



Mgr inż. Barbara Dutka*)

Laboratoryjne określenie zależności między ciśnieniem hydrostatycznym wywieranym na próbkę węgla, a wybranymi parametrami opisującymi sorpcję gazu

Laboratory studies to determine the relationship between hydrostatic pressure exerted on the coal sample and the selected parameters describing sorption of gas

Treść: Praca zawiera podsumowanie stanu wiedzy oraz doświadczeń w zakresie badania wpływu obciążenia na właściwości sorpcyjne węgla. Zagadnienie to stanowi istotny element uzupełniający opis układu węgiel-gaz, jednakże z powodu trudności metrologicznych pojawiających się w trakcie eksperymentów laboratoryjnych, jak dotąd nie jest w pełni rozpoznane. Podjęto próby znalezienia zależności pomiędzy parametrami opisującymi sorpcję gazu na węglu a obciążeniem. Do tego celu zaprojektowano i wykonano aparaturę badawczą służącą do wyznaczania parametrów sorpcyjnych węgla, w której ciśnienie hydrostatyczne obciążające próbkę utożsamiano z obciążeniem wywieranym przez nadkład skalny na pokład węglowy. Mając na uwadze odmienną naturę gazów kopalnianych (metan, ditlenek węgla), podejmowano próby wyznaczania parametrów sorpcyjnych węgla w stanie obciążenia hydrostatycznego. Sposób pomiaru sorpcji pod obciążeniem okazał się skomplikowany, a mierzone zmiany parametrów sorpcyjnych niekiedy bardzo małe. W pracy porównano wpływ obciążenia na pojemność sorpcyjną węgla różniących się stopniem uwęglenia.

Abstract: This paper presents a summary of the state of knowledge and experience in the field of study of the impact of external load on the sorption properties of coal. The issue is an important element of complementary description of a coal-gas system, however, due to the metrological difficulties arising in the course of laboratory experiments, so far not fully recognized. Attempts have been made to find relations between the parameters describing gas sorption on coal and external load. For this purpose, the research equipment was designed and manufactured to determine the sorption parameters of coals. The hydrostatic pressure applied to coal sample was identified with the load exerted on the coal seam by overburden rocks. Taking into account the different nature of mine gases (methane, carbon dioxide) attempts have been made to determine the sorption parameters under hydrostatic pressure. Sorption measurements under load conditions proved to be complicated, and also, changes in the measured parameters were sometimes exceptionally small. This paper compares the hydrostatic pressure effect on the sorption capacity of coals differing in the degree of coalification.

Słowa kluczowe:

pojemność sorpcyjna węgla, pęcznienie sorpcyjne, ditlenek węgla, metan, ciśnienie hydrostatyczne

Key words:

sorption capacity, sorption-induced swelling, carbon dioxide, methane, hydrostatic pressure

1. Wprowadzenie

Górnictwo jest nauką znaną od dawna, jednakże są obszary, które wymagają w dalszym ciągu wyjaśnienia. Wszelkie przesłanki wskazują, że wraz ze wzrostem głębokości pozyskiwania węgla kamiennego zawartość CH_4 w pokładach będzie się zwiększała, dlatego znaczącym wydaje się określenie wpływu obciążenia na parametry sorpcyjne węgla. Badania sorpcyjne dotyczące układu węgiel-gaz koncentrują się na wyznaczeniu parametrów sorpcyjnych węgla w warunkach ciśnienia i temperatury odpowiadających warunkom panującym w pokładzie. Parametry sorpcyjne, takie jak pojemność sorpcyjna czy pęcznienie, wyznaczane są na podstawie obserwacji materiału węglowego, który nie jest poddany

obciążeniu, a żadna poprawka mogąca wpływ tego czynnika uwzględnić nie jest stosowana.

Istotnym elementem badań nad rozpoznaniem wpływu obciążenia na sorpcję jest ustalenie, w jaki sposób sorbent węglowy nasycony gazem sorbującym reaguje na zmianę obciążenia. W prowadzonych przez autorkę badaniach ciśnienie hydrostatyczne, działające okólnie na próbkę, utożsamiane jest z ciśnieniem pochodzącym od skał nadkładu i ścian bocznych, działającym na węgiel w pokładzie. Za pomocą wykonanej w IMG PAN aparatury [1] możliwy jest pomiar zmian ilości gazu związanego sorpcją w wyniku wzrostu lub obniżenia ciśnienia hydrostatycznego działającego na próbkę węglową. Ma to ścisły związek ze zjawiskami zachodzącymi w pokładzie naruszonym działalnością górniczą. Naprężenia wywierane na pokład węglowy są zmienne wraz z postępującą eksploatacją, co może wpływać na tworzenie się przed czołem przodka

*) Instytut Mechaniki Górotworu PAN w Krakowie

chodnikowego strefy zwiększonego ciśnienia porowego pokrywającej się z miejscem koncentracji naprężeń. Zjawisko to jest znane od wielu lat, jednakże przyczyny wzrostu ciśnienia gazu tłumaczone są zaciskaniem się przestrzeni porowej i sprężaniem w niej gazu wolnego. Zastanawiające może być zatem, czy wzrost ciśnienia złożowego gazu wynika wyłącznie z zaciskania porów węgla, czy jest to rezultat desorpcji gazu wywołanej wzrostem obciążenia w miejscu zwanym barierą odgazowania [12]. Ponadto, rozpoznanie parametrów sorpcyjnych charakteryzujących układ węgiel-metan jest pomocne dla zapewnienia bezpieczeństwa prowadzenia eksploatacji.

Uzasadnieniem podjęcia badań jest przede wszystkim brak jednoznacznych odpowiedzi w literaturze, dotyczących jakościowego i ilościowego opisu parametrów układu węgiel-gaz pod wpływem obciążenia mechanicznego. O ile dość dokładnie przebadany został wpływ sorpcji na zmianę objętości materiału węglowego (pęcznienie, kontrakcja) [10, 8] o tyle wydaje się, iż problem odwrotny wymaga poświęcenia większej uwagi. Analiza literatury polskiej, jak i światowej, wskazuje na to, iż kilkakrotnie podejmowano próbę określenia wpływu obciążenia mechanicznego na proces sorpcji gazu na węglu. Baza dostępnych wyników badań nad rozpoznanem zjawiska jest niewielka [4, 5]. Badania te skupiają się wokół ogólnej prawidłowości, iż aplikacja obciążenia na próbkę węgla powoduje obniżenie jego pojemności sorpcyjnej. Praca zawiera podsumowanie doświadczeń autorki w zakresie badania zależności pomiędzy obciążeniem a wybranymi parametrami opisującymi sorpcję gazu na węglu.

2. Badania realizowane w IMG PAN

Badania sorpcyjne w stanie obciążenia próbki ciśnieniem hydrostatycznym realizowane są na autorskiej aparaturze wysokociśnieniowej (rys. 1) [1, 2]. Urządzenie to umożliwia prowadzenie pomiarów sorpcyjnych w warunkach obciążenia próbki, zbliżonych do warunków występujących w górotworze na głębokości ponad 1000 m. Pomiar polega na wyznaczeniu pojemności sorpcyjnej oraz zmian objętościowych węgla. Określenie tych parametrów wymaga osiągnięcia przez układ równowagi sorpcyjnej. Czas osiągnięcia równowagi sorpcyjnej uzależniony jest od postaci badanej próbki węglowej (miał, ziarna węglowe o różnej klasie ziarnowej, brykiet, próbka lita). Optymalnym rozwiązaniem jest zastosowanie do

miarów brykietu węglowego, formowanego z klasy ziarnowej 0.20-0.25 mm [1]. Badania dotyczą sorbatów zarówno CO_2 , jak i CH_4 . Temperatura pomiaru zbliżona jest do temperatury złożowej. Stosowane są różne procedury pomiarowe obejmujące wyznaczenie parametrów sorpcyjnych na kilku poziomach ciśnienia hydrostatycznego obciążającego próbkę.

Kolejne procedury eksperymentu to:

- przygotowanie próbki (pobranie, mielenie, wysianie klasy ziarnowej, suszenie w temperaturze 105 °C, formowanie próbki, umieszczenie próbki w aparaturze),
- odgazowanie próbki do ciśnienia 10^{-3} mbar (czas odgazowania 48 h),
- pomiar wstępny z użyciem helu,
- odgazowanie próbki (czas odgazowania 12 h),
- docisk próbki do obciążenia wyjściowego i nasywanie jej gazem do stanu równowagi sorpcyjnej przy utrzymywaniu ciśnienia gazu na stałym poziomie podczas całego eksperymentu,
- zwiększenie (bądź zmniejszenie) obciążenia hydrostatycznego próbki w kilku krokach pomiarowych, a następnie wyznaczenie ilości gazu desorbowanego z próbki (bądź sorbowanego na próbce).

3. Badania nad rozpoznanem zjawiska wpływu ciśnienia hydrostatycznego na sorpcję gazu

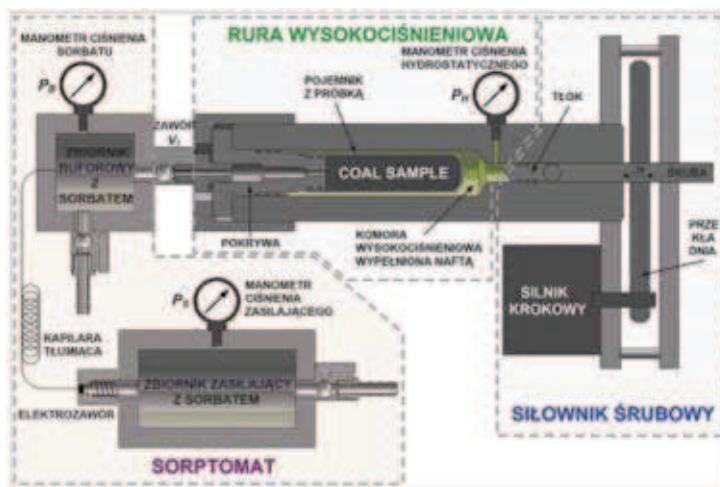
W latach 2010-2013 przeprowadzono eksperymenty polegające na wyznaczeniu parametrów sorpcyjnych w stanie obciążenia hydrostatycznego próbki węglowej. Badania te mogą zostać ujęte w dwie grupy badań nad rozpoznanem zjawiska:

1. Wykazanie wpływu obciążenia na pojemność sorpcyjną i pęcznienie sorpcyjne węgla względem CO_2 ,
2. Określenie wpływu obciążenia na pojemność sorpcyjną węgla względem CH_4 .

3.1. Eksperymenty z CO_2

Zasadniczym celem badań prowadzonych z udziałem silnie sorbującego na węglu CO_2 było rozpoznanie następujących zagadnień:

- Czy pojemność sorpcyjna zależy od obciążenia wywieranego na sorbent węglowy?

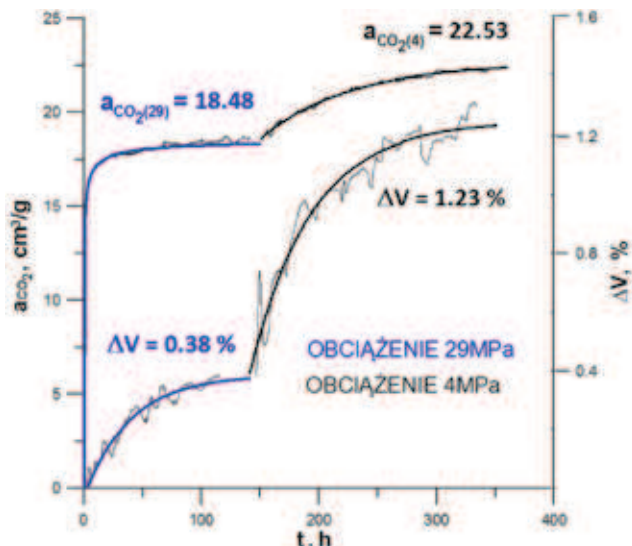


Rys 1. Schemat aparatury wysokociśnieniowej do pomiarów sorpcyjno-desorpcyjnych [1]

Fig. 1. Scheme of high pressure apparatus for sorption-desorption measurements [1]

- Czy próbka sorbująca gaz będzie pęczniała w warunkach znacznego obciążenia?
- Czy obciążenie ma wpływ na relację sorpcja-pęcznienie?

W toku eksperymentu otrzymano krzywe ukazujące zmiany pojemności sorpcyjnej badanego węgla względem CO₂ przy obciążeniu próbki 29 MPa oraz po zmniejszeniu obciążenia z 29 na 4 MPa (rys. 2). Zmianom pojemności sorpcyjnej rejestrowanym w różnych warunkach obciążenia towarzyszyły zmiany objętości węgla.



Rys. 2. Sorpcja CO₂ oraz zmiana objętości próbki podczas sorpcji (obciążenie 29 oraz 4 MPa) węgla z GZW, pokład 406, średnio uwęglony, klasa ziarnowa 0.3÷0.5 mm; temperatura 30 ± 0.1 °C

Fig. 2. Sorption of CO₂ and change of the sample volume during sorption (load 29 and 4 MPa); coal from the Upper Silesian Coal Basin, coal seam no. 406, medium rank coal, grain size 0.3 ÷ 0.5 mm; temperature of 30 ± 0.1 °C

Próbkę nasycano CO₂ pod stałym ciśnieniem wynoszącym $p_{CO_2} = 6.0$ bar (od próżni do ciśnienia sorbatu p_{CO_2}) przy ciśnieniu hydrostatycznym 29 MPa. Po około 140 godzinach próbka obciążona hydrostatycznie ciśnieniem 29 MPa zasorbowała 18.48 cm³CO₂/g. Podczas procesu nasycania obserwowano pęcznienie próbki wynoszące około 0.38%. Naprężenia sorp-

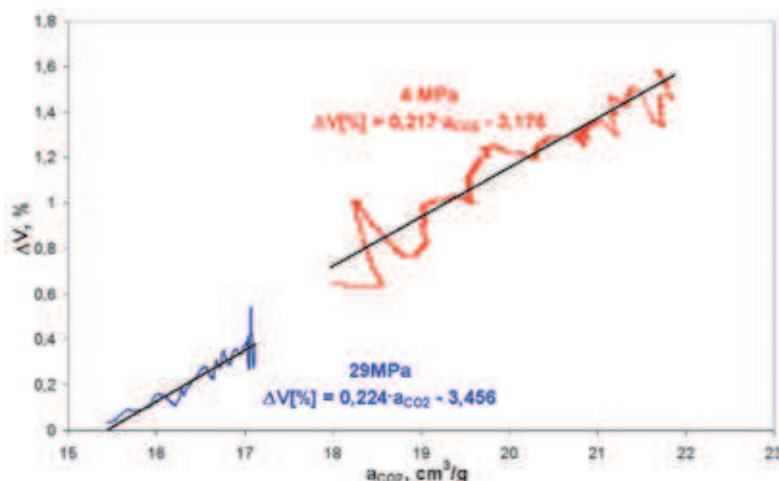
cyjne powodowane sorpcją CO₂ były w stanie pokonać nacisk porównywalny z ciśnieniem nadkładu skalnego, obciążającego pokład węglowy zalegający na głębokości około 1000 m. Podobne obserwacje uzyskał Pan *et al.* [7], który pokazał, że rdzenie węglowe obciążone ciśnieniem okólnym 13 oraz 20 MPa ma zdolność pęcznienia podczas sorpcji gazu.

Wynikiem redukcji obciążenia próbki z 29 aż do 4 MPa, przy utrzymywaniu stałego poziomu ciśnienia gazu $p_{CO_2} = 6.0$ bar, było wznowienie procesu sorpcji CO₂ (rys. 2). W rezultacie pojemność sorpcyjna węgla zwiększyła się o 4.05 cm³CO₂/g, co stanowiło 22% wartości uzyskanej pod obciążeniem 29 MPa. Należy zaznaczyć, że proces wznowionej sorpcji odbywał się wyłącznie w wyniku zmiany stanu obciążenia próbki, bez zmiany ciśnienia sorbatu. Odnosząc się do głębokości zalegania pokładu w nienaruszonym górotworze, na każde 100 m zwiększania głębokości wydobywania, pojemność sorpcyjna węgla ulegnie zmniejszeniu o około 2.4% (przyjmując założenie, że badany węgiel jest reprezentatywny dla pokładu z danej kopalni, a średnia gęstość nadkładu skalnego wynosi 2.7 g/cm³).

Podobnie jak przy nasycaniu węgla CO₂, tak i podczas wznowionej sorpcji, wywołanej zmniejszeniem ciśnienia hydrostatycznego próbki z 29 na 4 MPa, zarejestrowano efekt pęcznienia towarzyszący akumulacji cząsteczek CO₂ w strukturze mikroporów węgla (rys. 2). Efekt ten występował bez względu na wartość obciążenia próbki, jak i bez względu na mechanizm samego procesu sorpcyjnego (nasycanie od próżni do ciśnienia sorbatu $p_{CO_2} = 6.0$ bar lub sorpcja wywołana zmianą obciążenia z 29 na 4 MPa przy niezmiennym ciśnieniu sorbatu $p_{CO_2} = 6.0$ bar).

Na podstawie kinetyk sorpcyjno-odkształceniowych (rys. 2) otrzymano zależność pomiędzy pęcznieniem sorpcyjnym węgla wynikającym z sorpcji CO₂ oraz pojemnością sorpcyjną (rys. 3).

Na rys. 3 przedstawiono zestawienie wykresów pęcznienie-sorpcja CO₂ dla badanej próbki węgla, poddanej obciążeniom 29 oraz 4 MPa. Pęcznienie próbki obciążonej ciśnieniem okólnym 29 MPa rozpoczęło się w momencie zasorbowania przez nią około 15 cm³CO₂/g. Prawdopodobnie do tego momentu pęczniące ziarna ekspandowały w przestrzeń międzyziarnową (pęcznienie wewnętrzne). W zakresie wielkości sorpcji 15-18 cm³CO₂/g, przy obciążeniu 29 MPa zależność pęcznienie-sorpcja jest funkcją liniową o nachyleniu 0.22 % · gcm⁻³. Redukcja obciążenia z 29 do 4 MPa wywołała wznowioną sorpcję CO₂ i dalsze pęcznienie próbki. Pod obciążeniem 4 MPa, w zakresie sorpcji 18-22 cm³CO₂/g, zależność pęcznienie-sorpcja jest również funkcją liniową



Rys. 3. Relacja pęcznienie-sorpcja (CO₂) [12]

Fig. 3. Swelling-sorption relation (CO₂) [12]

o nachyleniu $0.22 \% \cdot \text{gcm}^{-3}$. Podobne wartości nachylenia relacji pęcznienie-sorpcja przy obu obciążeniach świadczą o braku wpływu obciążenia na pęcznienie próbki. Obciążenie ogranicza sorpcję CO_2 , natomiast pęcznienie jest bezpośrednim wynikiem zdolności węgla do sorpcji.

Główne wnioski z przeprowadzonych badań:

- potwierdzono występowanie efektu wpływu obciążenia na pojemność sorpcyjną węgla względem CO_2 ,
- wykazano, że obciążenie węgla jest istotnym parametrem mającym wpływ na zdolność sorpcyjną (ponad 20% wzrostu pojemności sorpcyjnej węgla przy zmniejszeniu obciążenia z 29 na 4MPa) – rys. 2,
- pokazano, że pęcznienie próbki węglowej wynika wyłącznie ze zdolności węgla do sorpcji CO_2 (jeżeli próbka ma możliwość sorbowania gazu, będzie się rozszerzać) – rys. 3,
- wykazano, iż zmiany objętości węgla są proporcjonalne do ilości zasorbowanego gazu, ze stałym współczynnikiem nachylenia, bez względu na wielkość obciążenia – rys. 3.

3. 2. Eksperymenty z CH_4

Zasadniczym celem badań prowadzonych z udziałem CH_4 było rozpoznanie następujących zagadnień:

- Jakie wartości pojemności sorpcyjnej względem CH_4 uzyskiwane są przy różnych obciążeniach i dla kilku ciśnień sorpcji?
- Czy wpływ obciążenia na pojemność sorpcyjną węgla jest odwracalny?

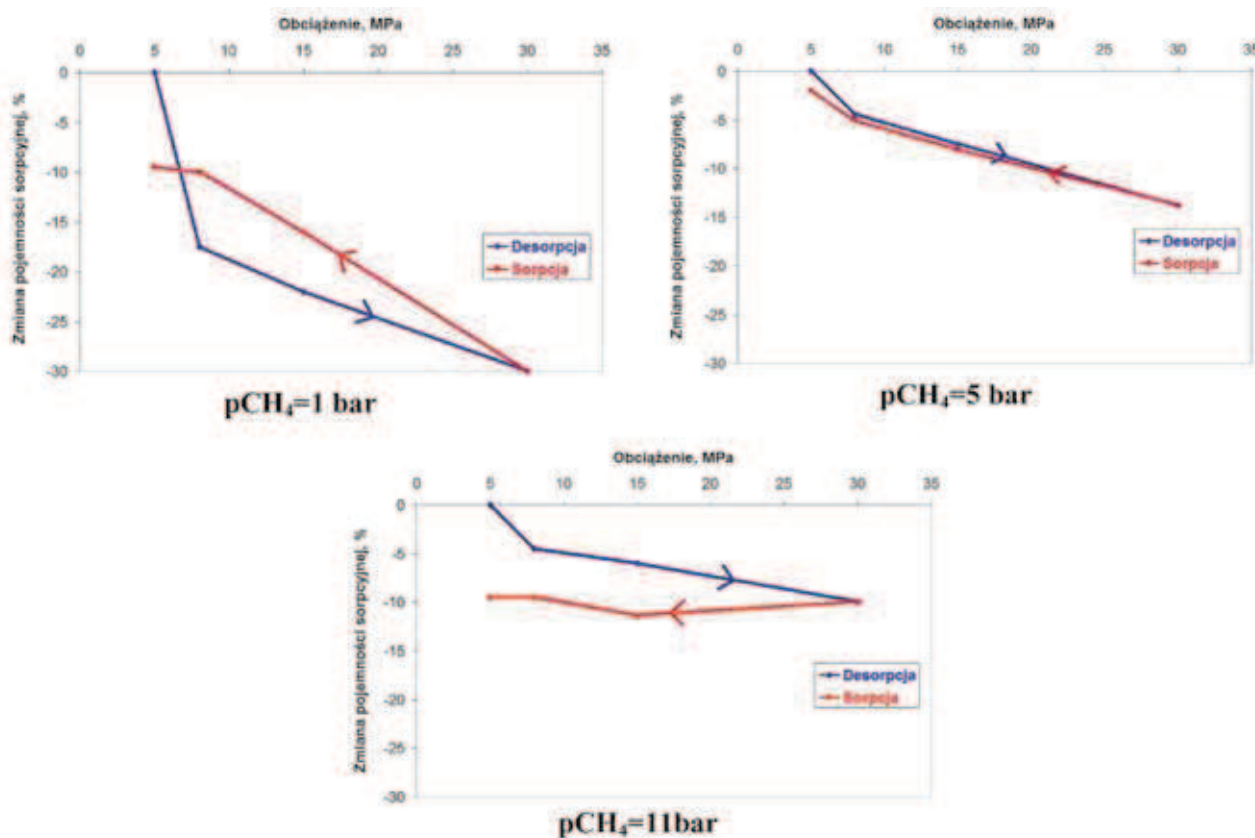
Na rys. 4 pokazano względne zmiany pojemności sorpcyjnej węgla zależne od obciążenia próbki. Wykresy przedsta-

wiają wyniki uzyskane dla trzech wybranych ciśnień sorpcji: $p_{\text{CH}_4} = 1.0, 5.0$ oraz 11.0 bar. Linia niebieska obrazuje zmianę pojemności sorpcyjnej w wyniku desorpcji CH_4 , wywołanej wzrostem ciśnienia hydrostatycznego, natomiast linia czerwona obrazuje zmianę pojemności sorpcyjnej w wyniku sorpcji CH_4 , wywołanej redukcją ciśnienia hydrostatycznego podawanego na węgiel. Z przedstawionych wykresów wynika, że ze wzrostem ciśnienia sorbatu (p_{CH_4}) wpływ obciążenia na sorpcję maleje. Świadczą o tym nachylenia prezentowanych krzywych.

Przyglądając się odwracalności procesów desorpcji oraz sorpcji, wynikających z bezpośrednich zmian obciążenia sorbentu węglowego, wykazano, że odwracalność ta uzależniona jest od wartości ciśnienia CH_4 podawanego do próbki. Niepełną odwracalność procesów desorpcji i sorpcji, jak również rozbieżność pomiędzy wartościami pojemności sorpcyjnej tłumaczyć można specyfiką badanego materiału (brykiety węglowy). W zakresie badanych obciążeń (5-30 MPa) pełną odwracalność wartości pojemności sorpcyjnej uzyskano przy ciśnieniu CH_4 wynoszącym 5.0 bar.

Główne wnioski z przeprowadzonych badań:

- wykazano, iż istnieje relacja pomiędzy pojemnością sorpcyjną węgla względem CH_4 i obciążeniem,
- obserwowano pełną odwracalność procesów desorpcji-sorpcji CH_4 w warunkach obciążenia hydrostatycznego próbki, przy ciśnieniu $p_{\text{CH}_4} = 5.0$ bar – rys. 4b,
- obserwowano niepełną odwracalność procesów desorpcji-sorpcji CH_4 w warunkach obciążenia hydrostatycznego próbki, przy ciśnieniu sorpcji $p_{\text{CH}_4} = 1.0$ bar oraz $p_{\text{CH}_4} = 11.0$ bar – rys. 4,



Rys. 4. Zmiana pojemności sorpcyjnej węgla wywołana zmianą obciążenia; węgiel z GZW, pokład 209, bardzo nisko uwęglony, klasa ziarnowa $0.20 \div 0.25 \text{ mm}$, temperatura $35 \pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$

Fig. 4. Change in sorption capacity of coal caused by the change of load; Upper Silesian Coal Basin, coal seam no. 209, very low-rank coal, grain size $0.20 \div 0.25 \text{ mm}$; temperature of $35 \pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$

- w przypadku badań na materiale węglowym modelowym (brykiet węglowy) odwracalność procesów desorpcji-sorpcji CH_4 regulowana jest wielkością ciśnienia sorpcji p_{CH_4} .

4. Określenie wpływu ciśnienia hydrostatycznego na pojemność sorpcyjną węgla o różnym stopniu uwęglenia

Celem pracy było rozwinięcie badań dotyczących wyznaczenia wpływu obciążenia hydrostatycznego na pojemność sorpcyjną węgla względem CH_4 . Pomiary przeprowadzono w temperaturze $35\text{ }^\circ\text{C}$ dla węgla z pokładu 364 (średnio uwęglony węgiel górnośląski). Próbka przeznaczona do badań miała postać brykietu formowanego z klasy ziarnowej 0.25-0.5 mm. Podczas kilkuetapowej procedury eksperymentu utrzymywano stałe ciśnienie metanu w próbce wynoszące $p_{\text{CH}_4} = 5.0$ bar. Wyniki przeprowadzonych badań odniesiono do wyników uzyskanych dla węgla o bardzo niskim stopniu uwęglenia ($R_0 = 0.47\%$).

4.1. Procedura eksperymentu

Dokonano pomiaru pojemności sorpcyjnej węgla obciążonego ciśnieniem hydrostatycznym. Określono zmiany pojemności sorpcyjnej, będące wynikiem bezpośredniego wzrostu lub redukcji obciążenia działającego na próbkę węglową.

Procedura eksperymentu obejmowała:

- odgazowanie próbki w temperaturze $40\text{ }^\circ\text{C}$ do ciśnienia 10^{-3} mbar (czas odgazowania 48 h),
- pomiar wstępny z użyciem helu,
- odgazowanie próbki (czas odgazowania 12 h),
- docisk próbki do obciążenia wyjściowego (5.0 MPa) i nasywanie jej CH_4 do stanu równowagi sorpcyjnej przy ciśnieniu $p_{\text{CH}_4} = 5.0$ bar, utrzymywanym na stałym poziomie podczas całego eksperymentu,
- zwiększenie obciążenia hydrostatycznego próbki kolejno: $5.0 \rightarrow 7.5$ MPa, $7.5 \rightarrow 14.5$ MPa, $14.5 \rightarrow 22.5$ MPa, $22.5 \rightarrow 32.5$ MPa i pomiar ilości desorbowanego z próbki gazu przy $p_{\text{CH}_4} = 5.0$ bar.

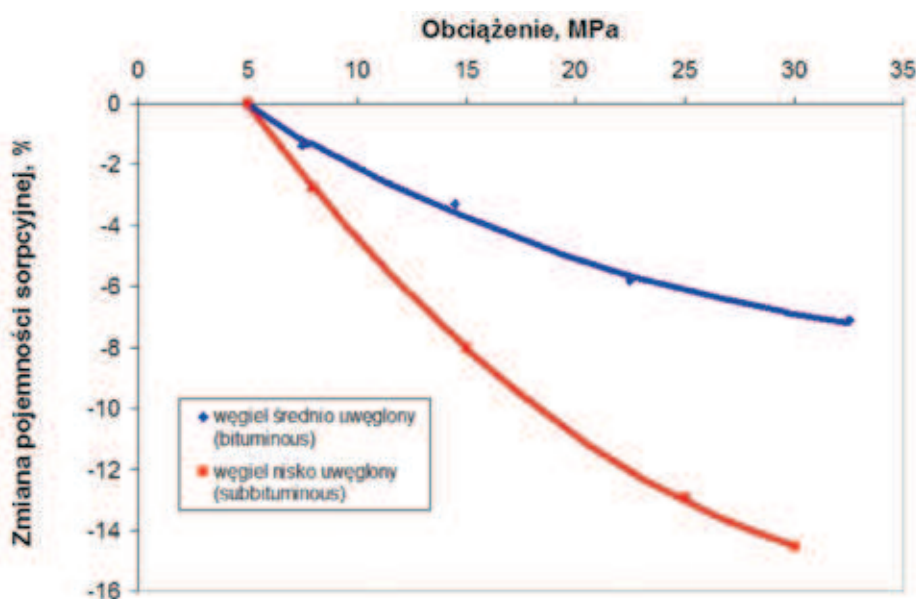
4.2. Wyniki

W wyniku nasykania węgla pod obciążeniem 5.0 MPa, przy ciśnieniu gazu wynoszącym $p_{\text{CH}_4} = 5.0$ bar, uzyskano wyjściową wartość pojemności sorpcyjnej $a_{5.0\text{MPa}} = 4.71\text{ cm}^3\text{CH}_4/\text{g}$. W kolejnych krokach skokowego zwiększania obciążenia próbki, przy utrzymywaniu stałego poziomu ciśnienia $p_{\text{CH}_4} = 5.0$ bar, część gazu zakumulowanego w próbce uległa desorpcji. Proces ten prowadził do zmniejszenia pojemności sorpcyjnej węgla, która przy obciążeniu 32.5 MPa wynosiła $a_{32.5\text{MPa}} = 4.36\text{ cm}^3\text{CH}_4/\text{g}$ (redukcja o 7.43%).

Na rys. 5 przedstawiono wyniki ukazujące wpływ obciążenia na pojemność sorpcyjną węgla o różnym stopniu uwęglenia. Jak widać z wykresu, zmienność pojemności sorpcyjnej wraz z obciążeniem jest bardziej widoczna w przypadku węgla młodego, posiadającego słabiej uporządkowaną strukturę i większą zdolność do pęcznienia. Obciążenie jest czynnikiem ograniczającym zdolność węgla do pęcznienia, zatem jego wpływ na sorpcję powinien być silniej widoczny w przypadku węgla o niższym stopniu uwęglenia. Przedstawione porównanie dwóch węgla wskazuje na sensowność prowadzenia badań mających na celu pogłębianie wiedzy na temat zjawiska wpływu obciążenia na właściwości sorpcyjne węgla kamiennych. Jednak ze wzrostem uporządkowania struktury materiału węglowego zmiany parametrów sorpcyjnych mogą być coraz bardziej subtelne.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania eksperymentalne wykazały, iż równowaga sorpcyjna układu węgiel-gaz może ulec zaburzeniu, nie tylko w wyniku zmiany warunków termodynamicznych, lecz również w skutek działania czynników mechanicznych. Aplikacja ciśnienia hydrostatycznego na sorbent węglowy powoduje zmniejszenie pojemności sorpcyjnej węgla. Efekt ten jest następstwem zaciskania przestrzeni porowej (spadek porowatości) oraz ograniczenia zdolności węgla do pęcznienia.



Rys. 5. Zależność pojemności sorpcyjnej węgla od obciążenia w przypadku węgla o różnym stopniu uwęglenia (ciśnienie sorpcji $p_{\text{CH}_4} = 5.0$ bar); temperatura $35 \pm 0.1\text{ }^\circ\text{C}$

Fig. 5. Relation between sorption capacity and hydrostatic pressure for coals with different ranks (sorption pressure $p_{\text{CH}_4} = 5.0$ bar); temperature of $35 \pm 0.1\text{ }^\circ\text{C}$

W przypadku układu węgiel-CO₂ wpływ obciążenia na pojemność sorpcyjną przy zmianie ciśnienia hydrostatycznego +/-25 MPa wynosi ponad 20%. Dla układu węgiel-CH₄ wpływ ten jest mniejszy (8-14%), uwarunkowany stopniem uwęglenia.

Potwierdzono, iż pęcznienie próbki węglowej wynika wyłącznie ze zdolności węgla do sorpcji gazu (jeżeli próbka ma możliwość sorbowania gazu, będzie się rozszerzać). Zmiany objętości węgla są proporcjonalne do ilości zasorbowanego gazu, ze stałym współczynnikiem nachylenia, bez względu na wielkość obciążenia.

Uwzględnianie obciążenia w badaniach sorpcyjnych powinno mieć miejsce, zwłaszcza przy właściwym bilansowaniu gazu w pokładach węgla.

Praca została wykonana w roku 2014 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

1. Dutka B., Kudasik M.: Izotermy sorpcji gazu przy różnych obciążeniach okólnych węgla. „Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN” 2012, vol. 14; 1-4; s. 25-32.
2. Dutka B., Kudasik M., Topolnicki J., Wierzbicki M.: Komora do badań wpływu obciążeń mechanicznych na właściwości sorbentu. „Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN” 2009, t. 11; 1-4 s. 15-20.
3. Dutka B., Topolnicki J.: Badania właściwości sorpcyjno-odkształceniowych węgla w stanie obciążenia okólnego. „Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN” 2011, t. 13; 1-4 s. 31-35.
4. Hile, L.M.: CO₂ sorption by Pittsburgh-seam coal subjected to confining pressure, Praca magisterska. The Pennsylvania State University, University Park 2006.
5. Hol S., Peach C.J., Spiers C.J.: Applied stress reduces the CO₂ sorption capacity of coal, International Journal of Coal Geology 2011, vol. 85, s. 128-142.
6. Karacan, C.O.: Swelling-induced volumetric strains internal to a stressed coal associated with CO₂ sorption. International Journal of Coal Geology 2007, vol. 72, s. 209-220.
7. Pan Z., Connell L.D., Camilleri M.: Laboratory characterisation of coal reservoir permeability for primary and enhanced coalbed methane recovery. International Journal of Coal Geology 2010, vol. 82; s. 252–261.
8. Pone, J.D.N., Halleck, P.M., Mathews, J.P.: 3D characterization of coal strains induced by compression, carbon dioxide sorption, and desorption at in-situ stress conditions. International Journal of Coal Geology 2009, vol. 82; 3-4 s. 262-268.
9. Pone J.D.N., Halleck P.M., Mathews J.P.: Sorption Capacity and Sorption Kinetic Measurements of CO₂ and CH₄ in Confined and Unconfined Bituminous Coal. Energy&Fuels 2009, vol. 23; 9 s. 4688-4695.
10. Ruff, O. Geselle, P.: Das Verhalten von Steinkohlen bei der Aufnahme und Abgabe von Kohlensäure. Zeitschrift für das Berg-, Hütten-, und Salinenwesen im Deutschen Reich 1936, vol. 84; s. 425-436.
11. Smith, D.H. Jikich S.A. Seshadri K.: Carbon dioxide sorption isotherms and matrix transport rates for non-powdered coal. International Coalbed Methane Symposium. University of Alabama, AL USA 2007.
12. Topolnicki J., Wierzbicki M., Skoczylas N.: Wyrzuty skalno-gazowe w świetle badań laboratoryjnych i pomiarów kopalnianych. „Archiwum Górnictwa” 2004, vol. 49; s. 99-116.