gazu z temperaturą panującą w laboratorium powyższy wzór przyjmuje następującą postać:

$$V_o = 0,2893 \cdot \frac{V_z \cdot p_z}{273,15 + t_l} [\text{cm}^3]$$

- g. objętość metanu w odciągniętej mieszaninie gazów (V_{CH_4}):

$$V_{\text{CH}_4} = \frac{V_o \cdot s_{\text{CH}_4}}{100} [\text{cm}^3]$$

- h. objętość metanu nabrane go do pojemnika podczas poboru próbki (V'_{CH_4}):

$$V'_{\text{CH}_4} = \frac{V'_{wp} \cdot c_{\text{CH}_4}}{100} [\text{cm}^3]$$

- i. objętość metanu uzyskanego z próbki węgla (V''_{CH_4}):

$$V''_{\text{CH}_4} = V_{\text{CH}_4} - V'_{\text{CH}_4} \text{ [cm}^3\text{]}$$

- j. zawartość metanu w próbce ($M(2)$):

$$M(2) = \frac{V''_{\text{CH}_4}}{m_{\text{csw}}} \text{ [m}^3\text{/Mg csw]}$$

5.2.12. Metanonośność oznaczona pokładu (M_o) węgla z uwzględnieniem straty gazu powstałej w czasie poboru próbki oznacza się wg wzoru (4).

5.2.13. Straty gazu w trakcie pobierania próby wynoszą:

$$V_u = M_o - M(2) \text{ [m}^3\text{CH}_4\text{/Mg csw]}$$

5.3. Interpretacja wyników

5.3.1. Do określenia metanonośności pokładu w miejscu pobrania prób przyjmuje się wyższą wartość metanonośności z badanych próbek.

5.3.2. Sprawozdanie z oznaczenia metanonośności pokładu oraz prowadzonych w tym celu pomiarów i badań stanowi „Karta zapisu i obliczania wyników dla oznaczania metanonośności pokładu węgla” (rys. 7), oraz „Karta zapisu pomiarów dla oznaczania metanonośności pokładu węgla” (rys. 8).

5.4. Wymagane przyrządy i aparatura pomiarowa

5.4.1. Przyrządy i aparatura do poboru próbek węgla do oznaczania metanonośności:

- wiertarka z koronką minimum $\varnothing 42$ (bez przedmuchu),
- dwa sita: o średnicach oczek 0,5 mm i 1 mm,
- dwa stalowe hermetycznie zamykane pojemniki wraz z kulami,
- desorbometr manometryczny,
- stoper,
- termometr,
- barometr,
- analizator gazów (metanomierz).

5.4.2. Przyrządy i aparatura do badania próbek węgla w laboratorium do oznaczania metanonośności:

- wstrząsarka,
- aparat do odgazowania próbek skał,
- wzorcowy pojemnik hermetyczny,
- analizator gazów do określenia stężenia metanu,
- waga analityczna,
- manometr.

JEDNOSTKA

Nr próbki	
Numer pojemnika z próbką	
Zakład Górniczy	
Pokład	
Nazwa wyrobiska	
Data pobrania próbki	
Data analizy próbki	

Stężenie metanu w miejscu poboru próbki

Gaz	Stężenie, %
c_{CH_4}	

Zawartość wilgoci całkowitej	W_c		%
Zawartość popiołu w węglu	A_{st}		%
Gęstość węgla	d_{rd}		g/cm^3
Masa pobranej próbki węgla	m_w		g
Objętość zbiornika gazu	V_z		cm^3
Objętość pojemnika zawierającego próbkę węgla	V_p		cm^3
Objętość kul w pojemniku zawierającym próbkę węgla	V_k		cm^3
Temperatura powietrza w laboratorium	t_l		$^{\circ}C$
Cięnienie w zbiorniku pomiarowym odciągniętego gazu	p_z		hPa
Czysta substancja węglowa	c_{sw}		%
Masa czystej substancji węglowej	m_{csw}		g
Objętość próbki	V_w		cm^3
Objętość wolnej przestrzeni pojemnika z próbką	V_{wp}		cm^3
Objętość wolnej przestrzeni pojemnika z próbką w przeliczeniu na warunki panujące w miejscu poboru próbki	V'_{wp}		cm^3
Objętość pozyskanego gazu	V_o		cm^3

Stężenie metanu w odciągniętej mieszaninie gazów	s_{CH_4}		%
Objętość metanu w odciągniętej mieszaninie gazów	V_{CH_4}		cm^3
Objętość metanu nabrane do pojemnika podczas poboru próbki	V'_{CH_4}		cm^3
Objętość metanu uzyskanego z próbki węgla	V''_{CH_4}		cm^3

Zawartość metanu w próbce węgla	$M(2)$		m^3/Mg csw
Strata gazu	V_u		m^3/Mg csw
Metanonośność oznaczona	M_o		m^3/Mg csw

Dokońca oznaczenia metanonośności (data i podpis):

Rys. 7. Sprawozdanie z badań.
Karta zapisu i obliczania wyników dla oznaczania metanonośności pokładu węgla

JEDNOSTKA																	
Numery próbek	1	2	Numery pojemników z próbkami	1	2												
Data pobrania próbek			Osoba pobierająca próbki														
Zakład Górniczy	<input style="width: 100%;" type="text"/>		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Współrzędne miejsca poboru próbek</div> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; border: 1px solid black;">X</td> <td style="width: 50%; border: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;">Y</td> <td style="border: 1px solid black;"></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;">Z</td> <td style="border: 1px solid black;"></td> </tr> </table>			X		Y		Z							
X																	
Y																	
Z																	
Pokład	<input style="width: 100%;" type="text"/>																
Nazwa wyrobiska	<input style="width: 100%;" type="text"/>																
Wskaźnik desorpcji Δp , kPa	<input style="width: 100%;" type="text"/>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">1</td> <td style="width: 50%;">2</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="height: 20px;"></td> </tr> </table>			1	2	1	2	1	2	1	2				
1	2																
1	2																
1	2																
1	2																
Głębokość pobrania próbki w otworze G , m	<input style="width: 100%;" type="text"/>																
Czas pobrania próbki T , s	<input style="width: 100%;" type="text"/>																
Stężenie metanu w wyrobisku c_{CH_4} , %	<input style="width: 100%;" type="text"/>																
Temperatura powietrza w wyrobisku t_w , °C	<input style="width: 100%;" type="text"/>																
Ciśnienie bezwzględne w wyrobisku p_w , hPa	<input style="width: 100%;" type="text"/>																
Metanonośność określona na podstawie wskaźnika desorpcji - tablica 1 lub z rysunek 1	<input style="width: 100%;" type="text"/>		<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">1</td> <td style="width: 50%;">2</td> </tr> </table>			1	2										
1	2																
Szkiec przodka z rozmieszczeniem otworów	Uwagi																

Przyjął do badań w laboratorium (data i podpis):

Rys. 8. Karta zapisu pomiarów dla oznaczania metanonośności pokładu węgla

6. Podsumowanie

Celem prowadzonych badań była obiektywna ocena dotychczas stosowanych metod oznaczania metanu pochodzenia naturalnego w węglu i opracowanie nowej metody. Wykonano analizę procedur przygotowania i przeprowadzenia badań metanonośności w pokładach węgla i w laboratorium badawczym. Analiza dotychczasowych metod oznaczania metanonośności pozwoliła na opracowanie jednolitej procedury pobierania próbek węgla i wyznaczania zawartości metanu w próbce w laboratorium.

Wyniki badań wskazują, że zawartość metanu w pokładach węgla powinna być ustalana na podstawie analizy prób zwiercin pobranych podczas wiercenia otworu w pokładzie, z przedziału 3,5 m do 4,0 m. Sposób pobierania zwiercin z otworów został przedstawiony w pracy [12] i opracowanej propozycji normy [13]. Sposób ten umożliwia oznaczenie metanonośności podczas pobierania prób zwiercin przy wykorzystaniu wskaźnika desorpcji określonego desorbometrem manometrycznym oraz podczas badań pobranej próbki w laboratorium.

W celu wyznaczenia strat metanu w trakcie pobierania prób węgla do analizy przeprowadzono badania sorpcji i desorpcji metanu na próbkach węgla. Wykonane badania sorpcji i desorpcji metanu na węglu przy różnych wartościach ciśnienia nasycenia pozwoliły na ustalenie zależności umożliwiającej obliczenia strat metanu w czasie pobierania próbki węgla w wyrobiskach górniczych. W procedurze wyznaczania zawartości metanu należy uwzględnić odniesienie uzyskanych wartości metanu do warunków odniesienia, które winny wynosić: temperatura 20°C i ciśnienie 101,325 kPa. Jako wartość metanonośności pokładu węgla przyjmuje się wartość większą z dwóch pobranych prób. Wyznaczona wartość metanonośności pokładu węgla w przeliczeniu na czystą substancję węglową powinna być powiększona o wartość strat metanu podczas pobierania zwiercin z otworu. Straty metanu w czasie 2 minut pobierania próby można obliczyć ze wzoru (4).

Desorbometryczny sposób określania metanonośności pokładów węgla został opracowany z przeznaczeniem do ruchowego stosowania przez kopalniane służby wentylacyjne. Sposób ten polega na określaniu przybliżonej metanonośności pokładu węgla na podstawie ustalonej statystycznie zależności między metanonośnością i wielkością wskaźników desorpcji (5). Można zatem ustalić zawartość metanu w węglu na podstawie wielkości wskaźnika desorpcji.

Korzystając z przedstawionych zależności, opracowano projekt normy oznaczania zawartości metanu w pokładach węgla [13]. W tym projekcie zaprezentowano sposób postępowania podczas pobierania próby w kopalni i w laboratorium.

LITERATURA

- [1] Kotarba M.: Geomechaniczne kryteria genezy gazów akumulowanych w serii węglonośnej górnego karbonu niecki wałbrzyskiej. Zeszyty Naukowe AGH, Geologia, 19, z. 49, 1988
- [2] Czaplński A. (red.): Węgiel kamienny. Kraków, Wydawnictwo AGH 1994
- [3] Levine J.R.: Oversimplifications Can Lead to Faulty Coalbed Gas Reservoir Analysis. Oil&Gas Journal, Nov. 23, 1992, s. 63–69
- [4] Tarnowski J.: Stosowane w kraju metody oznaczeń gazonośności złożowej. Przegląd Górniczy, nr 9, 1992, s. 17–26
- [5] McFall K.S., Wicks D.E. Kuuskraa V.A.: A Geologic Assessment of natural Gas from Coal Seams in the Warrior Basin, Alabama. Gas Research Institute, Topical report, GRI-86/02272, 1986

- [6] *Mullen M.J.*: Coalbed Methane Resource Evaluation from Wireline Logs in the North-Eastern San Juan Basin – A Case Study. “Proceedings of the 1989 Coalbed Methane Symposium”, Tuscaloosa, AL, 1986, pp. 167–184
- [7] *Borowski J.*: Badanie gazonośności pokładów z zastosowaniem nowych metod. Prace GiG, Komunikat nr 645, Katowice, 1975
- [8] *Tarnowski J., Pelka A.*: Określenie strat gazu w czasie pobierania prób węgla do bezpośredniego oznaczania gazonośności złożowej. Archiwum Górnictwa, nr 2, 1990
- [9] *Ryszka M., Sporysz G.*: Ruchowa ocena panujących warunków zagrożenia metanowego z wykorzystaniem zależności między parametrami zagrożenia metanowego w południowo-wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Prace Naukowe GIG, Kwartalnik Górnictwo i Środowisko, nr IV/2/2009, 2009
- [10] *Szlązak N., Borowski M., Sorysz G.*: Zmiany metanonośności pokładów węgla w południowo-wschodnim rejonie GZW. Prace Naukowe GIG, Kwartalnik Górnictwo i Środowisko, nr IV/2/2010, 2010
- [11] *Szlązak N., Borowski M., Obracaj D., Swolkień J., Korzec M.*: Zależność metanonośności od zwięzłości pokładów węgla. Prace Naukowe GIG, Kwartalnik Górnictwo i Środowisko, nr IV/2/2010, 2010
- [12] *Szlązak N., Borowski M., Obracaj D., Swolkień J., Korzec M.*: Metoda oznaczania metanonośności w pokładach węgla kamiennego. Kraków, Wydawnictwa AGH 2011.
- [13] *Metoda oznaczania metanonośności w pokładach węgla kamiennego*. Projekt normy złożony do Komitetu Normalizacyjnego, 2011