

Wyznaczanie efektywnego współczynnika dyfuzji za pomocą nowatorskiego układu do pomiarów akumulacji i uwalniania gazów z próbek węglowych

MATEUSZ KUDASIK, NORBERT SKOCZYLAS, JULIUSZ TOPOLNICKI, MIROSLAW WIERZBICKI

Instytut Mechaniki Górotworu PAN; ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków

Streszczenie

W artykule przedstawiona została aparatura pomiarowa do analizy transportu gazów w próbkach węglowych. Zbudowane w Pracowni Mikromerytyki IMG PAN urządzenie składa się z dwóch układów funkcjonalnych: sorpcjomatu, który umożliwia prowadzenie pomiarów akumulacji gazów przy stałym ciśnieniu oraz przepływomierza kapilarnego do analizy uwalniania gazów z próbki węglowej do atmosfery. Przedstawiono wyniki badań, z wykorzystaniem próbek węglowych pochodzących z czterech różnych kopalń węgla kamiennego. Próbki te różniły się swoimi właściwościami sorpcyjnymi. Przeprowadzone analizy polegały na rejestracji kinetyki sorpcji próbek o frakcji ziarnowej 0.20-0.25 mm przy ich nasycaniu metanem od próżni do 1 bar. Uzyskane wyniki pomiarów zestawiono z wynikami dla tych samych próbek, uzyskanymi z badań na urządzeniu sorpcyjno-grawimetrycznym IGA-001.

Słowa kluczowe: Efektywny współczynnik dyfuzji, pojemność sorpcyjna węgla, sorpcjomat

1. Wstęp

Obecność metanu w pokładach węgla kamiennego Górnosląskiego Zagłębia Węglowego jest nieodzownym czynnikiem towarzyszącym wydobywaniu węgla kamiennego. Obecność w górotworze gazu jest warunkiem niezbędnym do inicjacji wyrzutu skalno-gazowego. Analiza zjawisk związanych z obecnością i transportem gazu w węglu ma ogromne znaczenie dla zwiększenia bezpieczeństwa pracy w kopalniach węgla kamiennego. Dużym utrudnieniem w prowadzeniu badań transportu gazu w węglu jest czasochłonność pomiarów. Konieczne jest zatem dążenie do generowania wystarczającej ilości danych dla długoczasowych badań poprzez zrównoleglenie pomiarów. Zrównoleglenie pomiarów możliwe jest z kolei poprzez budowę nowych stanowisk, konstruowanie nowych urządzeń oraz wzbogacenie dostępnych metod pomiarowych o nowe rozwiązania i sposoby prowadzenia pomiarów. Prowadzenie równoległych badań transportu gazu w próbkach węglowych możliwe jest tylko i wyłącznie przy zapewnieniu wiarygodności i porównywalności uzyskiwanych wyników z wielu narzędzi i metod pomiarowych.

Większość komercyjnie dostępnych systemów pomiarowych do analizy zjawisk związanych z obecnością i transportem gazu w węglu jest bardzo kosztowna i niezwykle skomplikowana w budowie i obsłudze. Stąd rozbudowa bazy laboratoryjnej poprzez powielanie stanowisk, jest zwykle często niemożliwa. W Pracowni Mikromerytyki IMG PAN zbudowany został nowatorski układ do pomiarów akumulacji i uwalniania gazów z próbek węglowych. Zbudowany układ charakteryzują prosta budowa, łatwa obsługa oraz przede wszystkim bardzo niskie koszty jego budowy. Jednak, aby zbudowana aparatura spełniła swoje zadanie, niezbędna jest jej weryfikacja poprzez przeprowadzenie badań porównawczych w zestawieniu z aparaturą wzorcową.

Celem przeprowadzonych badań była weryfikacja wiarygodności wyznaczania efektywnego współczynnika dyfuzji za pomocą nowatorskiego układu do pomiarów transportu gazu w próbkach węglowych.

2. Aparatura pomiarowa

Badania przeprowadzone zostały przy użyciu dwu urządzeń pomiarowych:

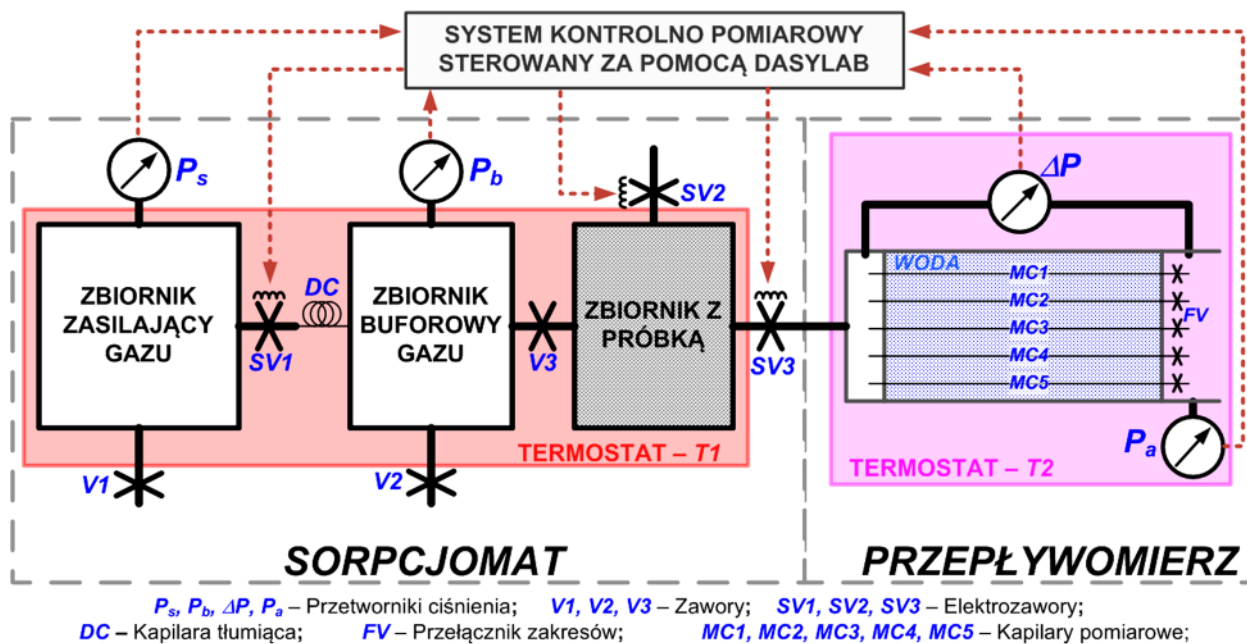
- aparatury sorpcyjno-grawimetrycznej IGA-001 (firmy Hiden Isochema) – jako urządzenia wzorcowego, będącego na wyposażeniu Pracowni Mikromerytyki IMG PAN,
- sorpcjomatu – nowatorskiego urządzenia do pomiarów kinetyki akumulacji gazów w próbkach węglowych, zbudowanego w Pracowni Mikromerytyki IMG PAN.

2.1. IGA

IGA-001 (Intelligent Gravimetric Analyser) firmy Hiden Isochema to aparatura do prowadzenia pomiarów sorpcyjnych metodą grawimetryczną (Benham & Ross, 1989). Badanie za pomocą systemu IGA-001 polega na śledzeniu zmian masy próbki w funkcji czasu, wywołanych sorpcją/desorpcją gazu. Pomiar prowadzone są w warunkach stałego ciśnienia sorpcji w zakresie 0÷20 bar oraz przy stałej temperaturze w zakresie -20÷80°C. IGA-001 umożliwia prowadzenie w pełni zautomatyzowanych pomiarów poprzez programowanie sekwencji całej serii pomiarowej dla danej próbki. System IGA-001 jest powszechnie stosowanym narzędziem pomiarowym do badań wielu parametrów sorpcyjnych sorbentów. W prezentowanych badaniach IGA-001 została użyta jako wzorzec pomiarowy do wyznaczania efektywnego współczynnika dyfuzji. Wyniki uzyskane z systemu IGA-001 zestawione zostały z rezultatami otrzymanymi przy użyciu aparatury pomiarowej zbudowanej w Pracowni Mikromerytyki IMG PAN.

2.2. Sorpcjomat

W artykule (Kudasik i Topolnicki, 2010) przedstawiona została autorska aparatura pomiarowa w postaci wielozakresowego przepływomierza kapilarnego służącego do badań kinetyki uwalniania zasorbowanego gazu. Ponadto w artykule (Kudasik i in., 2009) omówiona została, w sposób szczegółowy, stacjonarna metoda kalibracji przepływomierza kapilarnego. Opisaną w wymienionych publikacjach aparaturę została rozbudowana o układ do pomiarów akumulacji gazów w próbkach węglowych, zwany sorpcjomatem. Złożenie obu układów stanowi nowatorski, kompleksowy system do pomiarów transportu gazu do i z próbek węglowych (rys. 1).



Rys. 1. Schemat aparatury pomiarowej do pomiarów transportu gazu do i z próbek węglowych

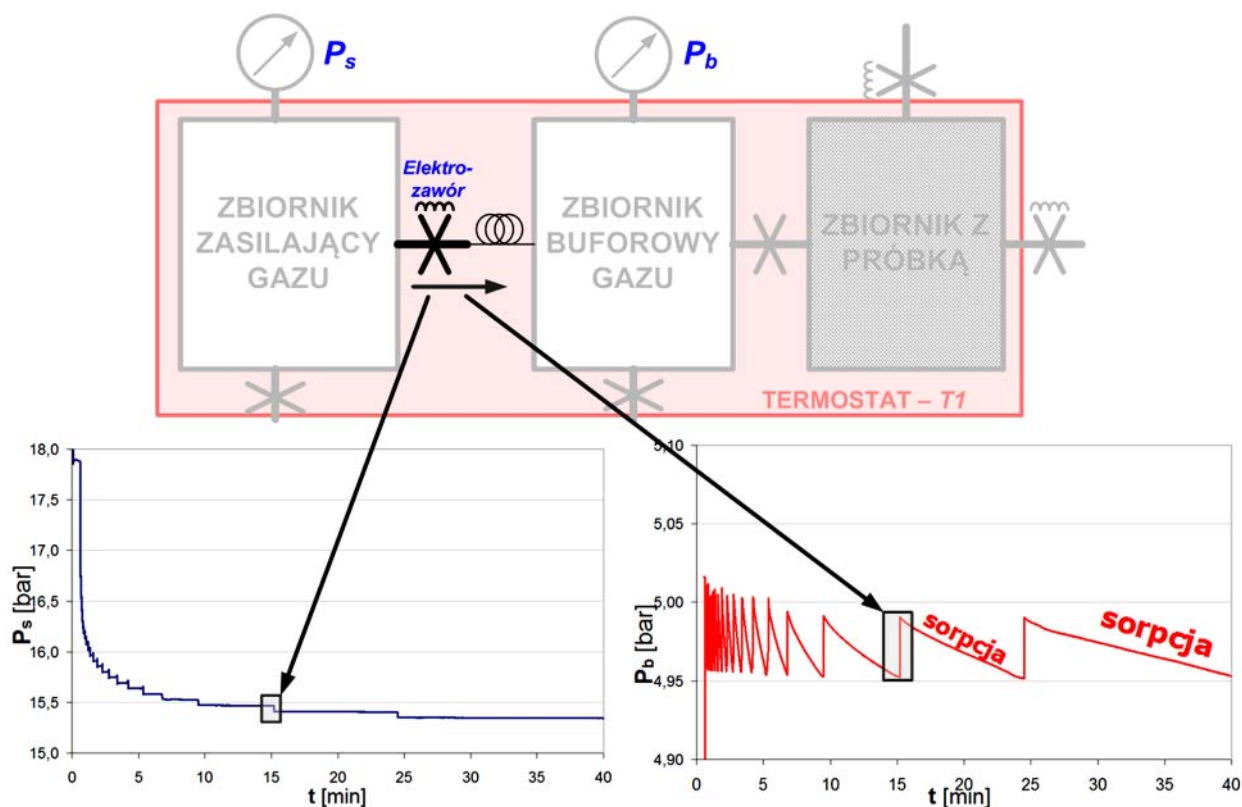
W artykule (Kudasik i Topolnicki, 2010) układ przepływomierza kapilarnego został szczegółowo omówiony, dlatego w niniejszej publikacji autorzy ograniczyli się do opisu układu sorpcjomatu. Działanie sorpcjomatu jest podobne do sposobu funkcjonowania manostatu – precyzyjnego regulatora ciśnienia, opisanego szerzej w artykule (Kudasik i Topolnicki, 2010), z tą różnicą, że sorpcjomat rozbudowany został o dodatkowy zbiornik na próbkę.

Sorpcjomat składa się z trzech połączonych ze sobą zbiorników (rys. 1):

- zbiornika zasilającego gazu – w którym znajduje się zapas sorbatu,
- zbiornika buforowego gazu – w którym ciśnienie sorbatu stabilizowane jest na stałym poziomie,
- zbiornika z próbką – w którym znajduje się sorbent.

Pomiary za pomocą sorpcjomatu prowadzone były przy stałym, regulowanym ciśnieniu sorpcji w zakresie 0–8 bar oraz w stałej, regulowanej temperaturze w zakresie 20–40°C. Zbiornik zasilający połączony jest za pomocą elektrozaworu i kapilary tłumiącej ze zbiornikiem buforowym, który z kolei połączony jest zaworem kulowym ze zbiornikiem z próbką. Zbiorniki zasilający i buforowy zaopatrzone są w przetworniki ciśnienia P_s i P_b , przy czym zachodzi relacja $P_s > P_b$. Ciśnienie gazu w zbiorniku buforowym jest stabilizowane na wymaganym poziomie, za pomocą systemu kontrolno-pomiarowego Advantech USB-4716 sterowanego oprogramowaniem DasyLab. Sorpcja gazu w próbce wywołuje spadek ciśnienia P_b w zbiorniku z próbką połączonym ze zbiornikiem buforowym. System DasyLab na podstawie poziomu ciśnienia P_b decyduje o konieczności otwarcia elektrozaworu *SV1*, łączącego zbiornik zasilający ze zbiornikiem buforowym. Wywołuje to przepływ porcji gazu, który następnie sorbowany jest w próbce (rys. 2). W trakcie procesu sorpcji gazu w próbce, elektrozawór otwierany jest quasi-periodycznie z wydłużającym się okresem, aż do momentu osiągnięcia równowagi sorpcyjnej. Celem bufora i kapilary jest tłumienie skoków ciśnienia P_b , wywołanych otwarciem elektrozaworu i przyływem porcji gazu. Gabaryty kapilary (średnica wewnętrzna $\varnothing 0.21$ mm) oraz objętość zbiornika buforowego (78 cm³) odgrywają istotną rolę w precyzji stabilizacji ciśnienia gazu. Dokładność stabilizacji ciśnienia przez sorpcjomat wynosi ± 0.05 bar.

Czasowe zmiany ilości zasorbowanego w próbce gazu określone są na podstawie spadku ciśnienia P_s w zbiorniku zasilającym. Znając objętość zbiornika zasilającego (58 cm³), objętość zbiornika na próbkę (80 cm³) oraz masę i gęstość badanej próbki, można przeliczyć zmiany ciśnienia P_s na ilość gazu pobranego ze zbiornika zasilającego, odpowiadające ilości zasorbowanego w próbce gazu.



Rys. 2. Idea działania sorpcjomatu podczas pomiaru sorpcji gazu na próbce węglowej

3. Materiał badawczy

Do badań porównawczych użyto czterech próbek pochodzących z różnych kopalń węgla kamiennego Górnosląskiego Zagłębia Węglowego. Na aparaturze IGA-001 odważono próbki o masie nie przekraczającej 0.5 g, natomiast do pomiarów za pomocą sorpcjomatu przygotowano próbki o masie około 50 g. Właściwości próbek przeznaczonych do badań zestawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Parametry próbek użytych do badań

| Pochodzenie „KWK” | Klasa ziarnowa [mm] | Masa [g] | | Zawartość popiołu [%] | Zawartość części lotnych [%] | Zawartość wilgoci [%] |
|--------------------|---------------------|----------|------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| | | IGA | Sorpcjomat | | | |
| „Brzeszcze” | 0.20÷0.25 | 0.456 | 45.6 | 10.78 | 26.53 | 2.81 |
| „Borynia-Zofiówka” | 0.20÷0.25 | 0.485 | 56.1 | 16.06 | 27.83 | 5.36 |
| „Sobieski” | 0.20÷0.25 | 0.453 | 45.0 | 21.43 | 30.69 | 13.31 |
| „Pniówek” | 0.20÷0.25 | 0.455 | 52.6 | 11.06 | 27.14 | 5.65 |

4. Wyniki

Pomiary na obu aparaturach przeprowadzone zostały według tej samej procedury pomiarowej. W pierwszym etapie pomiaru prowadzono 24-godzinny proces odgazowania próbek do ciśnień rzędu 10^{-5} bar. Kolejnym etapem był proces 24-godzinnego nasycania próbek metanem od próżni do 1 bar w temperaturze 35°C .

Wyniki uzyskane za pomocą sorpcjomatu oraz urządzenia IGA zostały przetworzone za pomocą autorskiego oprogramowania. Oprogramowanie to bazuje na założeniu, iż proces akumulacji metanu na próbce ziarnistej zachodzi zgodnie z modelem jednoporowym (Xiaojun et al., 2004). Model ten wymaga przyjęcia szeregu założeń (Wierzbicki i Skoczylas, 2011).

Zmiany rozkładu stężenia cząstek zdeponowanego gazu zgodnie z tym modelem są opisywane równaniem:

$$\frac{\partial c(r, t)}{\partial t} = \frac{D}{1+\Gamma} \nabla^2 c(r, t) = D_e \nabla^2 c(r, t), \quad D_e = \frac{D}{1+\Gamma}$$

gdzie:

- D_e – jest efektywnym współczynnikiem dyfuzji,
- Γ – jest współczynnikiem izotermi Henry’ego.

Rozwiązanie równania stosownego dla modelu jednoporowego można znaleźć u Cranka (Crank, 1975) i Timofiejewa (Timofiejew, 1967). W określonych warunkach początkowych i brzegowych, ma ono postać:

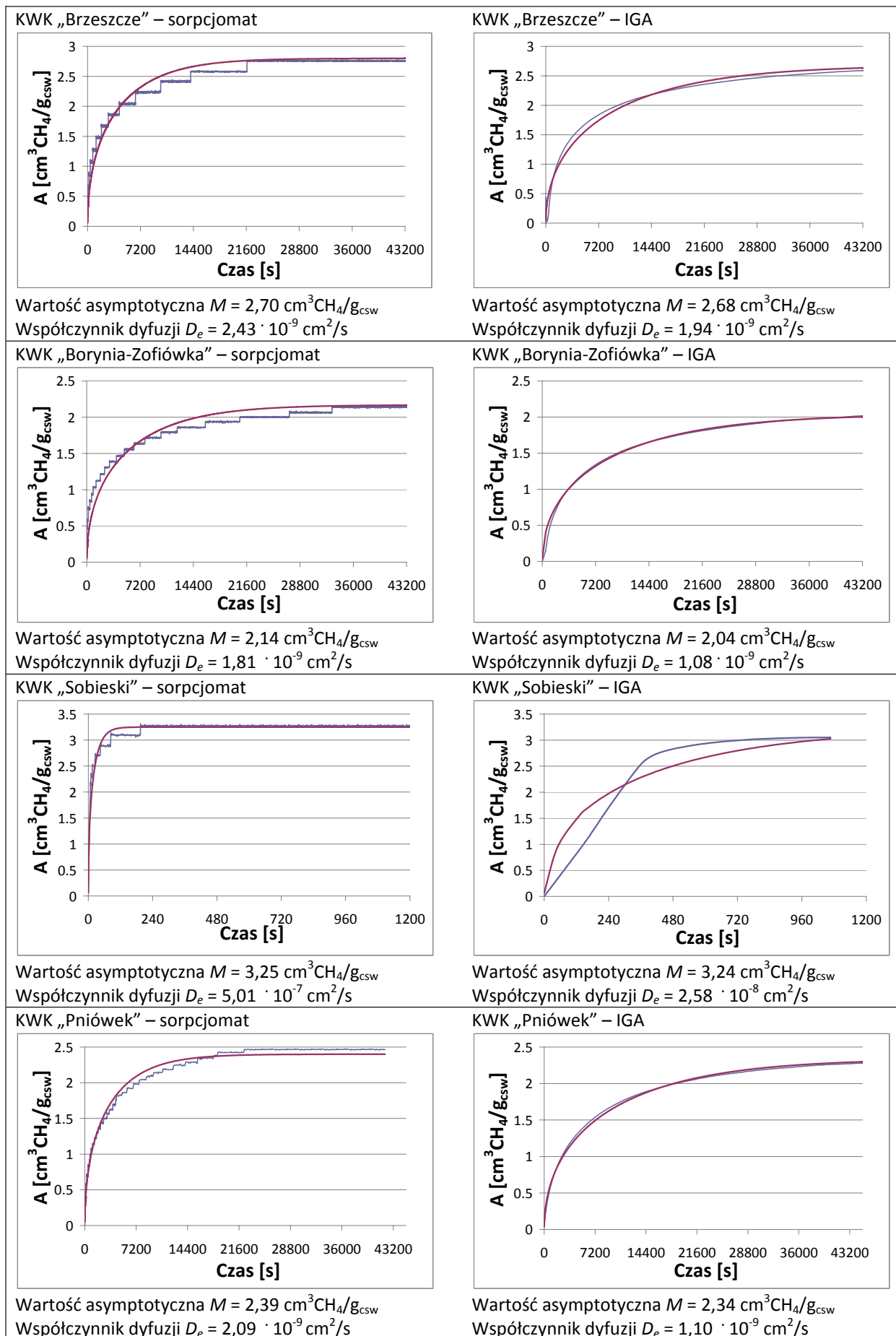
$$m(t) = \frac{6M}{\pi^2} \left(\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2 D_e t}{R^2}\right) \right) \quad (1)$$

gdzie:

- M [g] – jest całkowitą masą zdeponowanego gazu w ziarnach,
- $m(t)$ [g] – jest masą gazu zdeponowanego w danej chwili t ,
- R [cm] – jest zastępczym promieniem ziarna – dla próbki o rozpatrywanej klasie ziarnowej wyznaczany z zależności

$$R = \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{2 \cdot d_1^2 \cdot d_2^2}{d_1 + d_2}}$$

gdzie d_1 i d_2 to granice wielkości ziarn badanej klasy ziarnowej.



Rys. 3. Zestawienie wyników pomiarów nasycenia metanem od próżni do 1 bar na sorpcjomacie i na urządzeniu IGA

Opracowany algorytm to typowe zadanie optymalizacyjne. Dla zarejestrowanych przebiegów procesu akumulacji metanu na próbkach ziarnowych dopasowywane jest rozwiązanie modelowe (1), poprzez poszukiwanie minimum sumy kwadratów odchyłek. W ten sposób wyznaczane są wartości M oraz D_e .

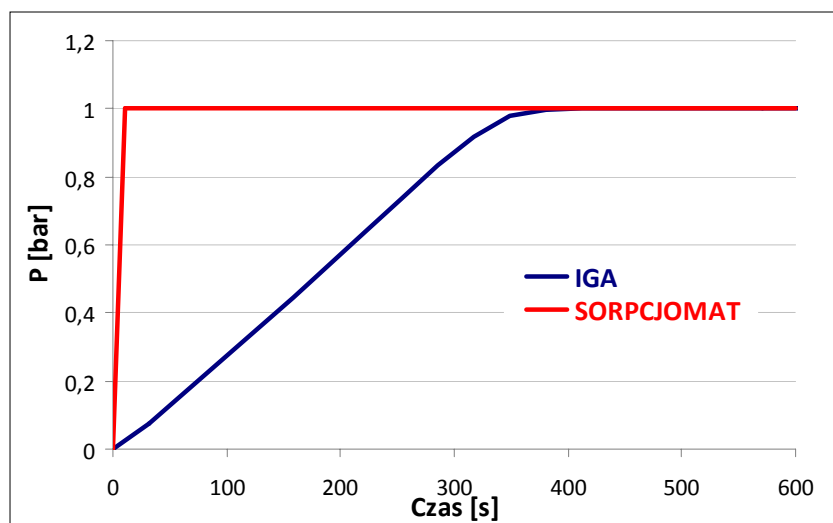
Zestawienie wykresów ilustrujących czasowe przebiegi procesów akumulacji metanu na węglu – pomiary bezpośrednie oraz dopasowane do nich rozwiązania modelowe dla urządzenia IGA-001 oraz sorpcjomatu, przedstawione zostały na rysunku 3. Kolorem niebieskim zaznaczone zostały bezpośrednie dane pomiarowe, natomiast kolor czerwony to rozwiązania modelowe. Ponadto w tabeli 2 zestawione zostały wartości pojemności sorpcyjnych oraz współczynników dyfuzji wyznaczonych z wykorzystaniem sorpcjomatu oraz aparatury IGA-001.

Tab. 2. Wyniki pojemności sorpcyjne i współczynników dyfuzji uzyskane na sorpcjomacie i urządzeniu IGA

| Próbka | Pojemność sorpcyjna | | | Współczynnik dyfuzji | | |
|------------------------|--|---|---------------------|------------------------------------|-----------------------------|---------------------|
| | Sorpcjomat [cm ³ CH ₄ /g _{csw}] | IGA [cm ³ CH ₄ /g _{csw}] | Rozbieżności [%] | Sorpcjomat [cm ² /s] | IGA [cm ² /s] | Rozbieżności [%] |
| KWK „Brzeszcze” | 2,70 | 2,68 | 0,7 | 2,43·10 ⁻⁹ | 1,94·10 ⁻⁹ | 25 |
| KWK „Borynia-Zofiówka” | 2,14 | 2,04 | 4,9 | 1,81·10 ⁻⁹ | 1,08·10 ⁻⁹ | 68 |
| KWK „Sobieski” | 3,25 | 3,24 | 0,3 | 5,01·10 ⁻⁷ | 2,58·10 ⁻⁸ | 1842 |
| KWK „Pniówek” | 2,39 | 2,34 | 2,1 | 2,09·10 ⁻⁹ | 1,10·10 ⁻⁹ | 90 |

Pojemności sorpcyjne przebadanych próbek wyznaczone za pomocą sorpcjomatu oraz urządzenia IGA dają wyniki o satysfakcjonującej autorów zbieżności. Względne różnice pomiędzy wynikami dla tych samych próbek w dwóch przypadkach na cztery przebadane były mniejsze niż 1%, natomiast największa zaobserwowana różnica sięgała 5%. Najważniejszym czynnikiem mogącym wpływać na występujące różnice jest różna masa badanych próbek. Próbka analizowana w sorpcjomacie ma masę około stukrotnie większą. Mimo, iż materiał węglowy był uśredniony, mogą jednak wystąpić niewielkie osobliwości składu próbki w analizatorze IGA względem sorpcjomatu.

Analiza wyznaczonych współczynników dyfuzji na bazie procesów rejestrowanych w obu urządzeniach jest nieco trudniejsza. Widoczne są rozbieżności sięgające nawet 90%. Należy mieć jednak na uwadze, iż naturalna zmienność wskaźnika dyfuzji dla węgla z GZW mieści się w przedziale 10⁻⁷÷10⁻¹¹ cm²/s. Tak więc współczynniki dyfuzji dla węgla o skrajnych właściwościach będą różniły się o 4 rzędy wielkości, a na tym tle różnice na poziomie 90% mimo, iż pozostają duże, nie są dla metody dyskwalifikujące. Nie zmienia to jednak faktu, iż konieczna jest próba analizy przyczyn rozbieżności. Z całą pewnością należy w tym miejscu wskazać na pewne ograniczenie systemu pomiarowego IGA. W urządzeniu tym, ze względu na pewne ograniczenia techniczne możemy zwiększać ciśnienie w komorze pomiarowej w tempie 200 mbar/min. Tak więc zmiana ciśnienia w zakresie 0-1 bar trwa ponad 5 minut. W przypadku sorpcjomatu analogiczna zmiana ciśnienia trwa zaledwie kilka sekund (rys. 4).



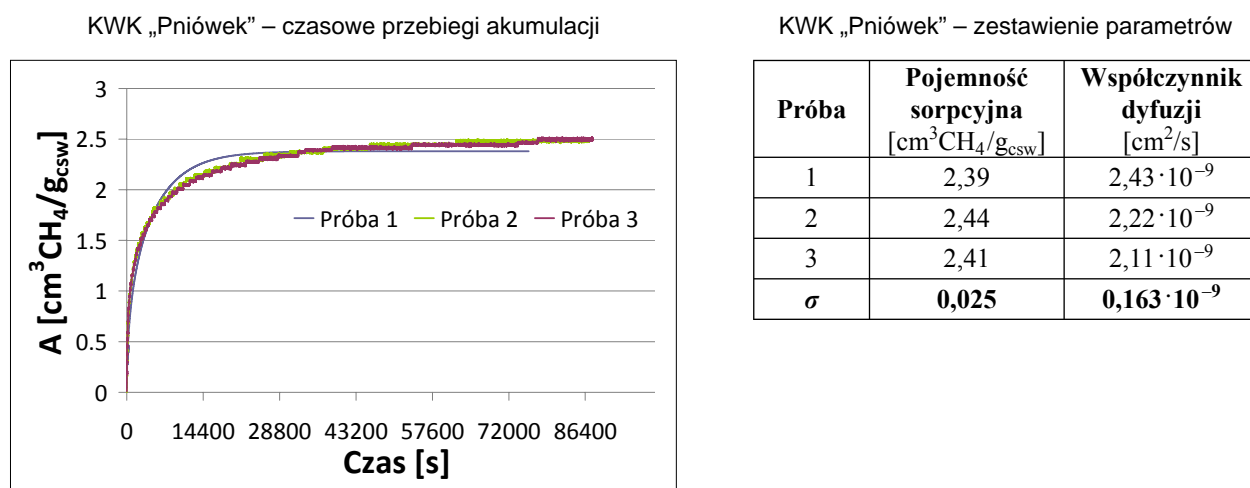
Rys. 4. Zmiany ciśnienia w początkowym okresie nasycania w urządzeniu IGA oraz w sorpcjomacie

Model matematyczny, na bazie którego wyznaczany jest współczynnik dyfuzji zakłada, iż zmiana stężenia gazu (a więc w przypadku eksperymentu z jednym gazem zmiana ciśnienia) następuje w sposób skokowy. Wpływ tego zjawiska obserwowany jest w szczególności w przypadku węgla o wysokim współczynniku dyfuzji (np. próbka z KWK „Sobieski”). Dla węgla o przebadanej klasie ziarnowej, cały proces akumulacji metanu trwa zaledwie kilka minut. Łatwo więc zaobserwować, iż trwająca ponad 5 minut, zbliżona do liniowej zmiana ciśnienia metanu wokół próbki jest dyskwalifikująca (rys. 3, KWK „Sobieski”) dla urządzenia IGA. Oczywiście w takim przypadku należy dobrać próbkę węgla o wyższej klasie ziarnowej, gdyż wraz ze wzrostem promienia, tempo akumulacji gazu na ziarnach węgla maleje z kwadratem ich rozmiaru. Procedura ta wymaga jednak stosowania eksperymentu dwuetapowego.

W przypadku węgla o niższych współczynnikach dyfuzji błąd popełniany przez niedopełnienie założenia o skokowej zmianie ciśnienia jest mniejszy. Należy jednak pamiętać, iż najczęściej w pierwszych pięciu minutach akumulowane jest kilkadziesiąt procent z całkowitej sorbowanej masy metanu.

W kolejnych badaniach przeprowadzone zostaną obserwacje mające wykluczyć inne potencjalne przyczyny rozbieżności.

Przeprowadzone zostały także testy dla oceny powtarzalności otrzymywanych wyników na sorpcjomacie. W tym celu tej samej procedurze pomiarowej, powtórzonej trzykrotnie, poddana została pierwsza z badanych próbek (KWK „Pniówek”). Wyniki eksperymentów w formie graficznej i stabelaryzowanej przedstawione zostały na rysunku 5.



Rys. 5. Ocena powtarzalności uzyskiwanych wyników

W opinii autorów uzyskane wyniki świadczą o dobrej powtarzalności. W szczególności pojemność sorpcyjna określana została z satysfakcjonującą powtarzalnością – odchylenie standardowe na poziomie 0,03 cm³CH₄/g_{csw} dla próbki o pojemności sorpcyjnej na poziomie 2,92 cm³CH₄/g_{csw}. Równie dobrze oceniana jest powtarzalność wskaźnika dyfuzji. W tym przypadku odchylenie standardowe wyniosło 0,163 · 10⁻⁹ cm²/s dla próbki węgla o średnim wskaźniku dyfuzji określonym na poziomie 2,23 · 10⁻⁹ cm²/s.

5. Wnioski

Przeprowadzono serię pomiarową na czterech próbkach węglowych pochodzących z różnych kopalń węgla kamiennego. Wszystkie próbki zostały przebadane na dwu urządzeniach: komercyjnie dostępnym IGA-001 oraz zbudowanym w Pracowni Mikromerytyki IMG PAN sorpcjomacie. Uzyskano zbieżności wyznaczania pojemności sorpcyjnych przy nasycaniu metanem od 0 do 1 bar z dokładnością 5%. Ta niewielka różnica wynikać może przede wszystkim z reprezentatywności odsianych próbek, gdzie do sorpcjomatu użyto próbek tego samego pochodzenia co do IGA-001, jednak o masie około 100 razy większej.

W przypadku wyznaczania efektywnego współczynnika dyfuzji rozbieżności wyników wyniosły do 90%. Wynika to przede wszystkim ze sposobu działania aparatury IGA-001, gdzie czas potrzebny na osiągnięcie ciśnienia 1 bar wynosi 5 minut (200 bar/min). W przypadku sorpcjomatu wymagane ciśnienie 1 bar

osiągane jest w czasie krótszym niż 10 sekund. Różnica to zauważalna jest przede wszystkim na przebiegach o wysokiej kinetyce sorpcji (np. próbka KWK Sobieski). W przypadku próbki pochodzącej z KWK Sobieski, wyznaczenie efektywnego współczynnika dyfuzji na analizowanej klasie ziarnowej za pomocą aparatury IGA-001 było niemożliwe ze względu na ograniczenia tej aparatury.

Zbieżność wyników nasycania próbek węglowych metanem od 0 do 1 bar uzyskanych na aparaturze zbudowanej w Pracowni Mikromerytyki IMG PAN, z wynikami uzyskanymi na urządzeniu grawimetrycznym IGA-001 pozwala stosować to narzędzie w bazie laboratoryjnej, gwarantując jednocześnie wiarygodność generowanych wyników.

Praca została wykonana w roku 2011 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- Benham M.J., Ross D.K., 1989. *Experimental determination of absorption-desorption isotherms by computer controlled gravimetric analysis*. Z. Phys. Chem., 25, 163-166.
- Crank J., 1975. *The Mathematics of diffusion*. 2nd ed. Oxford.
- Kudasik M., Skoczylas N., Sobczyk J., Topolnicki J., 2009. *Low cost capillary flow meter*. Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 152, Issue 2, 18 June 2009, p. 146-150.
- Kudasik M., Skoczylas N., Sobczyk J., Topolnicki J., 2010. *Manostat – an accurate gas pressure regulator*. Measurement Science and Technology, Vol. 21, Issue 8.
- Kudasik M., Topolnicki J., 2010. *Masowy przepływomierz kapilarny do badań kinetyki uwalniania zasorbowanego gazu*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, t. 12, nr 1-4, s. 27-33.
- Timofiejew D.P., 1967. *Adsorptionskinetik*, Lipsk VEB.
- Wierzbicki M., Skoczylas N., 2010. *Wybrane sposoby określania efektywnego współczynnika dyfuzji na podstawie przebiegów kinetyki nasycania/uwalniania gazu z próbki węglowej*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, t. 12, nr 1-4, s. 43-50.
- Xiaojun C., Chikatamarala L., Bustin R.M., 2004. *Implications of volumetric swelling/shrinkage of coal in sequestration of acid gases*, International Coal bed methane symposium, paper No. 435, Tuscaloosa, Alabama USA, 22 p.

Determining the effective diffusion coefficient by means of an innovatory system for measuring gas accumulation and release from coal samples

Abstract

The article provides a description of measuring equipment for analyzing transport of gases in coal samples. The device in question, developed at the Laboratory of Micrometrics at the Strata Mechanic Research Institute of the Polish Academy of Sciences, consists of two operational systems: a sorption measuring instrument, which makes it possible to measure gas accumulation under a steady sorption pressure, and a capillary flow meter used for analyzing the process of gas release from a coal sample into the atmosphere. The article also presents results of relevant analyses, for the purpose of which coal samples from four different hard coal mines were used. The samples varied as to their sorption properties. The analyses involved recording sorption kinetics of samples with the granularity of 0.20 – 0.25mm, where the value of methane saturation ranged from 0 to 1 bar. The results were subsequently compared with the results obtained in the course of an analysis carried out by means of the IGA-001 sorption-gravimetric device, performed for the same samples.

Keywords: effective diffusion coefficient, sorption capacity of coal, sorption measuring instrument