

Współzależność zjawisk sorpcyjno-rozszerzalnościowych dla próbek węgla kamiennego pochodzących z różnych pokładów

PAWEŁ BARAN

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
E-mail: pawel.baran@agh.edu.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych kinetyki sorpcyjno-rozszerzalnościowej. Badania przeprowadzono dla dwóch próbek węgla, pochodzących z różnych pokładów tej samej kopalni (Pniówek). Stwierdzono liniowy przebieg zależności rozszerzalności od chłonności sorpcyjnej $\varepsilon = f(v)$ względem metanu i ditlenku węgla. Różnice w chłonności sorpcyjnej oraz zbliżone wartości rozszerzalności objętościowej wynikają z różnic w składzie petrograficznym badanych węgli. Próbką o wyższej zawartości macerałów grupy wityritu cechowała się wyższą chłonnością sorpcyjną zarówno względem CH_4 jak i CO_2 .

Słowa kluczowe: sorpcja, pęcznienie, węgiel, gazy kopalniane

1. Wprowadzenie

Badania nad rozszerzalnością węgla wywołaną pochłanianiem gazów prowadzone są od wielu lat. Zainteresowanie tym obszarem badań miało aspekt poznawczy, gdyż zjawisko pęcznienia węgla pozostawało w ścisłym związku zarówno z niejasnościami natury naukowej jak i aspektami praktycznymi, związanymi z techniką górniczą i bezpieczeństwem w tej gałęzi przemysłu. Doniesienia literaturowe skupiają się w dużej części na wpływie pochłaniania przez węgiel gazów kopalnianych. Reucroft i Patel [Reucroft and Patel, 1986] zbadali pęcznienie trzech próbek węgla o różnym stopniu metamorfizmu, wywołanym sorpcją CO_2 , dla ciśnień do 0,15 MPa. Stwierdzili, że maksymalna rozszerzalność badanych węgli w tych warunkach wynosi 1,3%, oraz maleje wraz ze wzrostem zawartości pierwiastka C w węglu. Kontynuacją tematu były badania Reucroft'a i Sethuraman'a [Reucroft and Sethuraman, 1987], gdzie mierzono rozszerzalność węgla dla ciśnień do 1,5 MPa. Stwierdzono wzrost rozszerzalności wraz ze wzrostem ciśnienia ditlenku węgla. Oszacowano również maksymalną rozszerzalność węgla bitumicznego i brunatnego która przy ciśnieniu 1,5 MPa wynosiła odpowiednio 1,33 i 4,18%. Badania rozszerzalności liniowej węgla prowadzone przez Walkera [Walker et al., 1988] wykazały, że wydłużenie próbki węgla brunatnego dla ciśnienia 4,8 MPa było na poziomie ok. 4%. Przy niższym ciśnieniu zmiany wymiarów były nieco mniejsze niż w przypadku badań Reucroft'a i Sethuraman'a. Stwierdzono również nieodwracalność procesu rozszerzania. Dodatkowo zaobserwowano, że ponowienie eksperymentu na tej samej próbce wywołuje większe wydłużenie próbki, od mającego miejsce w poprzedzającym cyklu. Nieodwracalność zjawiska pęcznienia tłumaczono częściowym rozpuszczeniem się ditlenku węgla w matrycy węglowej. Nieodwracalność rozszerzalności węgla pod wpływem metanu i ditlenku węgla stwierdziła w swoich badaniach również Ceglarska-Stefańska [Ceglarska-Stefańska, 1974, 1990]. Celem jej badań było wyjaśnienie mechanizmu lokowania cząsteczek różnych sorbatów w substancji węglowej. Stwierdzono, że rozszerzalność pod wpływem metanu jest niższa w całym zakresie ciśnień od rozszerzalności mierzonej pod wpływem CO_2 . Zaobserwowano również, że rozszerzalność w kierunku prostopadłym do uławicenia jest wyższa niż w kierunku równoległym.

Rozważając problem z punktu widzenia praktycznego i aplikacyjnego, Mazumdar wraz ze współpracownikami [Mazumdar et al., 2006] zasymulowali pęcznienie węgla pod wpływem CO₂ w obecności metanu, czyli w takich warunkach, jakie występują w technologii ECBM (Enhanced Coal Bed Methane). Wykonano testy dla ciśnień mieszaniny obu gazów w przedziale od około 4 MPa do ok. 23 MPa. Rozszerzalność, zmierzona w kierunku równoległym do uławicenia, wyniosła ok. 0,6%, co w przeliczeniu na wszystkie kierunki dałoby zmianę objętości ok. 2%. Rozszerzalność węgla pod wpływem wysokiego ciśnienia CO₂ (do 20 MPa) została przedstawiona w pracy Siemonsa i Buscha [Siemons and Busch, 2007], w której rozszerzalność analizowana była na podstawie wyników izoterm adsorpcji. Metoda ta polega na oszacowaniu zmian objętości próbki poprzez skorygowanie objętości martwej, celem najlepszego dopasowania modelu adsorpcyjnego. Rezultaty wskazują, że zmiany objętości są zróżnicowane i w zależności od typu węgla wynoszą od ok. 3 do 13%. Należy jednak dodać, że wyniki wyznaczone tą metodą nie są pochodną tylko samego pęcznienia, ale również objętości skondensowanego adsorbentu i możliwej kompresji próbki przy wyższym ciśnieniu.

Zebranie obszernej wiedzy dotyczącej współzależności zjawisk sorpcyjno-rozszerzalnościowych wydaje się mieć duże znaczenie w kontekście badań rozwojowych i aplikacyjnych. Jednak jednoczesny pomiar zmian sorpcyjnych i dylatometrycznych jest eksperymentem długotrwałym, dlatego też w literaturze jest niewiele doniesień na ten temat [Ceglarska-Stefańska and Czaplinski, 1993; Karacan, 2003; Kelemen and Kwiatek, 2009]. Wyniki prac pokazują, że efekt zmian objętościowych próbki dla badanych ciśnień (do 5 MPa) jest stosunkowo mały. Według Romanova [Romanov et al., 2006] większych efektów można spodziewać się dla wyższych ciśnień. Interesujący cykl badań, podczas którego zarejestrowano kinetyki sorpcyjne i dylatometryczne przedstawił zespół Majewskiej i Ceglarskiej Stefańskiej [Majewska i in. 2009]. Zasadniczy eksperyment rozszerzono o pomiar poziomu emisji akustycznej towarzyszącej obu zjawiskom. Pomiarów dokonano dla próbek węgla w formie kostek, a sorbatem był metan, ditlenek węgla oraz ich mieszanina. Stwierdzono nieliniową zależność między rozszerzalnością, a ilością zasorbowanego gazu oraz nieodwracalność procesu pęcznienia. Pomiar rozszerzalności australijskich węgli pod wpływem CO₂ w warunkach nadkrytycznych (55°C, ciśnienie do 15 MPa) przeprowadził Day z zespołem [Day et al., 2008]. Dla wszystkich próbek rozszerzalność była większa w kierunku prostopadłym do uwarstwienia i wynosiła od 1,7 do 1,9%. Potwierdzono również większą podatność na pęcznienie węgla niżej uwęglonych. Zaobserwowano także liniową zależność między ilością zasorbowaną do ciśnienia 8 MPa, a rozszerzalnością węgla. Wzrost ciśnienia powyżej 8 MPa powodował dalszy wzrost sorpcji przy niezmiennych wymiarach próbki.

2. Materiał badawczy

Prezentowane w pracy badania wykonane zostały dla dwóch próbek węgla kamiennego. Próbki pochodzą z kopalni Pniówek i pobrane zostały z pokładów 360/1 i 404/1. Dla węgla wykonano analizy techniczną, elementarną oraz petrograficzną. Wybrane wyniki przeprowadzonych analiz przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Tab. 1. Wyniki analizy elementarnej i technologicznej badanych próbek

Próbka /pokład	C^{daf}	S^{daf}	H^{daf}	N^{daf}	O^{daf}	W^a	A^a	V^{daf}
Pn1 (360/1)	88,38	0,41	4,81	1,59	4,81	1,75	3,01	27,12
Pn2 (404/1)	88,94	0,61	4,82	1,78	3,94	0,68	3,78	25,50

Analiza elementarna wykonana została w Głównym Instytucie Górnictwa w Katowicach. Zawartość wilgoci wyznaczono zgodnie z normą PN-80/G-04511, zawartość popiołu wg normy PN-80/G-04512.

Tab. 2. Skład petrograficzny badanych próbek

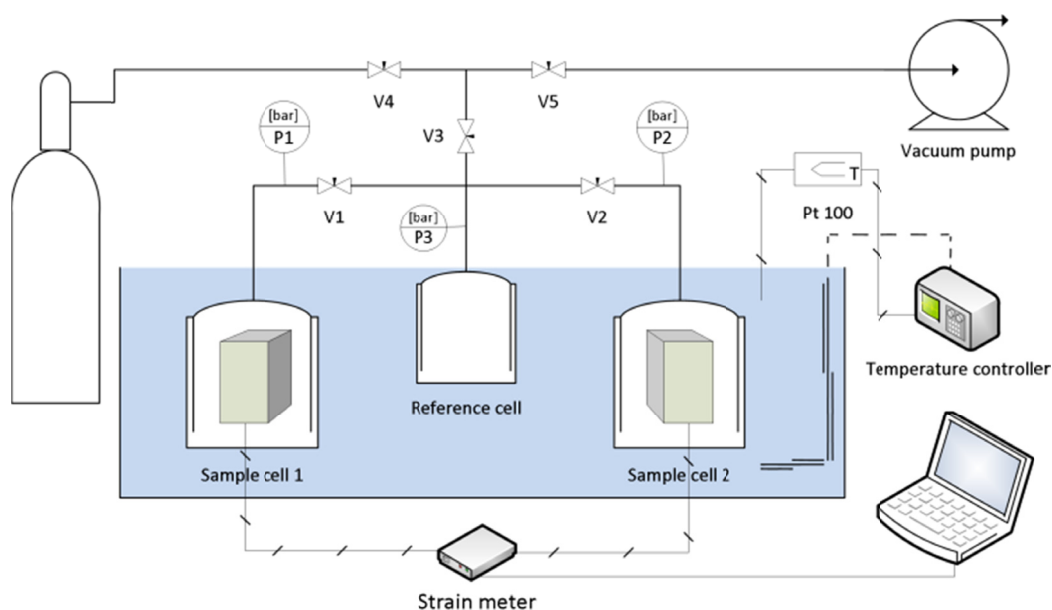
Próbka	Grupa macerałów [%]		
	Witrynit	Liptynit	Inertynit
Pn1	73	7	20
Pn2	53	8	39

Węgiel kamienny cechuje się dużą niejednorodnością w odniesieniu do składu chemicznego, a także petrograficznego. Nawet w obszarze niewiele od siebie oddalonych pokładów, właściwości fizykochemiczne

węgla mogą różnić się od siebie, czasem nawet dość znacznie, czego przykładem są duże różnice w składzie petrograficznym analizowanych próbek (Tab. 2). Zmienność tych parametrów powoduje trudności w interpretacji wyników badań prowadzonych na tych próbkach. Zastosowanie stosunkowo dużej, litej próbki o masie ok. 20 g pozwala na lepszą reprezentatywność uzyskanych wyników w stosunku do danych literaturowych, gdzie bardzo często stosuje się próbki małe, często nieprzekraczające 1 g. Do pomiarów sorpcyjno-dylatometrycznych, z macierzystej bryły węgla wycięto prostopadłościenną kostkę o wymiarach $18 \times 18 \times 40$ mm. Kolejno, na przeciwległych ściankach próbki zostały przyklejone tensometry oporowe zorientowane wzdłuż i poprzecznie do warstwowania.

3. Stosowana aparatura

Do przeprowadzenia pomiarów użyto aparatu, zaprojektowanego i zbudowanego przez autora. Aparat umożliwia równoczesny pomiar wielkości sorpcyjno-dylatometrycznych dla dwóch próbek w postaci kostki (Rys. 1). Chłonność sorpcyjna mierzona jest metodą manometryczną. Pomiar ciśnienia odbywa się przy użyciu przetworników ciśnienia (P1, P2, P3). W przypadku części dozującej aparatu użyto przetwornika S-10 firmy WIKA (P3) pracującego w zakresie ciśnień od 0 do 100 bar, o klasie dokładności 0,25% BFSL (Best Fit Straight Line). Pomiar ciśnienia w ampułach pomiarowych (P1 i P2) (sample cell 1 i 2) dokonywany jest przy użyciu przetworników UT-10 firmy Wika. Przetworniki umożliwiają pomiar ciśnienia do 10 MPa i posiadają regulowany zakres pomiarowy skali 1:20. Dokładność urządzeń wynosi 0,1% zakresu pomiarowego. Aparat umieszczony jest w termostacie wodnym, utrzymującym stałą temperaturę z dokładnością 0,1 K. Szczegółowy opis metodyki badań oraz obliczeń przedstawiono we wcześniejszej pracy [Baran et al., 2015].



Rys. 1. Schemat aparatury

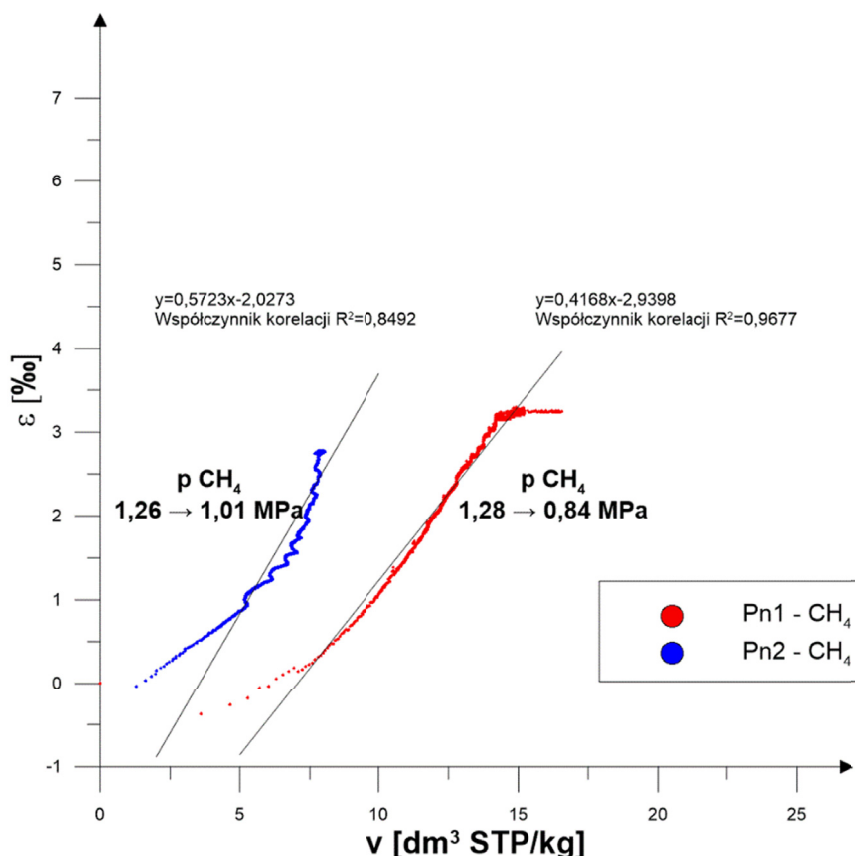
Odształcenia liniowe próbki mierzone są przy pomocy tensometrycznego miernika odkształceń zbudowanego w Instytucie Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk. Istotą pomiaru jest użycie tensometrów naprężnych elektrozestancyjnych przy zastosowaniu przetworników rezystancyjnych, mostkowych. Wyniki pomiarów prezentowane są przy pomocy wyświetlacza alfanumerycznego, mogą też być zapisywane w wewnętrznej pamięci lub transmitowane na zewnątrz przy pomocy łącza szeregowego. Programowanie miernika obejmuje wprowadzanie parametrów zespołu podłączanych tensometrów lub przetworników, ustawianie bieżącego czasu, określenie kryterium rejestracji danych pomiarowych. Tensometr składa się z elementu rezystancyjnego przyklejonego specjalnym klejem do próbki. Do elementu rezystancyjnego najczęściej przylutowane są tzw. końcówki służące do łączenia tensometru z przewodami prowadzącymi do aparatury pomiarowej. Zasada działania tego miernika opiera się o wykorzystywanie zjawiska fizycznej zmiany rezystancji przewodnika pod wpływem odkształceń [Kanciruk, 2009].

4. Przebieg eksperymentu

Kostkę węglową z naklejonymi tensometrami umieszczono w ampulce pomiarowej, a następnie podłączono do tensometrycznego miernika odkształceń. Aby możliwe było wyznaczenie chłonności sorpcyjnej, wyznaczono z użyciem helu objętość martwą układu. Kolejno, układ został odgazowany do osiągnięcia statycznej próżni rzędu 10^{-2} Pa. Po zamknięciu wszystkich zaworów i wyzerowaniu tensometrycznego miernika odkształceń, układ był gotowy do rozpoczęcia zasadniczej części eksperymentu. Do części dozującej (reference cell) wprowadzono gaz (metan/ditlenek węgla). Rozpoczęcie rejestracji kinetyki sorpcyjno-dylatometrycznej nastąpiło w momencie wprowadzenia sorbatu do części pomiarowej poprzez otwarcie zaworu V1. Początkowe ciśnienie od którego następowały zmiany sorpcyjno-dylatometryczne próbki wynosiło dla wszystkich pomiarów ok. 1,28 MPa. Kinetyka odkształceń liniowych próbki zapisywana w wewnętrznej pamięci tensometrycznego czujnika odkształceń. Kinetyka zmian sorpcyjno-dylatometrycznych względem obu sorbatów prowadzona była w temperaturze 298 K i rejestrowana przez 50 godzin.

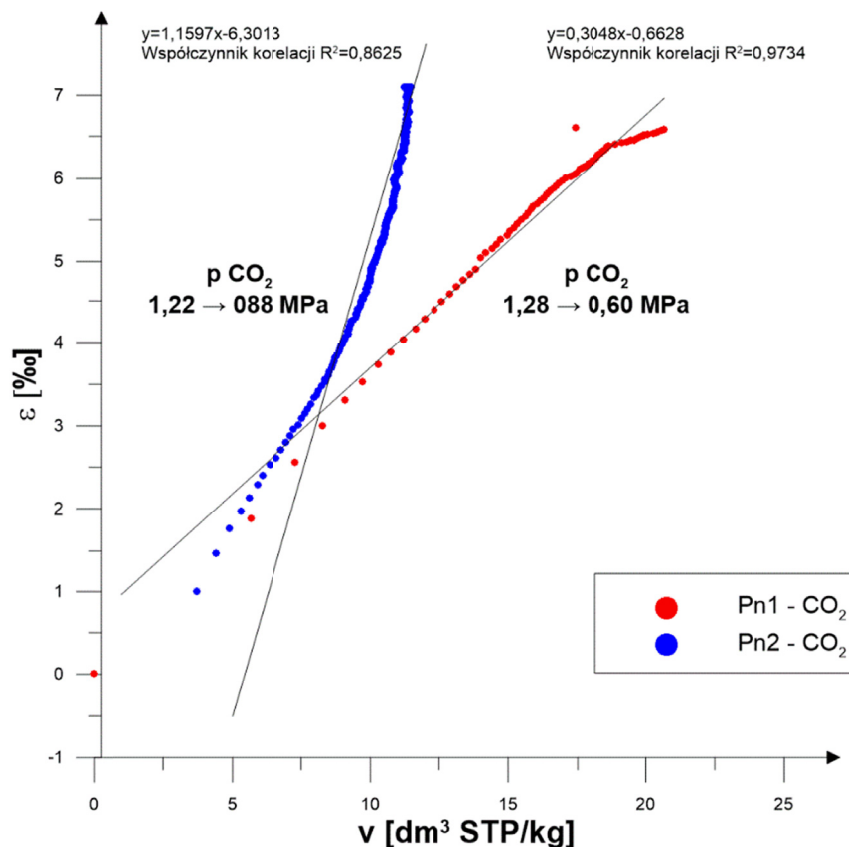
5. Otrzymane wyniki

Wyniki badań sorpcyjno-dylatometrycznych zestawiono w postaci wykresów zależności odkształceń objętościowych w funkcji ilości pochłoniętego przez próbkę gazu. Na rysunku 2 przedstawiono wyniki badań mierzonych względem metanu. Można stwierdzić, że przebieg zależności jest zbliżony do liniowego przy czym współczynnik dopasowania wyższy jest dla próbki Pn1. Analizując wyniki z osi odciętych, próbka Pn1 wykazała niemal dwukrotnie wyższą chłonność sorpcyjną w porównaniu do Pn2. Jednocześnie wielkość odkształceń objętościowych pozostawała na zbliżonym poziomie (ok. 3‰) i w przypadku próbki Pn1 była nieznacznie wyższa. Początkowy przebieg zależności jest niemal identyczny zarówno dla próbki Pn1 jak i Pn2. Obserwuje się ten sam kształt, a różnicą jest jedynie przesunięcie przebiegu względem osi odciętych. Można więc wyciągnąć wniosek że wielkość chłonności sorpcyjnej, w początkowym obszarze kinetyki, nie ma wpływu na wielkość rozszerzalności objętościowej próbki węgla. Próbka Pn1 mimo wyższej chłonności sorpcyjnej rozszerza się w czasie o tą samą wartość.



Rys. 2. Zestawienie zależności odkształceń objętościowych od chłonności sorpcyjnej badanych próbek względem metanu

Analizując końcowy przebieg obu zależności widoczne są wyraźne różnice. Dla próbki Pn1 obserwuje się ustabilizowanie wartości rozszerzalności przy nadal rosnącej sorpcji. W przypadku próbki Pn2 zależność jest odwrotna, przy niewielkim wzroście sorpcji, rozszerzalność objętościowa zmierza w kierunku pionowej asymptoty. Należy przypomnieć, że analizowane wyniki dotyczą kinetyk wyznaczonych w czasie 50 godzin, czyli można sądzić iż układ nie osiągnął równowagi sorpcyjnej i dylatometrycznej.



Rys. 3. Zestawienie zależności odkształceń objętościowych od chłonności sorpcyjnej badanych próbek względem ditlenku węgla

Podobne wyniki zaobserwowano dla układu węgiel- CO_2 (rysunek 3). Rozpatrując podobieństwa obu układów, zależność $\varepsilon = f(v)$ jest również zbliżona do liniowej i również lepsze dopasowanie obserwujemy dla próbki Pn1. Zasadniczą różnicą w odniesieniu do poprzedniego układu jest to, że na początku kinetyki obserwuje się niemal identyczny przebieg zależności. Krzywe pokrywają się, czyli chłonność sorpcyjna w jednoznaczny sposób wpływa na wielkość odkształceń objętościowych. Kolejno, w miarę procesu pochłaniania CO_2 , charakter obu krzywych zmienia się analogicznie jak w przypadku układu węgiel-metan.

6. Dyskusja wyników

Przedstawione w formie wykresów wyniki pokazują, że współzależność zjawisk sorpcyjno-dylatometryczna układu węgiel-gaz, wykazuje dla obu badanych sorbatów pewne analogie. Badane próbki, pochodzące z różnych pokładów tej samej kopalni, posiadają bardzo zbliżone wyniki analizy chemicznej i technologicznej. Jednak ich właściwości będące efektem pochłaniania gazów kopalnianych różnią się. W świetle obecnej wiedzy o mechanizmach deponowania cząstek sorbatów w węglach kopalnych, można przyjąć że procesy sorpcyjne w nich zachodzące mają charakter adsorpcyjno-absorpcyjny, co warunkuje zmianę parametrów geometrycznych układu. Istnieje wiele doniesień wpływu składu petrograficznego na właściwości sorpcyjne węgla [Karacan and Mitchell, 2003; Mastalerz et al., 2004; Majewska et al., 2009]. Macerały grupy wityryny cechują się dużą mikroporowatością [Karacan and Mitchell, 2003]. Z kolei macerały grupy inertynitu cechują się raczej mezo i makroporowatością [Gan et al., 1972; Lamberson and Bustin, 1993; Mastalerz et al., 2010]. Potwierdzają to wyniki kinetyki sorpcji zarówno metanu jak i ditlenku.

ku węgla, gdzie próbka Pn1 odznacza się wyższą zawartością grupy wityryny przy podobnej zawartości macerałów grupy liptynyty. W przypadku zjawisk sorpcyjnych układ mikroporowaty stanowi podstawowy obszar sorpcyjny, w którym energia adsorpcji jest najwyższa. Dlatego też obserwuje się gwałtowny przyrost ilości zaadsorbowanej w początkowym etapie adsorpcji. Jednak dynamika sorpcji w materiale o tak złożonej strukturze jak węgiel jest skomplikowana. Zachodzą tutaj procesy dyfuzji molekularnej, tłumaczonej jako procesy transportu w makro i mezoporach, znacznie wolniejsze przemieszczanie w mikroporach, a także proces dyfuzji w fazie elastycznej kopolimeru węglowego. Występowanie ostatniego z wymienionych procesów potwierdzają wyniki badań deformacji sorpcyjnej węgla a także obliczenia modelowe [Milewska-Duda et al., 2000; Jodłowski et al., 2007]. Dobrze ilustrują to wyniki sorpcji CO₂, który ze względu na mały rozmiar cząsteczki dobrze penetruje strukturę mikroporów. W przypadku wyższych zapełnień następuje spowolnienie kinetyki, co jest efektem ograniczeń dyfuzyjnych, wynikających z penetracji sorbatu do coraz węższych porów, oraz obszarów powstałych w wyniku deformacji elementów makro- i mikromolekularnych kopolimeru węglowego [Ceglarska-Stefańska, 1990]. Prezentowane w pracy wyniki względem ditlenku węgla potwierdzają zaprezentowany wyżej pogląd, gdyż wyższa zawartość wityryny powiązana jest z wyższą chłonnością sorpcyjną. Powstaje pytanie jak tłumaczyć podobną wartość rozszerzalności objętościowej? Jak wspomniano, procesy pochłaniania sorbatu mają charakter absorpcyjno-adsorpcyjny. Badania eksperymentalne nie pozwalają bezpośrednio zmierzyć jaki jest udział każdego ze zjawisk. Analizy modelowe oparte na modelu sorpcji dualnej pokazują, że udział zjawiska absorpcji metanu jest niewielki, natomiast jest on znacznie większy w przypadku CO₂ [Milewska-Duda et al., 2000; Jodłowski et al., 2007; Baran et al., 2016]. Potwierdzają to wyniki eksperymentu przedstawione w pracy, których podobną wartość rozszerzalności objętościowej, mimo różnej sorpcji CO₂ należy tłumaczyć zbliżonym udziałem absorpcji dla obu próbek węgla. Wyższa chłonność sorpcyjna próbki Pn1 będzie więc rezultatem większego udziału adsorpcji, wynikającego z większej zawartości wityryny który cechuje się mikroporowatością. W przypadku metanu zjawisko pochłaniania gazu zachodzi według mechanizmu adsorpcji fizycznej głównie w obszarze mikroporowatym. Niższą wartość chłonności sorpcyjnej w porównaniu do CO₂ należy tłumaczyć większą średnicą kinetyczną metanu, a także niespecyficznym oddziaływaniem z powierzchnią sorbentu. Zbliżona rozszerzalność objętościowa wywołana sorpcją metanu będzie efektem deformacji struktury w wyniku wypełniania sieci dostępnych submikroporów, czyli kapilar o promieniu poniżej 2 nm.

Podsumowanie

Na podstawie otrzymanych wyników eksperymentalnych stwierdzono:

- 1) Przebieg zależności rozszerzalności objętościowej od chłonności sorpcyjnej sorbatu jest zbliżony do liniowego;
- 2) Wielkość chłonności sorpcyjnej nie wpływa na wartość rozszerzalności węgla wywołanej pochłanianiem metanu w badanym zakresie pomiarowym;
- 3) Udział zjawiska absorpcji CO₂, w obu próbkach jest zbliżony, a wyższa chłonność sorpcyjna próbki Pn1 uwarunkowana jest większą zawartością mikroporów;
- 4) Skład petrograficzny próbek węgla pozostaje w związku z chłonnością sorpcyjną, w przypadku rozszerzalności takiego wpływu już się nie obserwuje.

Podziękowania

Praca wykonana w ramach badań dla podtrzymania potencjału badawczego AGH (um. nr 11.11.210.374)

Literatura

- Baran P., Zarebska K., Bukowska M., 2015: *Expansion of Hard Coal Accompanying the Sorption of Methane and Carbon Dioxide in Isothermal and Non-Isothermal Processes*. Energy and Fuels, 29 (3).
- Baran P., Jodłowski G.S., Zarebska K., 2016: *Sorption of CO₂ in Lignites from Polish Coal Mines: Measurements and Thermodynamic Analysis*. Adsorption, 22 (4-6).
- Ceglarska-Stefańska G., 1974: *Rozszerzalność węgla kamiennych o różnym stopniu metamorfizmu pod wpływem sorpcji metanu przy wysokich ciśnieniach*. Title, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Biblioteka Główna AGH.
- Ceglarska-Stefańska G.: 1990: *Współzależność procesów sorpcyjnych i dylatometrycznych zachodzących w układach: para wodna, dwutlenek węgla, metan*. Zesz. Nauk. AGH, Chem., 16.

- Ceglarska-Stefańska G., Czaplinski A., 1993: *Correlation between Sorption and Dilatometric Processes in Hard Coals*. Fuel, 72 (3), 413-417.
- Day S., Fry R., Sakurovs R., 2008: *Swelling of Australian Coals in Supercritical CO₂*. Int. J. Coal Geol., 74 (1), 41-52.
- Gan H., Nandi S.P., Walker Jr., P.L., 1972: *Nature of the Porosity in American Coals*. Fuel, 51 (4), 272-277.
- Jodłowski G.S., Baran P., Wójcik M., Nodzeński A., Porada S., Milewska-Duda J., 2007: *Sorption of Methane and Carbon Dioxide Mixtures in Polish Hard Coals Considered in Terms of Adsorption-Absorption Model*. Appl. Surf. Sci., 253 (13 SPEC. ISS.).
- Kanciruk A., 2009: *Urządzenia do pomiarów wielkości mechanicznych i temperatury przy użyciu przetworników rezystancyjnych i przykłady ich zastosowania*. Instytut Mechaniki Górotworu PAN, 2009.
- Karacan C.Ö., 2003: *Heterogeneous Sorption and Swelling in a Confined and Stressed Coal during CO₂ Injection*. Energy & Fuels, 17 (6), 1595-1608.
- Karacan C.Ö., Mitchell G.D., 2003: *Behavior and Effect of Different Coal Microlithotypes during Gas Transport for Carbon Dioxide Sequestration into Coal Seams*. Int. J. Coal Geol., 53 (4), 201-217.
- Kelemen S.R., Kwiatek L.M., 2009: *Physical Properties of Selected Block Argonne Premium Bituminous Coal Related to CO₂, CH₄, and N₂ Adsorption*. Int. J. Coal Geol., 77 (1-2), 2-9.
- Lamberson M.N., Bustin R.M., 1993: *Coalbed Methane Characteristics of Gates Formation Coals, Northeastern British Columbia: Effect of Maceral Composition*. Am. Assoc. Pet. Geol. Bull., 77 (12).
- Majewska Z., Ceglarska-Stefańska G., Majewski S., Ziętek J., 2009: *Binary Gas Sorption/desorption Experiments on a Bituminous Coal: Simultaneous Measurements on Sorption Kinetics, Volumetric Strain and Acoustic Emission*. Int. J. Coal Geol., 77 (1-2), 90-102.
- Mastalerz M., Gluskoter H., Rupp J., 2004: *Carbon Dioxide and Methane Sorption in High Volatile Bituminous Coals from Indiana, USA*. Int. J. Coal Geol., 60 (1), 43-55.
- Mastalerz M., Drobnia A., Walker R., Morse D., 2010: *Coal Lithotypes before and after Saturation with CO₂; Insights from Micro- and Mesoporosity, Fluidity, and Functional Group Distribution*. Int. J. Coal Geol., 83 (4), 467-474.
- Mazumder S., Karnik A.A., Wolf K.-H.A.A., 2006: *Swelling of Coal in Response to CO₂ Sequestration for ECBM and Its Effect on Fracture Permeability*. SPE J., 11 (3), 390-398.
- Milewska-Duda J., Duda J., Nodzeński A., Lakatos J., 2000: *Absorption and Adsorption of Methane and Carbon Dioxide in Hard Coal and Active Carbon*. Langmuir, 16 (12), 5458-5466.
- Reucroft P.J., Patel H., 1986: *Gas-Induced Swelling in Coal*. Fuel, 65 (6), 816-820.
- Reucroft P.J., Sethuraman A.R., 1987: *Effect of Pressure on Carbon Dioxide Induced Coal Swelling*. Energy & Fuels, 1 (1), 72-75.
- Romanov V.N., Goodman A.L., Larsen J.W., 2006: *Errors in CO₂ Adsorption Measurements Caused by Coal Swelling*. Energy and Fuels, 20 (1), 415-416.
- Siemons N., Busch A., 2007: *Measurement and Interpretation of Supercritical CO₂ Sorption on Various Coals*. International Journal of Coal Geology, p. 229-242.
- Walker P.L., Verma S.K., Rivera-Utrilla J., Khan M.R., 1988: *A Direct Measurement of Expansion in Coals and Macerals Induced by Carbon Dioxide and Methanol*. Fuel, 67 (5), 719-726.

Interdependence of sorption-expansion phenomena for hard coal samples from different mine seams

Abstract

The experimental result of sorption-expansion kinetics have been presented. The study was conducted for two hard coal samples from different seams of the same mine (Pniówek). A linear relationship of $\varepsilon = f(v)$ with respect to methane and carbon dioxide was found. Differences in sorption capacity and similar values of volume expansion are due to differences in the petrographic composition of the coals studied. A sample with a higher content of vitrinite group was characterized by a higher sorption capacity both for CH₄ and CO₂.

Keywords: sorption, swelling, coal, mine gases