

Wyznaczenie desorbowalnej zawartości metanu w węglu oraz efektywnego współczynnika dyfuzji metanu na węglu metodą analogową

Determination of desorbable methane content in coal and effective coefficient of methane diffusion on coal by use of the analog method



*Dr inż. Skoczylas Norbert**



*Mgr inż. Kudasik Mateusz**



*Dr hab. inż. Wierzbicki Mirosław**



*Mgr inż. Murzyn Tomasz**

Treść: Opracowana została koncepcja nowej metody oraz urządzenia pomiarowego generującego dodatkowe parametry opisu układu węgiel-gaz. Dzięki prezentowanej metodzie możliwe jest określenie wartości desorbowalnej zawartości metanu w węglu oraz efektywnego współczynnika dyfuzji. Konstrukcja urządzenia pomiarowego pozwala na pracę w warunkach kopalnianych. Diametralne zmniejszenie klasy ziarnowej próbki węgla skutkuje skróceniem czasu obserwacji procesu emisji gazu do jednej doby. Praca zawiera opis konstrukcji przyrządu, prezentację prototypu oraz przykładowe wyniki testów laboratoryjnych.

Abstract: This paper presents a concept of a new method and measurement device which generates additional parameters of coal-gas system description. Thanks to the presented method, it is possible to determine the desorbable value of methane content in coal and effective coefficient of diffusion. The construction of the measurement device allows to operate under mining conditions. Significant reduction of the size grade of a coal sample results in cutting the time of observation of the gas emission process down to twenty-four hours. This paper includes a description of the device, presentation of the prototype and examples of laboratory tests results.

Słowa kluczowe:

metanonośność, współczynnik dyfuzji, wkład węgiel-gaz, desorpcja, metan

Key words:

volume of methane, diffusion coefficient, coal-gas insert, desorption, methane

*) Instytut Mechaniki Górniczej Polskiej Akademii Nauk

1. Wprowadzenie

Układ węgiel – metan w polskim górnictwie węgla kamiennego określany jest przez dwa podstawowe parametry – metanonośność oraz intensywność desorpcji metanu. Intensywność desorpcji metanu postrzegana jest często jako szybka metoda szacowania metanonośności. Z fizycznego punktu widzenia, emisją metanu z ziaren węgla rządzą procesy dyfuzji. Wartość wskaźnika intensywności desorpcji jest więc pewną wypadkową zawartości metanu w węglu oraz wartości wskaźnika dyfuzji metanu na węglu. Niepewność szacowania metanonośności przy użyciu wyników pochodzących z badań intensywności desorpcji polega na braku uwzględnienia wartości wskaźnika dyfuzji. Niniejsza praca zawiera opis koncepcji oraz analizę prototypu przyrządu pomiarowego, który rozwiązuje opisany problem.

2. Opis układu węgiel – gaz w górnictwie krajowym

Metanonośność pokładu zdefiniowana jest jako objętościowa ilość metanu pochodzenia naturalnego, zawarta w jednostce wagowej w głębi calizny węglowej. Metanonośność jest jednym z najważniejszych parametrów decydujących o zagrożeniu wyrzutowym we wszystkich zagłębiach węglowych świata. Przykładowe wartości kryterialne dla wybranych krajów kształtują się następująco [1, 20]: Australia – 9 m³/tonę, Bułgaria – 9 m³/tonę, Chiny- 10 m³/tonę, Ukraina – 8 m³/tonę, Węgry – 8 m³/tonę, Czechy – 9 m³/tonę. Prace Lamy [18] wskazują, że wyrzuty występują w węglach o metanonośności przekraczającej 8 m³/Mg_{csw}.

Parametr ten jest niezbędny w trakcie projektowania systemu wentylacji kopalni [15] oraz wyboru właściwego sposobu odmetanowania wyrobisk eksploatacyjnych [6, 16, 24, 8].

Metodyka oznaczania tego parametru jest skomplikowana i nie pozbawiona elementów generujących potencjalne niepewności pomiarowe. Jednak największym mankamentem tego parametru jest czasochłonność jego określania, skutkująca częstokroć znacznym wydłużeniem czasu pomiędzy pobraniem próbek węgla do badań, a przekazaniem odpowiednim służbom kopalnianym wyników.

Wskaźnik intensywności desorpcji D_p jest wielkością charakteryzującą ilość metanu uwalnianego z próbki węglowej o określonej objętości i klasie ziarnowej w ustalonym przedziale czasowym. W różnych odmianach wskaźnik D_p jest stosowany w górnictwie wielu krajów [11, 19, 12, 27]. W polskim górnictwie węgla kamiennego pomiar intensywności desorpcji wykonywany jest od roku 1977.

W warunkach polskiego górnictwa węglowego pomiary prowadzi się najczęściej manometrycznym desorbometrem cieczowym DMC-2, opisanym m.in. w pracach [17, 25]. W wyniku pomiaru otrzymujemy objętość metanu wydzielonego z węgla o określonej klasie ziarnowej w określonym czasie. Pomiar wskaźnika desorpcji traktowany jest jako szacunkowa, uproszczona metoda wyznaczania metanonośności złoża. Podstawowy wpływ na wynik pomiaru desorbometrycznego mają dwa czynniki: początkowa zawartość metanu w próbce oraz efektywny współczynnik dyfuzji. Wyniki pomiarów pokazują, że współczynniki dyfuzji mogą się zmieniać się w bardzo szerokim zakresie od $1,0 \times 10^{-10}$ cm²/s do $5,0 \times 10^{-7}$ cm²/s [5], tak więc dla właściwego oszacowania metanonośności pokładu na podstawie wskaźnika intensywności desorpcji potrzebna jest znajomość współczynnika dyfuzji badanego węgla [28].

3. Opis układu węgiel – gaz w górnictwie światowym

Analiza przepisów regulujących wydobycie węgla kamiennego na świecie wskazuje, iż w poszczególnych krajach występują zarówno odpowiedniki krajowej metanonośności, jak i intensywności desorpcji. Przykładowo w Rosji [29], w zależności od głębokości zalegania złoża oraz zawartości części lotnych V^{daf} kryterialna wartość metanonośności zawiera się od 8 do 15 m³/Mg_{csw}.

Przepisy górnictwa w Czechach [23] zalecają wykonywanie pomiarów gazonośności desorbometrycznej, ciśnienia złożowego metanu, intensywności desorpcji metanu oraz pomiarów emisji gazu z otworu badawczego.

W Niemczech [22] rozróżnione są pojęcia zawartości gazu w węglu na całkowitą zawartość gazu w węglu oraz desorbowalną zawartość gazu w węglu, przy czym przez zawartość desorbowalną rozumie się różnicę między zawartością całkowitą a zawartością gazu pod ciśnieniem metanu 1 bar. Przepisy wskazują, że parametrem najistotniejszym dla prognozy jest zawartość gazu w pokładzie. Uznaje się, iż pokłady są zagrożone wyrzutami, gdy desorbowana zawartość gazu przekracza 9 m³/Mg_{csw}.

Chińskie przepisy górnictwa [2] zakładają wykorzystanie wskaźnika desorpcji gazu Δh_2 – jego wartość odnosi się do ciśnienia gazu w węglu kamiennym i stopnia destrukcji pierwotnej struktury węgla. Δh_2 jest mierzony za pomocą desorbometru MD-1 opracowanego przez Chiny Coal Research Institute (CCRI) Fushan.

4. Emisja metanu z próbki węgla – fizyka zjawiska

Tradycyjnie procesom fizykochemicznym skutkującym emisją metanu z próbki węgla, często określaną mianem desorpcji, przypisuje się trzy procesy: desorpcję właściwą gazu z powierzchni węgla, dyfuzję metanu w obrębie ziarn oraz filtrację metanu poprzez system szczelin [9, 21].

Desorpcja właściwa to proces niemalże natychmiastowy [13, 7]. W obrębie ziarn transport cząsteczek gazu daje się opisać jako złożenie kilku typów dyfuzji w zróżnicowanym systemie porowym sorbentu [14, 10, 4]. Dyfuzja jest napędzana gradientem stężenia cząstek zbudowanego gazu. W obszarze pomiędzy ziarnami, w rozbudowanym systemie szczelin i spękań, ma miejsce filtracja gazu napędzana gradientem ciśnienia porowego.

Emisja gazu z węgla wywołana jest obniżeniem ciśnienia (pośrednio stężenia) otaczającego go gazu. W warunkach *in situ* sytuacja ta związana jest z prowadzeniem robót górniczych. Pierwotne ciśnienie porowe gazu w górotworze, w trakcie drażnienia wyrobisk lub eksploatacji ściany, ulega obniżeniu jako skutek spękania calizny węglowej. Podczas badań parametrów gazowych w laboratorium, desorpcję wywołujemy obniżając ciśnienie gazu otaczającego ziarniste próbki węgla. Obserwacja procesu pozwala nam ustalić wartość desorbowalnej pojemności sorpcyjnej oraz określić efektywny współczynnik dyfuzji (efektywny – uwzględniający współczynnik izotermy sorpcji). Wiedza o tych parametrach jest niezwykle istotna z punktu widzenia profilaktyki zagrożeń metanowych, wyrzutowych oraz pożarowych. Jeśli ciśnienie gazu otaczającego próbkę obniżymy do próżni, pozwoli to wyznaczyć całkowitą pojemność sorpcyjną.

Budując aparaturę pomiarową analizującą emisję metanu z próbek węgla powinniśmy uwzględnić następujące aspekty fizyki procesu: desorpcja właściwa zachodzi niemalże natychmiastowo, natomiast filtracyjny przepływ gazu pomiędzy ziarnami sorbentu jest na tyle szybki w porównaniu z dyfuzją, jaka zachodzi we wnętrzu ziaren, że to właśnie dyfuzja decy-

duje o kinetyce uwalniania gazu. Można więc stwierdzić, iż obserwując czasowy przebieg emisji metanu z próbki węgla analizujemy proces dyfuzji.

Analityczne rozwiązanie równania dyfuzji Ficka stosowanego dla modelu uniporowego można znaleźć u Cranka [3] i Timofiejewa [26]. Zmiany rozkładu stężenia cząstek zdeponowanego gazu są opisywane równaniem

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

gdzie:

D – jest efektywnym współczynnikiem dyfuzji,

Γ – jest współczynnikiem izotermi Henry'ego.

Rozwiązanie tego równania, w określonych warunkach początkowych i brzegowych, znane z literatury (np. [26]), ma postać

$$c(r,t) = c_1 + \frac{2R(c_1 - c_0)}{\pi r} \sum_1^{\infty} \left[\frac{(-1)^n}{n} \sin\left(n \frac{\pi r}{R}\right) \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2 D^* t}{R^2}\right) \right] \quad (2)$$

Całkując rozwiązanie (2) po objętości ziarna sorbentu otrzymujemy funkcje opisujące zmiany ilości gazu zdeponowanego we wnętrzu ziarna

$$M(t) = \frac{4\pi R^3}{3} \left[c_1 + (c_0 - c_1) \frac{6}{\pi^2} \sum_1^{\infty} \left[\frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2 D^* t}{R^2}\right) \right] \right] \quad (3)$$

rozszerzając rozwiązanie (3) na klasę ziarnową, zawierającą kuliste ziarna otrzymujemy

$$\frac{M(t)}{M(\infty)} = 1 - \frac{6}{\pi^2} \sum_1^{\infty} \left[\frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2 D^* t}{R_z^2}\right) \right] \quad (4)$$

gdzie:

c_0 jest początkowym stężeniem gazu zdeponowanego w węglu,

c_1 jest granicą do której, w miarę upływu czasu zmierza stężenie gazu pozostającego w węglu.

$M(t)$ jest całkowitą masą gazu uwolnionego z węgla w chwili czasu t ,

$M(\infty)$ jest granicą do której w miarę upływu czasu zmierza masa uwolnionego gazu,

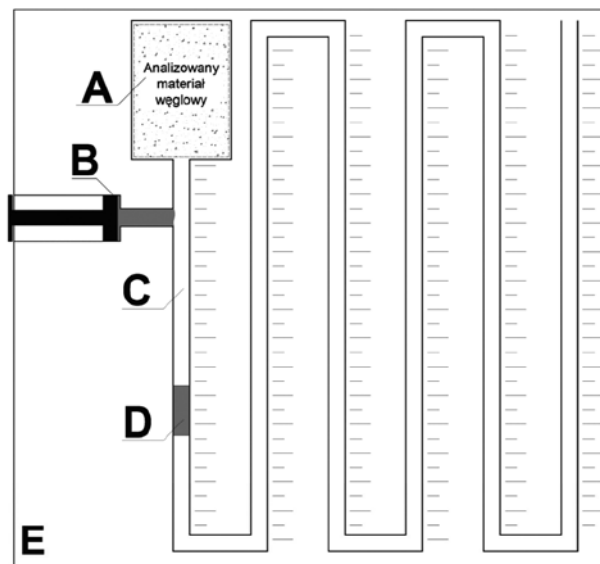
R_z to tzw. promień zastępczy ziarna dla klasy ziarnowej.

Wzór ten ma postać szeregu, który dla małych wartości czasu t jest stosunkowo dobrze zbieżny. Badania wskazują, iż wzór (4) bardzo dobrze opisuje przebieg emisji metanu z próbki węgla. Po wystarczająco długiej rejestracji można wyznaczyć całkowitą masę uwolnionego gazu [28].

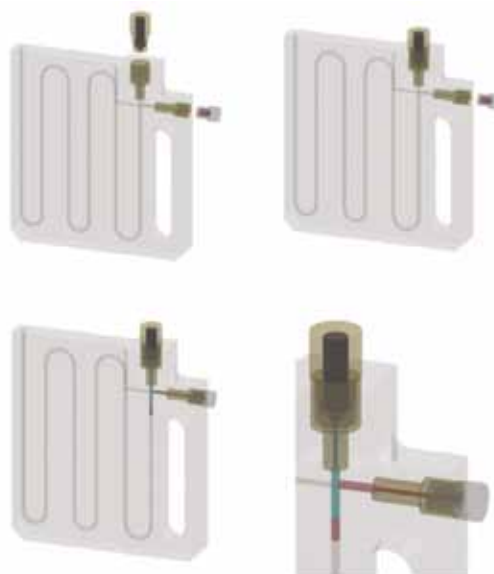
5. Nowa koncepcja rejestracji emisji metanu z ziarnistej próbki węgla

Idea budowy urządzenia reprezentuje zupełnie nowe podejście do prowadzonej obserwacji emisji gazu z próbki. W miejsce krótkich pomiarów, rejestrowany i analizowany będzie praktycznie pełny proces uwalniania metanu z węgla. Możliwość taką daje zastosowanie niższej klasy ziarnowej niż obecnie wykorzystywana w ocenie metanonośności i intensywności desorpcji. Według wyliczeń (wzór 4), jak i wstępnych badań, przy klasie ziarnowej rzędu 0,2÷0,3 mm czas prowadzenia pomiaru wynosił będzie około 1 doby, a dzięki ekstrapolacji przebiegu z wykorzystaniem modelu matematycznego procesu dyfuzji, przybliżone wyniki znane będą już po kilku godzinach.

Idea przyrządu pomiarowego proponowanego przez autorów przedstawiona została schematycznie na rysunku 1. W monolitycznej obudowie (E) wykonanej z transparentnego materiału wykonane zostały kanały pomiarowe (C) o znanej geometrii. W początkowym, odcinku kanału pomiarowego znajduje się rozgałęzienie połączone z zasobnikiem cieczy pomiarowej (B) oraz pojemnikiem z próbką węgla (A). Po umieszczeniu próbki węgla w pojemniku następuje jego hermetyzacja. Emisja metanu propaguje wzdłuż kanału pomiarowego, do którego wstrzyknięta zostaje ciecz pomiarowa z zasobnika (o działaniu podobnym do strzykawki). Fragment „znacznika” (D) transportowany jest w warunkach quasi-izobarycznych wzdłuż kanału pomiarowego (rys. 2). Tempo przemieszczania znacznika zależne jest od szybkości emisji metanu z próbki, natomiast jego ostateczna pozycja determinuje zawartość metanu desorbowanego w próbce (metanu wyemitowanego w warunkach zmiany ciśnienia ze złożowego do atmosferycznego). Jeśli wysokość znacznika cieczowego jest niewielka (<1 cm) można zaniedbać oddziaływania grawitacyjne.



Rys. 1. Schemat ideowy urządzenia pomiarowego
Fig. 1. Schematic diagram of the measurement device



Rys. 2. Projekt 3D urządzenia pomiarowego
Fig. 2. 3D Project of the measurement device

Długość kanału pomiarowego została dobrana względem zastosowanej naważki węgla. Podziałka urządzenia została wyskalowana w $\text{cm}^3\text{CH}_4/\text{g}_{\text{węgla}}$, przy czym masa próbki jest określana pośrednio, na drodze pełnego zapelnienia objętości pojemnika. Końcowym wynikiem pomiaru jest desorbowalna zawartość metanu w węglu. Jeśli w trakcie trwania pomiaru zapisane zostanie kilka punktów pomiarowych, będzie istniała możliwość późniejszego oszacowania efektywnego współczynnika dyfuzji w programie komputerowym opracowanym przez autorów na bazie modelu procesu dyfuzji (wzór 4).

6. Prototyp urządzenia oraz testy laboratoryjne

Wykonany został prototyp urządzenia (rys. 3). Średnica kanału pomiarowego ustalona została na 4 mm. Dzięki odpowiedniej technologii osiągnięta została idealna transparentność przyrządu. Skala naniesiona została w procesie laserowego grawerowania, w trakcie którego powierzchnia urządzenia została zmatowiona na głębokości około 1 mm. Początkowo rozważano barwienie cyfr skali ciemnym barwnikiem, lecz zmatowiona, niebarwiona skala daje znakomitą czytelność w przypadku ciemnego tła. Biorąc pod uwagę docelowe przeznaczeni przyrządu – wyrobisko kopalniane, uznano iż zaproponowane rozwiązanie sprawdza się najlepiej.

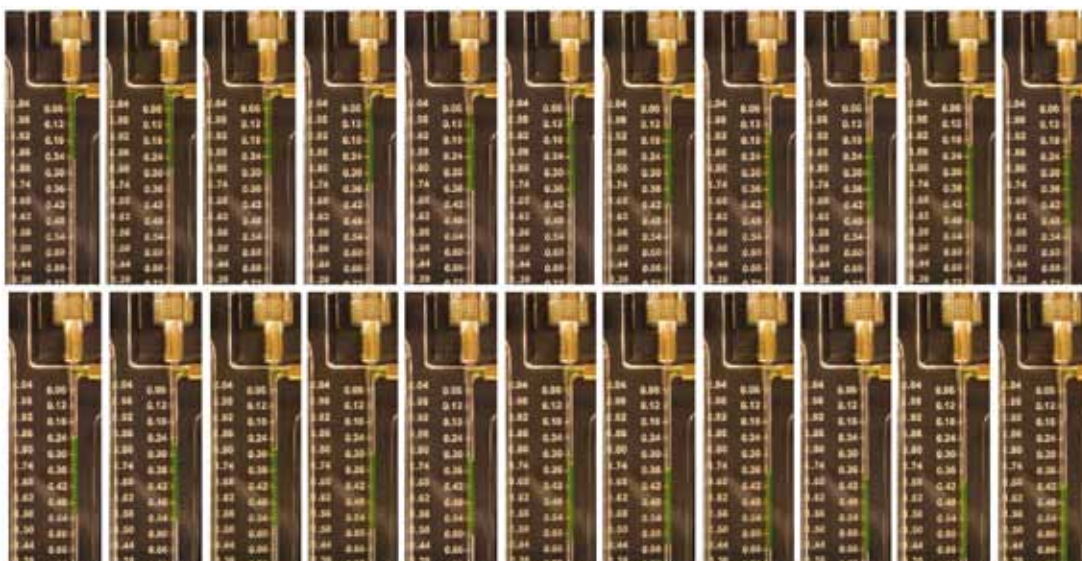
Przeprowadzone zostały testy aparatury. Aspekt dobowej obserwacji zmian pozycji znacznika cieczowego rozwiązany

został dzięki zbudowaniu stanowiska składającego się z cyfrowego aparatu fotograficznego sprzężonego z komputerem. Wykorzystanie odpowiedniego oprogramowania pozwoliło na automatyczne wykonywanie zdjęć z ustalonym na 10 s interwałem czasowym. W efekcie każdego z dobowych pomiarów wykonane zostało około 10 000 zdjęć.

Projekt eksperymentu zakładał wykorzystanie ciśnieniowych zbiorników, w których umieszczane były próbki z odpowiednią klasą ziarnową węgla. Węgiel pochodzący z KWK „Zofiówka” został odpowiednio przygotowany, rozdrobniony i przesiany. Próbki poddawane zostały dynamicznej próżni poniżej 10 Pa przez okres 24 h. Następnie nasycono je metanem pod ciśnieniem 5 bar przez kolejne 24 h. Ciśnienie nasycania oraz temperatura w trakcie każdej fazy eksperymentu były kontrolowane i stabilizowane (40 °C). Po nasyceniu następowała zasadnicza faza eksperymentu. Urządzenie pomiarowe umieszczane było w komorze termostatycznej wyposażonej w sprzęt fotograficzny. W możliwie krótkim czasie zbiornik z próbką był dehermetyzowany, a próbka przenoszona była do przyrządu pomiarowego. Czynność ta trwała około 40 s. Wraz z gwałtownym obniżeniem ciśnienia w zbiorniku następował początek interwałowej rejestracji sekwencji zdjęć. Następnie pojemnik z nasyconą próbką węgla umieszczany był w przyrządzie pomiarowym. Chwilę później wstrzykiwana był znacznik cieczowy i rozpoczynał się zasadniczy pomiar. Początkowy przebieg emisji metanu można zaobserwować na zdjęciach poniżej (rys. 4).

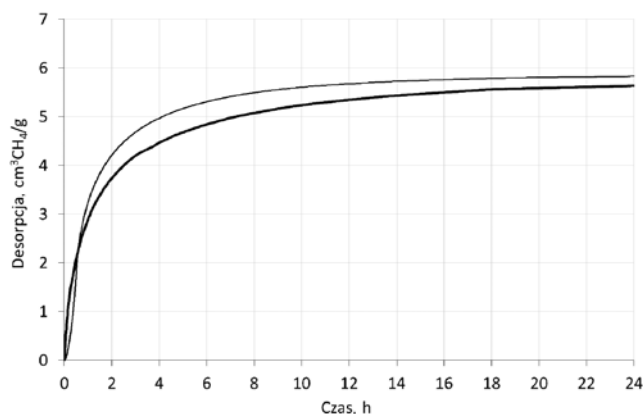


Rys. 3. Przyrząd pomiarowy po laserowej graweracji skali, ciecz pomiarowa w rurce
 Fig. 3. Measurement device after laser engraving of scale, measurement fluid in a pipe



Rys. 4. Emisja metanu z próbki węgla rejestrowana prototypem przyrządu analogowego (interwał czasowy: 10 s)
 Fig. 4. Methane release from coal sample registered by a prototype of the analog device (interval of time: 10 s)

Analogiczny cykl pomiarowy został wykonany na sorpcyjnym urządzeniu grawimetrycznym IGA. Naważkę węgla o tej samej klasie ziarnowej odpompowano przez 24 h. W kolejnym etapie nasycano ją metanem pod ciśnieniem 5 bar przez 24 h. Następnie quasi-skokowo zmniejszono ciśnienie do wartości 1 bar. Obserwację emisji metanu z próbki prowadzono przez kolejne 24 h. Wszystkie wymienione czynności przeprowadzono w temperaturze 40 °C (a więc zgodnej z warunkami termicznymi eksperymentu na przyrządzie analogowym).



Rys. 5. Kinetyka emisji metanu z próbki węgla zarejestrowana prototypem zaprojektowanego urządzenia oraz urządzeniem wzorcowym (linia cienka – IGA, linia gruba – projektowane urządzenie)

Fig. 5. Kinetics of methane release from coal sample registered by a prototype of the device and by the model device (thin line – IGA, thick line – device in development)

Wyniki z urządzenia wzorcowego – IGA, zestawiono z wynikami uzyskanymi na aparaturze analogowej. Zbieżność jest bardzo wysoka. Różnice zawartości metanu desorbowanego sięgają 0,2 cm³CH₄/g przy wartości na poziomie 5,8 cm³CH₄/g co stanowi około 3,5 %.

Analiza kinetyk także daje obiecujące wyniki. W przypadku urządzenia IGA czas połówkowy wynosił około 3000 s., natomiast dla zaprojektowanego urządzenia około 3400 s. Przekłada się to na efektywne współczynniki dyfuzji na poziomie 1,29E-09 oraz 1,14E-09, co przekłada się na względną różnicę na poziomie 11 %. Wynik ten pozornie wydaje się wysoki. Należy pamiętać, iż zmienność efektywnego współczynnika dyfuzji metanu na węglach z GZW mieści się w przedziale od 1,0×10⁻¹⁰ cm²/s do 5,0×10⁻⁷ cm²/s [5]. Różnice, widoczne szczególnie w pierwszej fazie procesu wynikają także z ograniczeń urządzenia IGA, która pozwala na zmiany ciśnienia w stosunkowo powolnym tempie (200 mb/min). W zaproponowanym przez autorów urządzeniu zmiana ciśnienia była niemalże natychmiastowa.

7. Podsumowanie

Zaproponowane przez autorów urządzenie może uzupełnić dotychczas stosowane metody pomiaru układu węgiel-gaz. Potencjalne zalety wynikające z konstrukcji i właściwości proponowanego urządzenia to:

- w pełni analogowa, prosta konstrukcja umożliwiająca zastosowanie w warunkach kopalnianych,
- jako wynik pomiaru otrzymujemy parametry, których wyznaczenie dostępnymi obecnie metodami możliwe jest jedynie w warunkach laboratoryjnych,

- odnotowanie kilku punktów pomiarowych i wykorzystanie przygotowanego oprogramowania pozwoli na określenie efektywnego wskaźnika dyfuzji,
- desorbowalna zawartość metanu oraz efektywny współczynnik dyfuzji to parametry o ogromnym potencjale informacyjnym, szczególnie istotnym w aspekcie oceny zjawisk gazo-geo-dynamicznych.

Koncepcja urządzenia została zgłoszona do Urzędu Patentowego, obecnie trwają prace nad ostateczną serią urządzeń. Następnie rozpoczną się badania w warunkach kopalnianych.

Badania zostały wykonane w ramach Projektu LIDER/31/103/L-3/11/NCBR/2012 finansowanego ze środków NCBiR.

Literatura

- 1 *Beamish B., Crosdale P.J.*: Instantaneous outbursts in underground coal mines: An overview and association with coal type, *International Journal of Coal Geology* 35, 27–55, 1996
- 2 *Coal Mine Safety Study, Peoples Republic of China: Part I: Preliminary Analysis – National consultants*, 2008 r.
- 3 *Crank, J.*: The Mathematics of diffusion, 2nd ed. Oxford Univ. Press, London. 414 pp. 1975
- 4 *Crosdale P. J., Basil B. Beamish*, Marjorie Valix Coalbed methane sorption related to coal Composition, *International Journal of Coal Geology* 35 1998 147–158
- 5 *Dziurzyński W.*: Nowoczesne metody zwiększenia bezpieczeństwa załóg w aspekcie zagrożenia wyrzutami węgla i metanu w kopalniach eksploatujących węgiel kamienny. Sprawozdanie z wykonania projektu badawczego rozwojowego, Nr R09 027 02, 2010.
- 6 *Frycz A., Kozłowski B.*, 1979: Przewietrzanie kopalń metanowych. Wyd. „Śląsk”
- 7 *Gawor M., Skoczylas N.*: Sorption Rate of Carbon Dioxide on Coal, *Transport in Porous Media*, Volume 101, 2014 (269–279)
- 8 *Hampton III G. I., Schwochow S.*: Analiza zawartości gazu w węglu: porównanie metody bezpośredniej stosowanej przez U.S. Bureau of Mines z metoda stosowana w polskiej KD Barbara, 1994.
- 9 *Harpalani, S. and Chen, G.*: Influence of gas production induced volumetric strain on permeability of coal, *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol. 15, pp. 303–325. 1997
- 10 *Harpalani, S. and Schraufnagel, R. A.*: Shrinkage of coal matrix with release of gas and its impact on permeability of coal, *Fuel*, Vol. 69, pp. 551–556. 1990
- 11 *Janas, J., Winter, K.*: Früherkennung der Gasausbruchsgefahr auf der Grundlage der k-wert 1977
- 12 *Janas, J., Winter, K.*: Früherkennung der Gasausbruchsgefahr auf der Grundlage der k-wert Bestimmung, In: Früherkennen und Verhindern von Gas-ausbrüchen im Deutschen Steinkohlen-bergbau. Verlag Gluckauf, Essen, pp. 21–28. 1977
- 13 *Kawęcka J.*: Sorpcja gazów i par a właściwości polskich węgla kamiennych jako układów dyspersyjnych, *Zesz. Nauk. AGH, Chemia*, z. 8. 1988
- 14 *King, G.R., Ertekin, T.M.*: A survey of mathematical models related to methane production from coal seams, Part 1. Empirical and equilibrium sorption models. Proc. 1989 Coalbed Methane Symp. The Univ. of Alabama, Tuscaloosa, pp. 125–138. 1989a
- 15 *Kissel F. N., McCulloch. C.*: The direct method of determining methane content of coalbeds for ventilation design. U.S. Bureau of Mines report of Investigation. 1973.
- 16 *Kozłowski B.*: Koincydencja zagrożeń naturalnych w kopalniach węgla kamiennego. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie* nr 9. 1996
- 17 *Lama R. D., Bodziony J.*: Menagement of outburst in underground coal mines, *Int. J of CG*, 35 (1996)

- 18 *Lama R.D.*: Management and control of high gas emissions and outbursts in underground coal mines International Symp. Cum. Workshop: Westonprint in Kiama Wollongong, NSW, Australia, 618p. 1995,
- 19 *Lama R.D.*: Management and control of high gas emissions and outbursts in underground coal mines International Symp. Cum. Workshop: Westonprint in Kiama Wollongong, NSW, Australia, 618p. 1995,
- 20 *Lama, R.D., Bodziony J.*: Outbursts of Gas, Coal and Rock in Underground Coal Mines. R.D. Lama & Associates, Wollongong, NSW, Australia, 1996; 499,
- 21 *Pillalamarry M., Harpalani S., Liu S.*, Gas diffusion behavior of coal and its impact on production from coalbed methane reservoirs, International Journal of Coal Geology 86 (2011) 342÷348
- 22 Richtlinien des Landesoberbergamtes Nordrhein-Westfalen über die Abwehr von Gefahren des plötzlichen Freiwerdens großer Grubengasmengen mit oder ohne Auswurf von Kohle oder Gestein (Gasausbruchs-Richtlinien) vom 29.05.1996
- 23 Rozhodnutí OBÚ v Ostravě č.j.3895/2002 a v Instrukci pro doły s nebezpečím průtrži hornin a plynů,
- 24 *Sporysz G., Piątkowski S., Kulawik M.*: Metoda CBiDGP prognozowania metanowości bezwzględnej wyrobisk wybierkowych w oparciu o badania desorbometryczne ciśnienia złożowego gazu – XXIII seminarium zwalczania zagrożenia metanowego oraz wyrzutami gazów i skał – teoria i praktyka. Rybnik 2006.
- 25 *Stączek, A. ; Simka, A.*, Graniczny wskaźnik intensywności desorpcji gazu z węgla jako podstawowy parametr zagrożenia wyrzutowego charakteryzujący stopień nasycenia gazem pokładów węgla, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 2004, R. 42, nr 12
- 26 *Timofiejew D. P.* Adsorptionskinetik, Lipsk VEB, 1967
- 27 *Wierzbicki M., Skoczylas N.*, Evaluation and management of the gas and rock outburst hazard in the light of international legal regulations, Arch. Min. Sc. , Vol. 59, Issue 4, 2014
- 28 *Wierzbicki K.* Przebieg kinetyki adsorpcji metanu jako wskaźnik zmian strukturalnych pokładu w rejonie stref uskokowych, Przegląd Górniczy 2011 nr 6 str. 70÷75
- 29 ИНСТРУКЦИЯ ПО БЕЗОПАСНОМУ ВЕДЕНИЮ ГОРНЫХ РАБОТ НА ПЛАСТАХ, ОПАСНЫХ ПО ВНЕЗАПНЫМ ВЫБРОСАМ УГЛЯ (ПОРОДЫ) И ГАЗА, 2000.

***Zwiększajmy prenumeratę
najstarszego – czołowego miesięcznika
Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Górnictwa!***

Liczba zamawianych egzemplarzy określa zaangażowanie jednostki
gospodarczej w procesie podnoszenia kwalifikacji swoich kadr!