Testy aparatury do pomiaru kinetyki uwalniania CO₂ z próbek węgla kamiennego

JULIUSZ TOPOLNICKI, MIROSŁAW WIERZBICKI, NORBERT SKOCZYLAS

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

Streszczenie

Odgazowanie pokładów węglowych jest jednym z warunków bezpieczeństwa prac górniczych. Podjęta została próba wykorzystania zbudowanej w IMG PAN aparatury do grawimetrycznych badań odgazowania próbek węglowych. Przedstawione zostały wstępne wyniki pomiarów odgazowania próbek o różnych frakcjach ziarnowych. Podjęto próbę fenomenologicznego opisu obserwowanego procesu.

Słowa kluczowe: węgiel, sorpcja, odgazowanie, grawimetria

1. Wstęp

Przyjmujemy, iż obecność gazu wolnego, sprężonego w porach skały jest niezbędna dla zainicjowania wyrzutu skał [Topolnicki, 1999; Wierzbicki, 2003], a odgazowanie węgla przed podjęciem eksploatacji jest jednym z warunków bezpieczeństwa prac górniczych.

Gaz uwięziony w porowatej skale, ze względu na stopień powiązania z tą skałą, można podzielić na dwie kategorie. Rozróżniamy więc gaz wolny, wypełniający pory i szczeliny skały i gaz związany z nią poprzez procesy sorpcyjne. Liczni autorzy [Lasoń, 1988; Kawęcka, 1988; Nodzeński, 2000; Seewald i Klein, 1988] przedstawiają charakterystykę węgli kamiennych w kontekście ich właściwości sorpcyjnych. Autorzy stwierdzają, że z fizycznego punktu widzenia węgiel kamienny zalicza się do ciał porowatych, w których występują makro-, mezo-, mikro- i submikropory. Jest on sorbentem o niesztywnej strukturze, w którym udział powierzchni makro- i mezoporów jest niewielki [Mastalerz i in., 2004]. Obecność dużych porów nie wpływa zasadniczo na właściwości sorpcyjne węgla, natomiast ma istotny wpływ na zjawisko filtracji poprzez ośrodek węglowy.

Najistotniejszą rolę w procesie sorpcji odgrywają więc pory o rozmiarach molekularnych (< 5Å- submikropory). Za Lasoniem przyjmujemy, że zmagazynowany w złożu węgla kamiennego gaz jest w głównej mierze związany z sorpcją występującą w obszarach porów molekularnych [Lasoń, 1988a]. Na główny udział tej sorpcji w całości zasorbowanego na węglu gazu wskazują również prace [Kawęcka, 1988; Milewska-Duda, 1990; Karta, 1982; Larsen, 2004]. W niniejszej pracy, dla wstępnych rozważań ograniczymy się do rozpatrywania gazu adsorbowanego w mikroporach oraz gazu wolnego zawartego w makroporach.

W nienaruszonych partiach górotworu gaz wolny i gaz zasorbowany pozostają w równowadze. Naruszenie tej równowagi może doprowadzić do uruchomienia filtracyjnego transportu gazu wolnego, głównie wzdłuż systemu makroporów. Zmiany rozkładu ciśnienia porowego wywołane filtracją uruchamiają procesy dyfuzji i procesy sorpcji-desorpcji. Ten łańcuch procesów, jeśli umożliwi się stały odpływ gazu poza obszar skały, może prowadzić do stopniowego odgazowania pokładu.

Liczne badania sorpcyjnych właściwości węgli kamiennych wskazały, że CO₂ jest gazem najlepiej penetrującym strukturę wewnętrzną węgli kamiennych, a sorpcja właściwa na węglu zachodzi momentalnie. Badania nad szybkością procesu sorpcji na bardzo drobnych ziarnach węglowych prowadzone przez Gawora [Gawor i in., 1990; Gawor, 1993] potwierdzają tę tezę.

Przenoszenie substancji w sorbencie porowatym zachodzi według różnych mechanizmów, wszystkie jednak znane sposoby przenoszenia zależą od gradientu stężeń (ciśnień), więc kinetyka uwalniania gazu jest uwarunkowana procesami dyfuzji w obrębie pojedynczych ziaren [Lasoń, 1988; Gawor i in., 1990].

Złożom węgla kamiennego towarzyszą gazy takie jak CO_2 , CH_4 oraz woda. Ciśnienie porowe w nienaruszonych partiach złoża węgla kamiennego może osiągać wartości rzędu 1 MPa. Ilość gazu zawartego w 1 tonie węgla sięga kilkunastu kilogramów (normalnych m³).

W pracach dotyczących kinetyki sorpcji–desorpcji [Paderewski, 1999] rozważa złoże ziaren sorbentu obmywane płynem zawierającym sorbat. Dla wstępnej analizy procesu odgazowania przyjmuje się, że system wypełnionych gazem wolnym makroporów i spękań dzieli objętość węgla na wyodrębnione obszary pocięte siecią porów o mniejszych wymiarach. Transport gazu w tych wyodrębnionych obszarach ma charakter dyfuzji napędzanej gradientem stężenia gazu zdeponowanego w węglu. Przyjmujemy, że gaz związany w wyniku całego spektrum procesów adsorpcyjnych i absorpcyjnych przemieszcza się dyfuzyjnie do ścianek makroporów, a następnie uwalnia się do ich wnętrza. Dalszy transport gazu wolnego wzdłuż sieci makroporów ma charakter filtracji wywołanej gradientem ciśnienia porowego.

Odgazowanie złoża łączy się z transportem znacznych ilości (do kilkudziesięciu normalnych m³ gazu na 1 m³ złoża) gazu pierwotnie związanego z organiczną substancją węglową z głębi złoża do ociosu. Filtracyjny transport tak wielkich ilości gazu w systemie makroporów wiaże się ze znaczna modyfikacja ciśnienia porowego. Ciśnienie porowe decyduje o przebiegu dyfuzji w strukturze porowatej węgla. Przebieg odgazowania kształtuje więc wzajemne oddziaływanie filtracji odbywającej się w systemie makroporów i dyfuzji w obszarach gdzie zmagazynowany jest gaz. W warunkach in situ wpływy ciśnienia górotworu jak i ciśnienia gazów kopalnianych mogą powodować zmianę struktury porowej złoża. Jak zaznaczono wcześniej, węgiel kamienny można traktować jako układ biporowaty, którego szczególną cechą jest to, że obszary mikroporowate są albo sprężane przez wysokie ciśnienie płynów porowych, czego konsekwencja jest rozszerzanie makroporów, albo rozszerzają się w wyniku pęcznienia powodowanego przez zjawiska adsorpcyjno-absorpcyjne i w skutek tego zawężają makropory [Seewald i Klein, 1986]. Ta własność węgli wpływa w istotny sposób na przepuszczalność złoża. Hipotezę tę potwierdzają pomiary rozkładu ciśnienia porowego metanu na osi drażonego wyrobiska chodnikowego [Topolnicki i in., 2004]. Pomiary prowadzone były w KWK Pniówek w pokładzie 357/1 w rejonie, gdzie średnia metanonośność wynosiła 5 m³/ t_{csw} . W odległościach większych niż 15 m od czoła chodnika ciśnienie porowe utrzymywało się na stałym poziomie około 0.4 MPa. W odległości około 5 m od czoła chodnika należy spodziewać się zwiększonego nacisku górotworu na pokład węgla, co wywołuje zaciskanie porów i w konsekwencji zubożenie systemu makroporów, skutkuje to gwałtownym spadkiem przepuszczalności wegla. W tym obszarze zanotowano nieznaczny wzrost ciśnienia porowego. Przypisujemy go redukcji objętości makroporów. W wyniku zablokowania makroporów zmniejszeniu ulega filtracyjny przepływ gazu w tym obszarze, dzięki czemu wzrost ciśnienia porowego związany z zaciskaniem porów nie "rozmywa" się i można go zarejestrować. W odległości około 2 m od czoła chodnika zarejestrowano gwałtowny spadek ciśnienia, co interpretujemy jako objaw przejścia w obszar spękany o znacznie wzbogaconej sieci szczelin i makroporów. Efekty te wydatnie ułatwiają filtrację i pozwalają szybko odprowadzić gaz wolny do wyrobiska kopalnianego.

2. Technika pomiaru

Nasze zainteresowania skupiają się wokół kinetyki szybkości odgazowania próbek węgla kamiennego nasyconego CO₂. Wyniki mają znaleźć zastosowanie do opisu odgazowania pokładów węglowych w otoczeniu wyrobisk górniczych a w szczególności do oceny stanu zagrożenia wyrzutami gazu i skał.

Ustalono szereg postulatów dotyczących warunków prowadzenia eksperymentów z odgazowaniem próbek węgla.

- a) Pomiary polegać mają na określeniu czasowej zależności masy gazu zawartego w próbkach węgla w trakcie uwalniania zdeponowanego uprzednio gazu.
- b) Próbki przeznaczone do pomiaru powinny być nasycane gazem pod ciśnieniem zbliżonym do tego, jakie panuje w głębi pokładu węglowego.
- c) Uwalnianie gazu w trakcie pomiarów powinno przebiegać w warunkach zbliżonych do tych, jakie panują w obszarach graniczących z wyrobiskami kopalnianymi.
- d) Aparatura pomiarowa powinna pozwalać na ciągłą rejestrację wyników w horyzoncie czasowym do setek godzin.

- e) Masy wszystkich próbek powinny być zbliżone, należy dążyć do prowadzenia pomiarów z próbkami o znacznych masach (na przykład 1000 g).
- f) Należy zastosować ciąg próbek pokruszonego węgla o wzrastającej granulacji np. od <0.2 mm do około 40 mm oraz na pojedyncze lite, geometrycznie uformowane próbki o wzrastających rozmiarach.

Do badania kinetyki procesu odgazowania można próbować stosować większość technik pomiarowych używanych się do badania zjawiska sorpcji. Jednak analiza doniesień literaturowych nie pozwala na prosty wybór optymalnego typu, czy modelu urządzenia pomiarowego. Z punktu widzenia powyższych uwag najbardziej odpowiednią wydaje się metoda grawimetryczna, pomimo krytycznych uwag wygłaszanych pod jej adresem. Lasoń określał tą metodę jako mało dokładną w porównaniu do metody objętościowej i metody próżniowych mikrobiuretek wysokociśnieniowych [Lasoń, 1988]. Użycie metody mikrobiuretek wymusza stosowanie małych naważek sorbentu a tym samym ograniczenie w wielkości maksymalnego uziarnienia badanej próbki. W literaturze niezbyt licznie pojawiają się prace dotyczące opisu kinetyki odgazowania węgla w zależności od jego rozdrobnienia, a prace zawierające takie rezultaty ograniczały się zwykle do ziaren nie większych niż 2-5 mm [Nodzeński, 1990; Nodzeński, 2000; Ciemroniewicz i Marecka, 1990; Marecka i Mianowski, 1998; Bush i in., 2004].

Stosując metodę grawimetryczną pożądaną dokładność pomiaru uzyskać można używając klasycznej dwu szalkowej wagi. Pozwala to na pomiar masy 1000 g z dokładnością 1 mg. Problemem jest natomiast uzyskanie wystarczającej stabilności wskazań wagi w trakcie trwającego wiele dni eksperymentu.

Do badań opisanych w pracy wykorzystano klasyczną wagę szalkową, wyposażoną dodatkowo w dynamometr. Zastosowano dynamometr zaprojektowany i wytworzony w IMG PAN, opisany w pracy [Topolnicki, 2002]. Zasadę pomiaru ilustruje szkic na rysunku 1. Na jednej z szalek wagi spoczywa pojemnik zawierający próbkę wegla. Drugi koniec dzwigni wagi, połączony z dynamometrem, jest obciążony zestawem odważników. Ciężar odważników kompensuje ciężar pierwszej szalki i startowy ciężar pojemnika napełnionego próbką sorbentu. Dynamometr kompensuje i mierzy nierównowagę sił wywołaną zmianami masy próbki. Wyjście dynamometru połączone zostało z miernikiem cyfrowym. W takcie pomiarów, w miarę pojawiających się problemów modyfikowano program pozwalający rejestrować wskazania dynamometru jako funkcję czasu. Najprostszy program zapisywał wskazania dynamometru w regularnych odstępach czasu. Ze względu na znaczną dynamikę zmiany masy w pierwszych godzinach obserwowanego procesu, konieczne było próbkowanie co 5-10 s. Obserwacja procesu trwa zazwyczaj ponad 80 h, co przy próbkowaniu z krokiem co 5 s daje obszerny, niewygodny plik zawierający ok. 60 tys. punktów. Ostatnia wersja programu formuje wynik pojedynczego pomiaru jako średnią z 10 kolejnych wskazań DVM wyzwalanych co 0.1 s. Kolejny wynik podlega rejestracji jeśli różni się od poprzedniego co najmniej o 2 najmłodsze cyfry wskazania DVM. Taki system pozwala znacznie zredukować rozmiary plików jakie są zapisywane w trakcie wielogodzinnego odgazowania, przy poprawnym odtworzeniu dynamiki odgazowania.



Rys. 1. Metoda pomiaru

Dla sprawdzenia poprawności działania zestawionego urządzenia przeprowadzono dwa testy. Pierwszy test polegał na rejestracji wskazań dynamometru kontrolującego wagę obciążoną obustronnie niezmienną masą 560 g. Waga wraz z dynamometrem została osłonięta obudową dla zredukowania wpływów prądów termicznych powietrza w obszarze laboratorium. Wskazania dynamometru były zapisywane co 5 s w czasie

trwającej ponad 12 h obserwacji. Rezultat tego testu przedstawiony jest na rysunku 2. Widoczne są charakterystyczne skoki odpowiadające zmianom najmłodszej cyfry wskazania woltomierza cyfrowego mierzącego napięcie wyjściowe dynamometru. Wahania wskazań dynamometru mieszczą się w granicach trzykrotnej wartości najmłodszej cyfry wskazania woltomierza, co odpowiada pasmu o szerokości 1 mg.



Rys. 2. Zmiany wskazań dynamometru połączonego z wagą obciążoną obustronnie masą 560 g w trakcie 13 h obserwacji

Drugi test polegał na rejestracji tempa parowania wody z naczynia o średnicy 80 mm umieszczonego na szalce wagi. Parowanie przebiegało w stałej temperaturze otoczenia 24°C, w otwartej przestrzeni laboratorium. Użyto drugiego z przedstawionych programów obsługu-jących proces zbierania danych. Wynik 60-cio godzinnej obserwacji przedstawiony został na rysunku 3. Jak można się było spodziewać masa odparowanej wody wzrasta liniowo w czasie. Tempo parowania w warunkach testu wynosiło 295 mg/h.



Rys. 3. Przebieg parowania wody w temperaturze 24°C

3. Pomiary

3.1. Warunki ogólne

Laboratorium w którym wykonywano pomiary i przygotowywano próbki węgla zastało wyposażone w zbudowany w IMG PAN system stabilizacji temperatury utrzymujący temperaturę pomieszczenia na poziomie 24 ± 0.5 °C. Waga wraz z dynamometrem jest odizolowana od przestrzeni laboratorium obudową. We wnętrzu tej obudowy, obok wagi umieszczono złoże szeroko porowego żelu krzemionkowego. Pozwala to na utrzymanie wilgotności powietrza otaczającego próbkę na poziomie około 20%. Laboratorium wyposażone jest w autoklaw umożliwiający odpompowanie pojemników zawierających próbki węgla oraz nasycanie ich gazem pod ciśnieniem do 10 MPa.

Seria pomiarów, jakie są zaprezentowane poniżej była przeprowadzona warunkach uwzględniających większość postulatów wymienionych w rozdziale drugim. Odstępstwem, uczynionym ze względów technicznych, jest znacznie niższa wilgotność powietrza otaczającego próbkę, od tej jaką spotykamy w wyrobiskach kopalnianych (punkty a i b). Względy techniczne ograniczają masę próbki do około 600 g. Pomiary prezentowane poniżej mają służyć rozpoznaniu przydatności zastosowanej metody pomiarowej i rozpoznaniu kinetyki uwalniania gazu w powtarzalnych warunkach, które jednak odbiegają częściowo od tych jakie panują in situ (np. ciśnienie nadkładu i skał otaczających pokład).

3.2. Przygotowanie próbek i procedura pomiarów

Do pomiarów zastosowano węgiel pobrany bezpośrednio z ociosu wyrobiska, w pokładzie 678, przekop 5 w, poz. –150 m Zakładu Górniczego "Julia" w Wałbrzychu. Węgiel ten po pokruszeniu rozsiano na frakcje o rozmiarach ziaren <0.2 mm, 0.5- 1.5 mm, 1.5-3 mm, 3-5 mm, 6-12 mm. Dodatkowo ręcznie wydzielono frakcję odłamków dających się przełożyć przez kolisty otwór o średnicy 33 mm. Tak przygotowany materiał został umieszczony w próżni (około 15 Pa) na okres czasu 100 godzin. W tym czasie, w wyniku osuszania i uwalniania gazów, węgiel tracił około 10% swojej masy. Tak przygotowany materiał podzielono na próbki o masach 200 g umieszczane w oznakowanych pojemnikach. Po kolejnym zadziałaniu na próbki próżnią były one wstępnie nasycane CO_2 pod ciśnieniem 0.2 MPa przez około 8 h. Po przejściu takiego cyklu przygotowawczego, wyjęte z autoklawu pojemniki z próbkami węgla przechowywano w szczelnie zamkniętych, napełnionych CO_2 słojach do czasu przeprowadzenia zasadniczego eksperymentu.

Przed pomiarem pojemnik z próbką umieszczano ponownie w autoklawie i w ciągu 5 godzin utrzymywano w dynamicznej próżni osiąganej przy pomocy posiadanej pompy rotacyjnej (około 15 Pa). Kolejnym krokiem było odłączenie pompy, przyłączenie butli z CO_2 i nasycanie próbki pod ciśnieniem 0.5 MPa w czasie co najmniej 100 h.

Nasycaną CO_2 próbkę węgla przenoszono z autoklawu na szalkę wagi i rozpoczynano rejestrację ubytku masy próbki trwającą do 140 godzin. W ten sposób przebadano 6 próbek węgla o granulacjach pomiędzy >0.2 mm do 33 mm.

3.3. Wyniki pomiarów

Na rysunku 4 pokazany jest przebieg odgazowania jednej z próbek węgla (granulacja 3-5 mm masa 200 g). Analiza rysunku zdaje się potwierdzać tezę o tym, że przebieg uwalniania CO_2 daje się przedstawić jako suma dwu składników. Pierwszy z nich zanika po upływie około 40 godzin procesu.



Rys. 4. Przebieg odgazowania próbki węgla o masie 200 g granulacji 3-5 mm

O zanikaniu pierwszego składnika wnioskujemy stąd, że począwszy od 40 godziny trwania uwalniania CO₂, proces ten daje się z dużą dokładnością opisać malejącą funkcją wykładniczą:

$$m(t) = m_0 \exp(-\gamma t)$$

gdzie:

 m_0 i m(t) – startowa i bieżąca masa zdeponowanego gazu,

 γ – współczynnik określający tempo zanikania procesu odgazowania.

Wyniki pomiarów które przedstawione były na rysunku 4, są na rysunku 5 rozłożone na dwa składniki "szybki" i "powolny". Oba składniki zanikają wykładniczo.



Rys. 5. Podział procesu uwalniania CO2 na dwa składniki

Dla procesu przedstawionego na rysunku 5 współczynniki eksponent wynoszą odpowiednio 0.0255 [1/h] dla procesu powolnego i 0.129 [1/h] dla procesu szybkiego. Jeśli pominiemy pierwsze 0.2h obserwacji to suma obu eksponent różni się od zanikającej masy zdeponowanego gazu mniej niż o 1%. W momencie startu procesu uwalniania różnicę pomiędzy wynikiem pomiaru i oszacowaniem procesu sumą dwu eksponent można oszacować na około 7%. W przypadku procesu przedstawionego na rysunku 4 i 5 udział gazu uwolnionego w trybie "powolnym" wynosi około 20% całkowitej startowej masy zdeponowanego CO₂.

Analogiczne wnioski można wyciągnąć z analizy przebiegu uwalniania gazu z próbek węgla o innych granulacjach. Można zatem uznać, że uwalnianie CO_2 jest sumą dwu procesów. Pierwszy z nich "szybki" wygasa praktycznie po upływie 20-40 godzin.

Drugi "powolny" proces, który udało się nam obserwować przez ponad 140 h, można z dobrą dokładnością opisać zanikającą funkcją wykładniczą.

Znormalizowane wykresy ilustrujące przebieg uwalniania ditlenku węgla z próbek o różnych granulacjach zostały zestawione na rysunku 6. Dla każdej z gałęzi tego wykresu wykreślono linię odpowiadającą przebiegowi "powolnego" składnika uwalniania. Analiza tego wykresu pozwala na stwierdzenie, że w miarę wzrostu rozmiarów ziaren próbki węglowej wzrasta rola "powolnego" składnika procesu uwalniania. Przy przejściu od najdrobniejszych do najgrubszych z zastosowanych ziaren udział gazu uwalnianego w procesie "powolnym" rośnie od 20% do 50%. Jednocześnie proces staje się coraz to wolniejszy. Stała czasowa "powolnego" składnika procesu wzrasta od –0.0019 [1/h] do –0.0069 [1/h].



Rys. 6. Wykresy uwalniania CO₂ z próbek węgla o różnej granulacji

4. Wnioski

Wyniki wykonanej pracy pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- parametry metrologiczne grawimetrycznej aparatury zbudowanej w IMG PAN są wystarczające dla badania szybkości procesu uwalniania gazu;
- przyjęta procedura pomiarowa jest przydatna do śledzenia procesu uwalniania CO₂ zdeponowanego w próbkach węgla kamiennego;
- proces uwalniania gazu w przypadku przebadanych próbek można opisać jako sumę dwu zanikających w miarę upływu czasu składników. Składnik "szybki" zanika kompletnie po upływie około pierwszych 40 h obserwacji natomiast składnik "powolny" jest mierzalny nawet po upływie 140 h od startu procesu;
- "powolny" składnik uwalniania CO₂ daje się skutecznie opisać zaproponowaną funkcją wykładniczą;
- w miarę wzrastania rozmiarów ziaren węgla kamiennego rośnie znaczenie "powolnego" składnika procesu;
- uzyskane wyniki zachęcają do kontynuowania badań.

Pomiary są czasochłonne. Dla sprawnego prowadzenia dalszych badań konieczne jest zbudowanie kolejnego stanowiska pomiarowego. Dopracowania wymaga technika pomiaru i aparatura w celu umożliwienia obserwacji przebiegu zarówno procesu nasycania badanych próbek węgla kamiennego jak i procesu uwalniania zdeponowanego gazu w kontrolowanej atmosferze.

Autorzy składają serdeczne podziękowania Pani Profesor Grażynie Ceglarskiej-Stefańskiej za cenne uwagi udzielone podczas recenzowania niniejszej pracy.

Literatura

- Bush A,. Gensterblun Y., Krooss B.M., Litlke R., 2004: *Methane and carbon dioxide adsorption diffusion experiments on coal: upscaling and modeling*, International Journl of Coal Geology, 60, 151-168.
- Ciemroniewicz A., Marecka A., 1990: Sorption kinetics of CO₂ or bard coal with different granular sizes, (Kinetyka sorpcji CO₂ na węglu kamiennym o różnej wielkości ziaren), Arch. Górn., vol. 35, 1990.
- Gawor M., Rysz J., Smolarski A.Z., 1990: *Wyznaczanie współczynnika dyfuzji i szybkości desorpcji dwutlenku węgla w węglach kamiennych skłonnych do wyrzutu* (w:) Górotwór jako ośrodek wielofazowy wyrzuty skalno-gazowe, t. II pod red. J. Litwiniszyna, Wyd. AGH-IMG PAN, Kraków.

Gawor M., 1993: Sorpcja i dyfuzja gazów w weglu kamiennym, Arch. Górn. vol. 38, z. 3.

Karta A., 1982: Własności sorpcyjne stałych produktów pirolizy i aktywacji węgli kamiennych, Koks-Smoła-Gaz, nr 9, 78.

- Seewald H., Klein J., 1986: Methansorption an Steinkole und Kennzeichnung der Porenstruktur, Gluckauf-Forschungshefte 47, No. 3, 149-156.
- Kawęcka J., 1988: Sorpcja gazów i par a właściwości polskich węgli kamiennych jako układów dyspersyjnych, Zesz. Nauk. AGH, Chemia, z. 8.
- Larsen J.W., 2004: *The effects of dissolved CO₂ coal scructure and properties*, International Journl of Coal Geology, 57, 63-70.
- Lasoń M., 1988: Powierzchnia właściwa materiałów porowatych, Zesz. Nauk. AGH 1212, Chemia 1988, z. 8.

Lasoń M., 1988a: Powierzchnia właściwa materiałów porowatych, Arch. Górn. vol. 33, z. 4, 1988.

- Marecka A., Mianowski A., 1998: *Kinetics of CO₂ and CH₄ sorption on high rank coal at ambient temperatures*, Fuel 1998, Vol. 77, Number 14.
- Mastalerz M., Gluskoter H., Rupp J., 2004: Carbon dioxide and methane sorption in high volatole bituminous coals from Indiana USA, International Journl of Coal Geology, 60 43-55.
- Milewska-Duda J. 1990: Wegiel kamienny jako heterogeniczny kopolimer w procesie sorpcji, Zesz. Nauk. AGH, Chemia, z. 13.
- Nodzeński A, 2000: Wysokociśnieniowa desorpcja ditlenku węgla i metanu z węgla kamiennego Zaglębia dolnośląskiego, Wyd. AGH, Rozprawy, Monografie, z. 95.
- Nodzeński A. 1990: Wysokociśnieniowa desorpcja dwutlenku węgla z węgli kamiennych w aspekcie procesu uwalniania gazu z pokładu węglowego, Zesz. Nauk. AGH, Chemia, z. 17.
- Nodzeński A, 2000: Wysokociśnieniowa desorpcja ditlenku węgla i metanu z węgla kamiennego Zagłębia Dolnośląskiego, Wyd. AGH, Rozprawy, Monografie, z. 95.
- Topolnicki J., 1999: *Wyrzuty skalno-gazowe w świetle badań laboratoryjnych i modelowych*, Wydawnictwo Inst. Gosp. Sur. Miner. i Energią PAN, Kraków.
- Topolnicki J., Wierzbicki M., Skoczylas N., 2004: *Wyrzuty skalno-gazowe w świetle badań laboratoryjnych i pomiarów kopalnianych*, Arch. Górn., vol. 49, s. 99-116.
- Wierzbicki M., 2003: Zmiany stanu naprężenia i wytężenia materiału w trakcie prowokowania i inicjacji laboratoryjnego wyrzutu skalno-gazowego, IMG PAN, Rozprawy, monografie, nr 4, 134 s.

Tests of gravimetric apparatur designed to searching of the gas realist kinetics from coal samples

Abstract

Degasification of the coal bed is one of the conditions of safe mining work. A trial was undertaken to use a built on IMG PAN apparatus for gravimetric study of degasification of coal samples. The results of the preliminary measurements of the degasification samples of various granulation fractions were presented. A trial of the phenomenological description of the observed process was undertaken.

Keywords: coal sorption desorption gravimetry

Recenzent: Prof. dr hab. Grażyna Ceglarska-Stefańska, Akademia Górniczo-Hutnicza