

Wpływ obecności płynu porowego na niektóre właściwości fizyczne brykietu węglowego

ANDRZEJ NOWAKOWSKI, JANUSZ NURKOWSKI, ZBIGNIEW LIZAK

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

Streszczenie

Wykonano i przebadano dwie serie próbek-brykietów węglowych o porowatościach odpowiednio $21,8 \pm 0,2\%$ i $12,8 \pm 0,2\%$ wykonanych z mialu węglowego o średnicy ziaren między 0,1 a 0,5 mm pochodzącego z KWK „Zofiówka”. Próbki odpomowywano pod próżnią, następnie nasycano gazem inertnym (azot) lub sorbującym (dwutlenek węgla) pod ciśnieniem 0,2, 0,4 lub 0,6 MPa i ścisano jednoosiowo w atmosferze tego gazu. Badano wpływ obecności płynu porowego na granicę wytrzymałości próbki na ściskanie oraz jej moduł odkształceń. Wykazano, że wpływ ten jest silnie uzależniony od porowatości próbki, a w konsekwencji od sposobu wykonania brykietu węglowego.

Słowa kluczowe: brykiet węglowy, porowatość, płyn porowy, wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie, moduł odkształceń

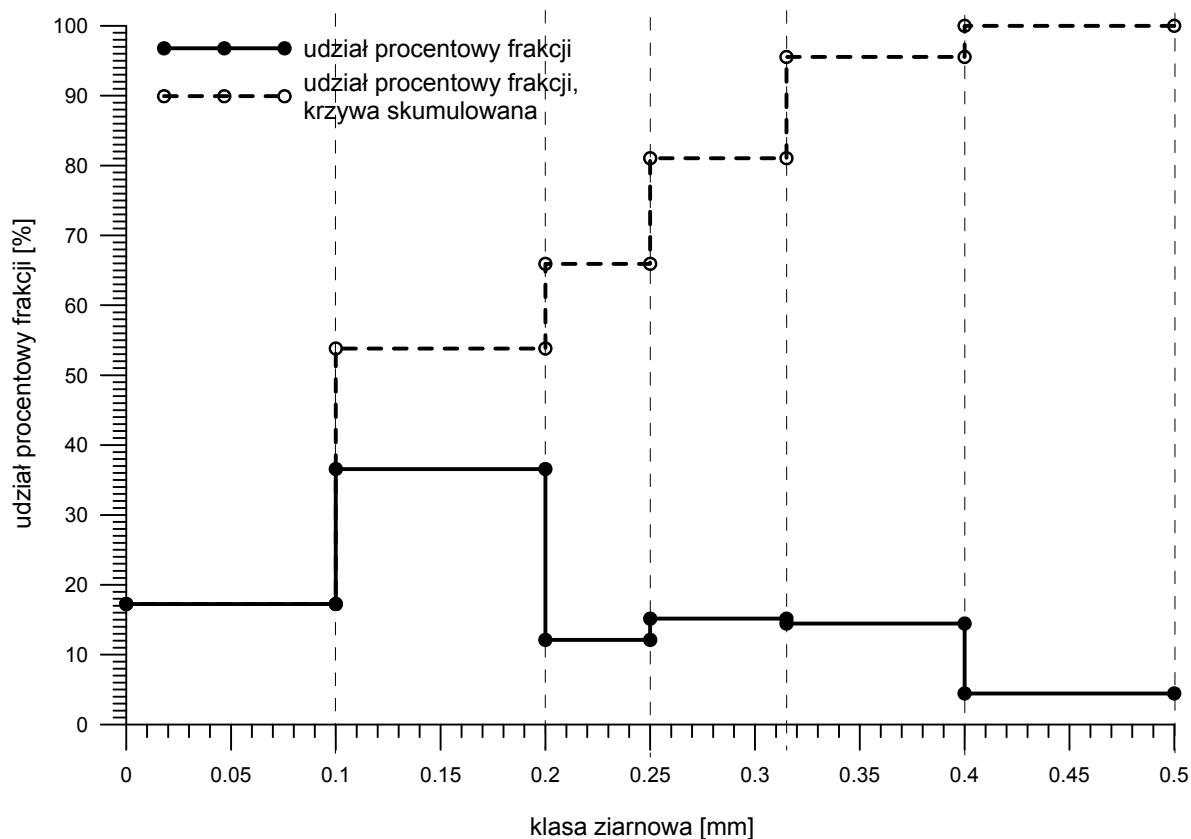
1. Wstęp

Głównym celem badań opisanych w niniejszej pracy, było zweryfikowanie wyników eksperymentów wykonanych w latach 2009 i 2010 r. i przedstawionych w pracach Nowakowskiego i in. (2009, 2010). Eksperymenty te nie wykazały znaczącego wpływu atmosfery dwutlenku węgla na właściwości wytrzymałościowe brykietu węglowego oraz bardzo niewielki wpływ obecności CO_2 na jego właściwości deformacyjne. Wyniki te pozostają w sprzeczności z opiniami pewnej grupy badaczy (np. Tankarda, 1957 czy Ettingera i Lamby, 1957), którzy uważają, że zjawiska sorpcyjne towarzyszące obecności dwutlenku węgla w przestrzeni porowej brykietu węglowego powinny w znaczący sposób te właściwości zmienić. Biorąc pod uwagę rolę procesów sorpcji i desorpcji w zachodzących w górotworze zjawiskach dynamicznych (wyrzuty) postanowiono powrócić do tematyki badawczej z lat 2009 i 2010 wykorzystując do badań węgle pochodzące z kopalń należących do Jastrzębskiej Spółki Węglowej, w których nadal dochodzi do wspomnianych wyżej wyrzutów węgla i gazu.

2. Materiał do badań

Przedmiotem badań były brykiety węglowe wykonane z mialu węglowego pochodzącego ze zwiercin pozostałych po wierceniu otworów na terenie KWK „Zofiówka” w chodniku podścianowym G-2, p. 413/2 oraz nadścianowym G-2, p. 423/2. Zwierciny te poddano zmieleniu a następnie odsiano na sitach w taki sposób, aby uzyskać ziarna o średnicy między 0,1 a 0,5 mm. Na rys. 1 pokazano krzywą rozkładu średnicy ziaren dla uzyskanego tą metodą mialu węglowego.

Z przygotowanego w opisany wyżej sposób mialu przygotowano brykiety w formie walców o średnicy (d) i wysokości (h) rzędu 50 mm tak, aby miały one smukłość $\lambda = h \times d^{-1} \approx 1,0$. Wykonano dwie serie po 20 brykietów różniące się porowatością. I tak, brykiety serii pierwszej – nazywane dalej brykietami „niskiej porowatości” – miały średnią porowatość (n) równą $12,8 \pm 0,2\%$, podczas gdy brykiety drugiej serii – które przyjęto dalej nazywać brykietami „wysokiej porowatości” – miały średnią porowatość na poziomie $21,8 \pm 0,2\%$. Informacje o wszystkich wykonanych brykietach zestawiono w tab. 1 i 2.



Rys. 1. Rozkład średnicy ziaren w miale węglowym, z którego wykonano brykiety do badań wytrzymałościowych

Tab. 1. Wykonane do badań brykiety „niskiej porowatości”

nr próbki	naważka [g]	siła kompresji [kN]	średnica [mm]	wysokość [mm]	masa [g]	gęstość [g×cm ⁻³]	gęstość właściwa [g×cm ⁻³]	porowatość [%]
21	110	300	49,00	49,80	109,39	1,16	1,33	12,4
22			49,00	49,90	109,47	1,16		12,5
23			49,00	49,80	109,09	1,16		12,7
24			49,00	49,90	109,23	1,16		12,7
25			49,00	50,30	109,61	1,16		13,1
26			49,00	49,90	109,26	1,16		12,7
27			49,00	50,00	109,40	1,16		12,8
28			49,00	50,00	109,52	1,16		12,7
29			49,00	50,00	109,41	1,16		12,8
30			49,00	50,00	109,39	1,16		12,8
31			49,00	50,10	109,64	1,16		12,7
32			49,00	50,10	109,54	1,16		12,8
33			49,00	50,10	109,56	1,16		12,8
34			49,00	50,10	109,62	1,16		12,8
35			49,00	50,00	109,50	1,16		12,7
36			49,00	50,00	109,43	1,16		12,7
37			49,00	50,20	109,54	1,16		13,0
38			49,00	50,10	109,39	1,16		12,9
39			49,00	50,10	109,28	1,16		13,0
40			49,00	50,10	109,44	1,16		12,9

Tab. 2. Wykonane do badań brykiety „wysokiej porowatości”

nr próbki	naważka [g]	siła kompresji [kN]	średnica [mm]	wysokość [mm]	masa [g]	gęstość [$\text{g}\times\text{cm}^{-3}$]	gęstość właściwa [$\text{g}\times\text{cm}^{-3}$]	porowatość [%]
1	95	60	48,80	48,70	94,71	1,04	1,33	21,8
2			48,80	48,70	94,71	1,04		21,8
3			48,80	48,70	94,66	1,04		21,9
4			48,80	48,60	94,70	1,04		21,7
5			48,80	48,70	94,75	1,04		21,8
6			48,80	48,70	94,59	1,04		21,9
7			48,80	48,70	94,68	1,04		21,8
8			48,80	48,80	94,76	1,04		21,9
9			48,80	48,80	94,72	1,04		22,0
10			48,80	48,80	94,66	1,04		22,0
11			48,80	49,00	95,38	1,04		21,8
12			48,80	48,70	94,80	1,04		21,7
13			48,80	48,60	94,69	1,04		21,7
14			48,80	48,80	94,74	1,04		22,0
15			48,80	48,10	94,36	1,05		21,1
16			48,80	48,30	94,29	1,04		21,5
17			48,80	48,80	94,76	1,04		21,9
18			48,80	48,70	94,69	1,04		21,8
19			48,80	48,70	94,74	1,04		21,8
20			48,80	48,80	94,56	1,04		22,1

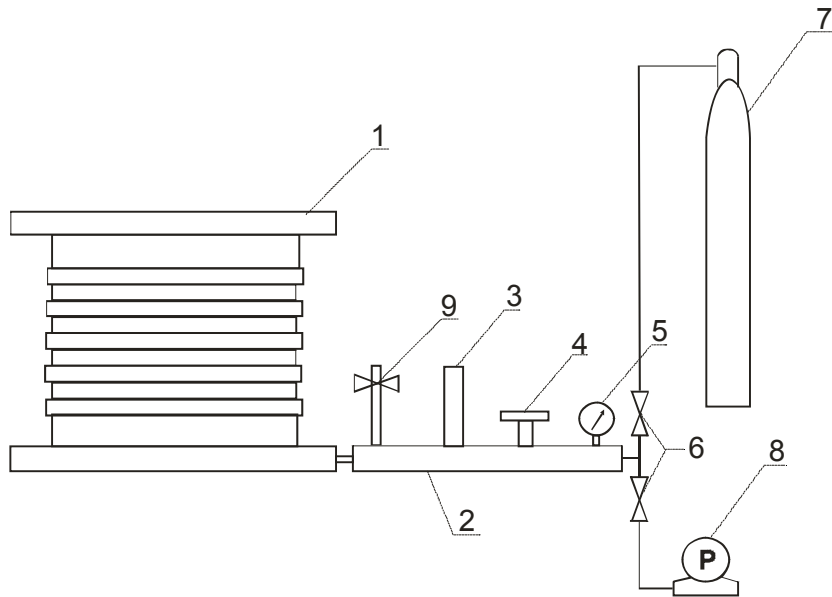
3. Metodyka badawcza

Opisaną poniżej metodykę badawczą opracowano w taki sposób, aby uzyskane wyniki dostarczyły możliwie wiele informacji na temat zachowania próbek brykiety węglowej w różnych warunkach. Dlatego też cykl badawczy dla jednej próbki składał się z trzech etapów:

- etap I – odpompowywanie próbki, który polegał na podłączeniu próbki do pompy próżniowej na okres 48 godzin i usuwaniu, za jej pomocą, powietrza z przestrzeni porowej próbki; podczas dopompowywania rejestrowano co 120 sek. wartość siły osiowej w próbce,
- etap II – nasączenie próbki, który polegał na utrzymywaniu próbki przez 48 godz. w atmosferze gazu pod stałym ciśnieniem; jako gazu używano azotu albo dwutlenku węgla, stosowano trzy ciśnienia nasączenia: 0,2 MPa, 0,4 MPa i 0,6 MPa. W trakcie nasączenia rejestrowano co 120 sek. wartość siły osiowej w próbce.
- etap III – jednoosiowe ściskanie próbki, podczas którego pozostająca w atmosferze gazowej próbka ściskana była jednoosiowo z prędkością przesuwu tłoka dl/dt równą $0,01 \text{ mm}\times\text{s}^{-1}$, która – przy wysokości próbki rzędu 49,0 mm – odpowiada prędkości zmiany odkształcenia tej próbki rzędu $0,02 \text{ \%}\times\text{s}^{-1}$. Podczas ściskania rejestrowano z częstotliwością 1 Hz wartość siły ścisniającej próbkę oraz przemieszczenie tłoka prasy.

Czas trwania jednego cyklu badawczego wynosił przeciętnie nieco ponad 4 dni robocze.

Przedmiotowe badania wykonywano wykorzystując stanowisko badawcze wykonane i przetestowane w Pracowni Odkształceń Skał IMG PAN w latach 2009-2010. Szczegółowy opis tego stanowiska znajduje się w pracy Nowakowskiego i in. (2009), a poniżej – na rys. 2 – zaprezentowano jego schemat. Do wykonania jednoosiowego ściskania komora wkładana była między płyty urządzenia INSTRON 8500 Rock Testing System co pokazano na rys. 3.



Rys. 2. Schemat układu przewodów i zaworów ciśnieniowych umożliwiających kondycjonowanie próbki: 1 – komora, 2 – rozdzielacz, 3 – czujnik ciśnienia, 4 – gniazdo przepustów elektrycznych, 5 – manometr, 6 – zawory, 7 – butla z gazem, 8 – pompa próżniowa, 9 – zawór odpowietrzający komorę



Rys. 3. Próbka podczas testu jednoosiowego ściskania w komorze do nasączania płynem porowym pod ciśnieniem

4. Wyniki badań

Prezentację uzyskanych wyników badań postanowiono – dla większej przejrzystości – podzielić zgodnie z etapami cyklu badawczego. Jest to tym bardziej celowe, że w praktyce, każdemu etapowi badawczemu odpowiadało sprawdzanie innych właściwości fizycznych testowanego brykietu. I tak: w etapie I sprawdzano właściwości reologiczne brykietu, w etapie II właściwości sorpcyjne, a w etapie III doraźne właściwości wytrzymałościowe.

4.1. Właściwości reologiczne brykietu

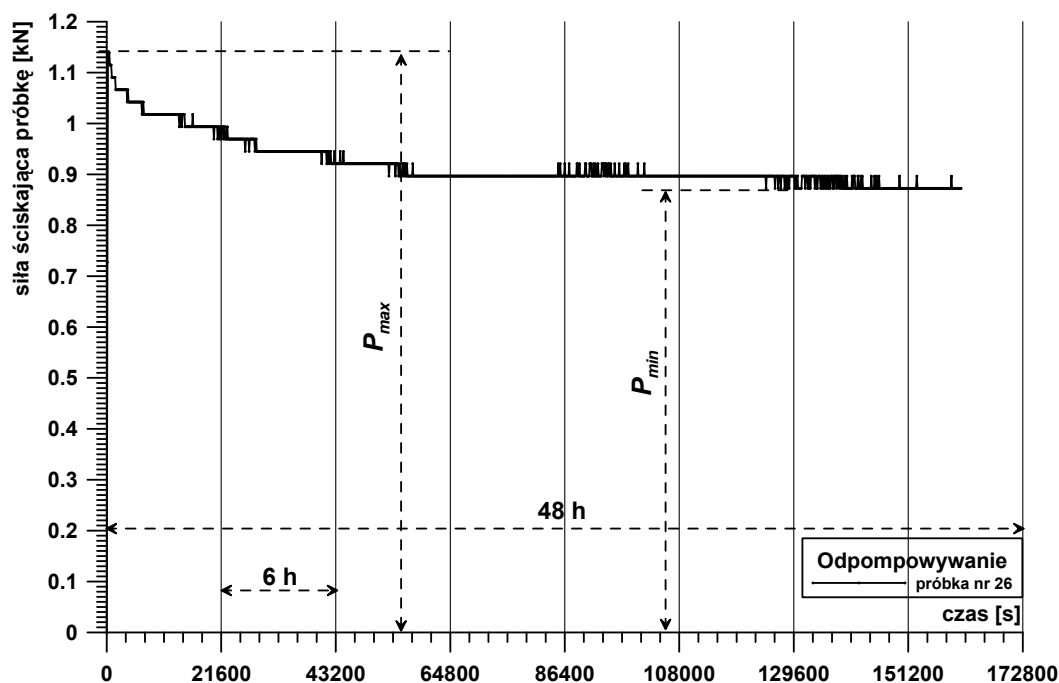
Podstawą analizy właściwości reologicznych brykietu były wykresy zależności siły ściskającej próbkę P od czasu trwania odpompowywania próbki t . Przykład takiej zależności pokazuje rys. 4.

Dla każdej testowanej próbki wyznaczano maksymalną (P_{\max}) i minimalną (P_{\min}) siłę obciążającą tak jak to pokazano na rys. 4, a następnie – przyjmując, że pole przekroju próbki

(A) ma wartość stałą – obliczano wartości maksymalnego i minimalnego naprężenia w próbce (odpowiednio σ_{\max} i σ_{\min}) oraz zmianę tegoż naprężenia ($\Delta\sigma$) według wzorów:

$$\sigma_{\max} = \frac{P_{\max}}{A}, \quad \sigma_{\min} = \frac{P_{\min}}{A}, \quad \Delta\sigma = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (1)$$

Wyniki tych obliczeń pokazuje tab. 3.



Rys. 4. Zależność wartości siły obciążającej próbkę od czasu odpompowywania

Tab. 3. Zestawienie wyników pomiarów wartości siły obciążającej próbkę podczas dopompowywania gazów z jej przestrzeni porowej

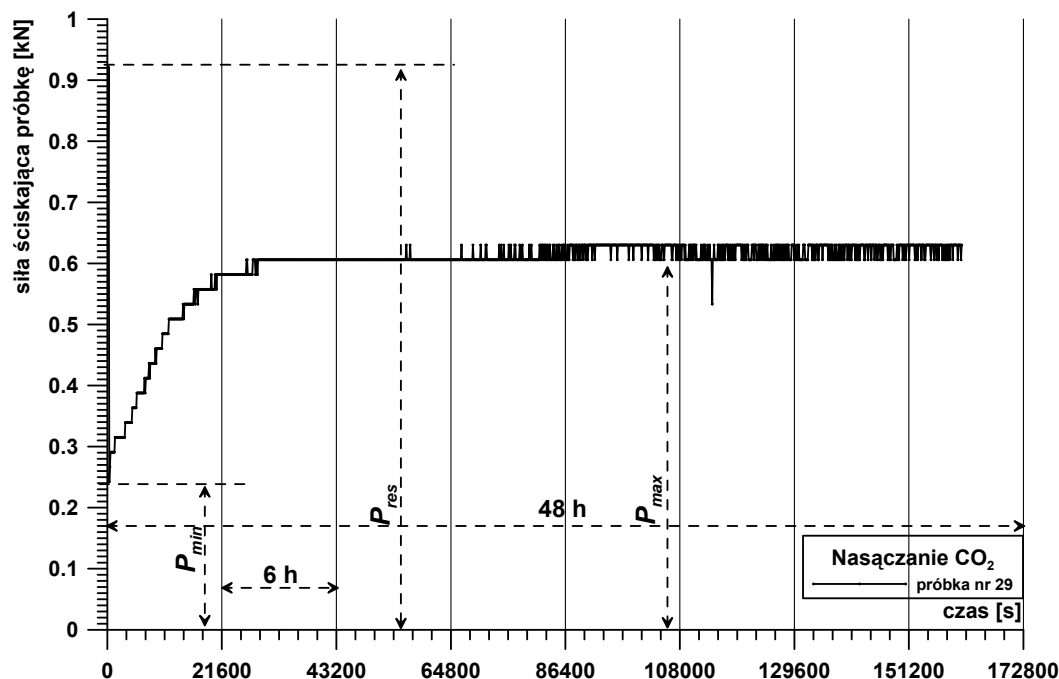
nr próbki	porowatość [%]	P_{max} [kN]	P_{min} [kN]	σ_{max} [MPa]	σ_{min} [MPa]	$\Delta\sigma$	$\Delta\sigma$		
							min.	średnie	max.
5	21,8±0,2	1,212	0,969	0,648	0,518	20,0%	9,1%	39,3%	88,9%
6		1,212	0,800	0,648	0,428	34,0%			
7		0,800	0,727	0,428	0,389	9,1%			
8		0,727	0,533	0,389	0,285	26,7%			
9		0,654	0,073	0,350	0,039	88,9%			
10		0,848	0,364	0,454	0,194	57,1%			
25	12,8±0,2	0,969	0,533	0,514	0,283	45,0%	12,5%	44,4%	78,1%
26		1,139	0,872	0,604	0,463	23,4%			
27		1,163	1,018	0,617	0,540	12,5%			
28		0,776	0,170	0,411	0,090	78,1%			
29		0,679	0,291	0,360	0,154	57,1%			
30		0,921	0,460	0,488	0,244	50,0%			

Powyższe zestawienie wyników pokazuje, że testowany brykiet węglowy jest materiałem silnie reologicznym. Świadczą o tym średnie spadki naprężeń w brykiecie podczas procesu odpompowywania gazów porowych osiągające zarówno w brykiecie o „wysokiej” jak i „niskiej” porowatości wartości rzędu 40%. Zwraca również uwagę fakt bardzo dużego rozrzutu wartości $\Delta\sigma$ co sugeruje, że brykiet węglowy nie jest materiałem tak idealnie jednorodnym jak wynikałoby to z analizy rozkładu wartości porowatości pokazanych w tab. 1 i 2.

4.2. Właściwości sorpcyjne brykietu

Opisane powyżej odpompowanie brykietu było formą przygotowania próbki do nasączenia jej gazem. Trwającą 48 godz. procedurę nasączenia rozpoczynano natychmiast po odpompowaniu próbki, wprowadzając do komory jeden z dwóch gazów: azot albo dwutlenek węgla. Podczas nasączenia gaz oddziaływał na próbkę fizykochemicznie (sorpcja) oraz mechanicznie, jako medium ściskające próbkę ciśnieniem hydrostatycznym p . Dla każdego gazu stosowano trzy wartości ciśnienia hydrostatycznych: 0,2 MPa, 0,4 MPa i 0,6 MPa. Poniżej (rys. 5) pokazano przykład wyniku eksperymentu nasączenia próbki CO_2 .

Rysunek 5 pokazuje typowe zachowanie próbki nasączonej dwutlenkiem węgla. Próbka ta jest ściśnięta wstępnie przez podstawy komory siłą P_{res} będącą konsekwencją wytworzenia we wnętrzu komory próżni. Po wpuszczeniu do komory gazu pod wybranym ciśnieniem (w tym przypadku był to CO_2 pod ciśnieniem 0,4 MPa) komora wraz z próbką deformują się w taki sposób, że siła ściskająca próbkę spada do wartości P_{min} . Następujący późniejszy przyrost wartości siły ściskającej jest konsekwencją pęcznienia brykiety w wyniku sorpcji dwutlenku węgla i zostaje zatrzymany po osiągnięciu wartości P_{max} . Stosując przekształcenia arytmetyczne analogiczne do opisanych wyżej (wzory (1)) można wyznaczyć zmiany naprężeń w próbkach brykiety będące konsekwencją sorpcji dwutlenku węgla. Pokazano je w tab. 4.



Rys. 5. Zależność wartości siły obciążającej próbkę od czasu nasączenia; brykiety „niskiej porowatości” nasączone CO_2 przy ciśnieniu 0,4 MPa

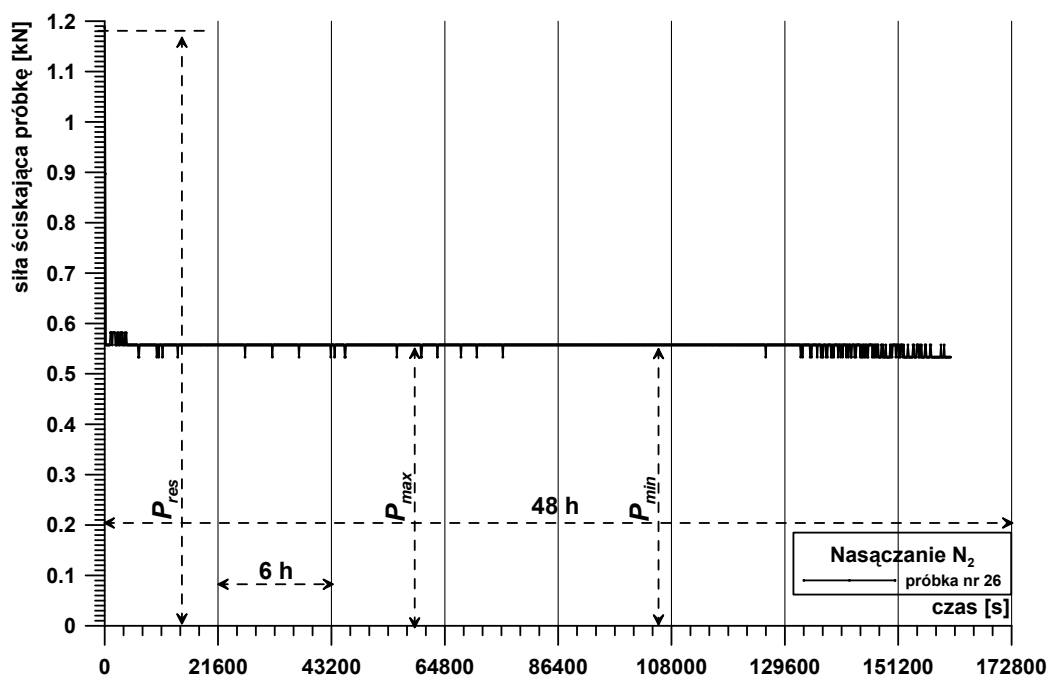
W przypadku nasączenia azotem zachowanie próbki jest zasadniczo inne. Przykład takiego zachowania pokazuje rys. 6. Widać na nim, że po początkowym spadku siły obciążającej próbkę siła ta stabilizuje się na poziomie P_{min} . Jest to konsekwencją faktu, iż azot jest gazem inertnym i w jego obecności pęcznienie sorpcyjne nie zachodzi. W konsekwencji mamy $P_{max} = P_{min}$, $\sigma_{max} = \sigma_{min}$ i $\Delta\sigma = 0$.

Tab. 4. Zestawienie wyników pomiarów wartości siły obciążającej próbkę podczas nasączenia dwutlenkiem węgla

nr próbki	n [%]	p_{CO_2} [MPa]	P_{max} [kN]	P_{min} [kN]	σ_{max} [MPa]	σ_{min} [MPa]	$\sigma_{min}/\sigma_{max}$ []	$\Delta\sigma$ [%]
8	21,8±0,2	0,6	0,897	0,364	0,479	0,194	0,405	59,5%
9		0,4	dane utracone					
10	12,8±0,2	0,2	0,800	0,485	0,428	0,259	0,606	39,4%
28		0,6	0,800	0,242	0,424	0,129	0,303	69,7%
29		0,4	0,630	0,242	0,334	0,129	0,385	61,5%
30		0,2	1,430	1,188	0,758	0,630	0,831	16,9%

4.3. Właściwości wytrzymałościowe i deformacyjne brykiety

Właściwości wytrzymałościowe i deformacyjne brykiety oceniano na podstawie wyników eksperymentu, podczas którego wykonana z brykiety próbka pozostająca w atmosferze sprężonego pod ciśnieniem hydrostatycznym p gazu (azotu lub dwutlenku węgla) była ściskana w urządzeniu wytrzymałościowym INSTRON 8500 Rock Testing System tak, jak to pokazano wcześniej na rys. 2. Eksperymenty wykonywano dla ciśnień hydrostatycznych $p = 0,2$ MPa, 0,4 MPa i 0,6 MPa.



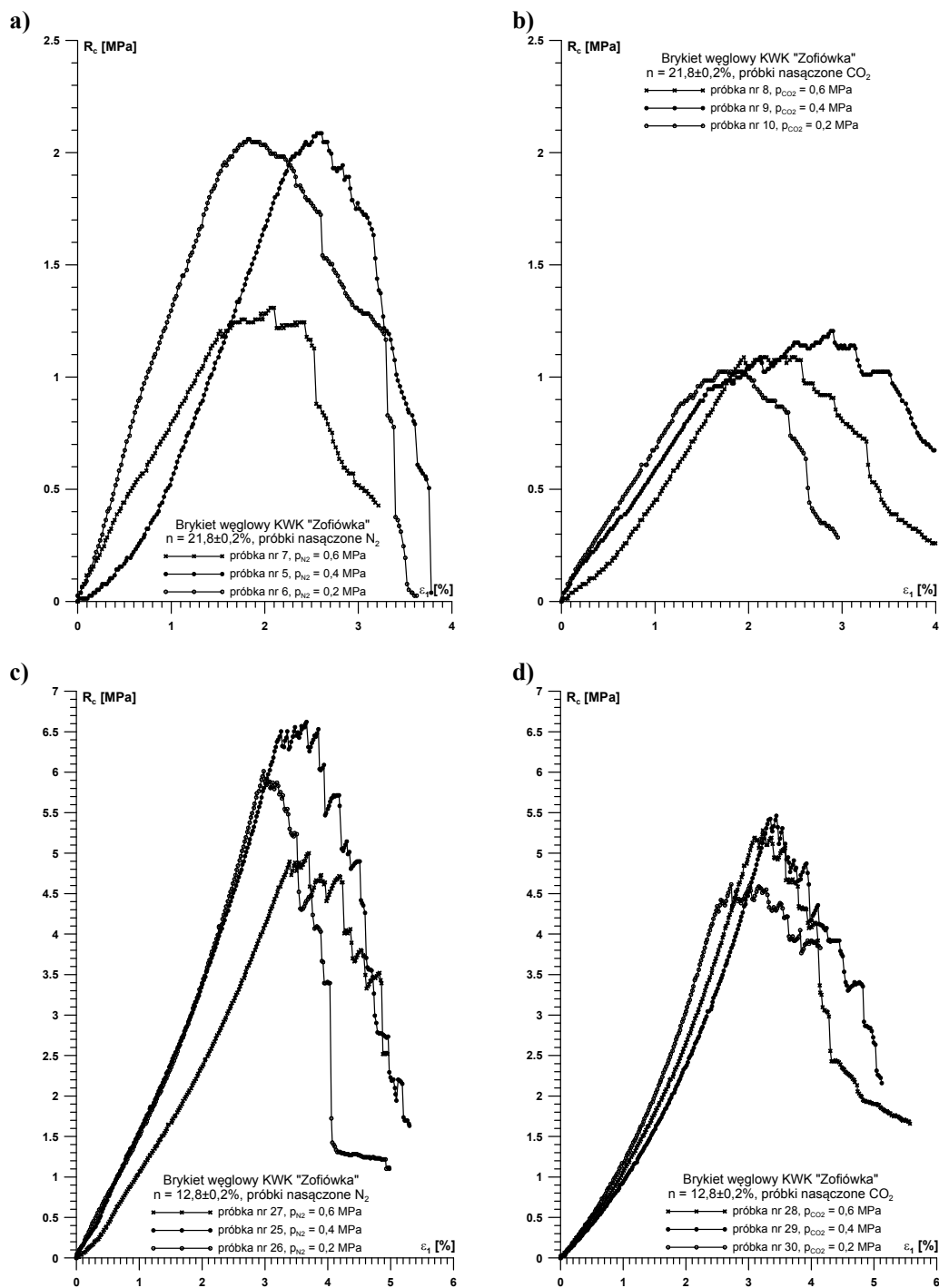
Rys. 6. Zależność wartości siły obciążającej próbkę od czasu nasączenia; brykiety „niskiej porowatości” nasączone N_2 przy ciśnieniu 0,2 MPa

Podczas eksperymentów utrzymywano stałą prędkość przesuwu tłoka prasy równą $0,01 \text{ mm} \times \text{s}^{-1}$ oraz rejestrowano wartości siły obciążającej P oraz przemieszczenia tłoka Δl . Wielkości te służyły następnie do obliczenia wartości panującego w próbce naprężenia osiowego σ_1 oraz jej odkształcenia globalnego ε_1 i przedstawienia na odpowiednich wykresach krzywych zależności $\sigma_1(\varepsilon_1)$. Krzywe te były z kolei podstawą do wyznaczenia granicy wytrzymałości próbki na ściskanie (R_c), za którą uznawano najwyższe uzyskane przez próbkę podczas eksperymentu naprężenie σ_1 , oraz modułu odkształceń próbki (E), którego wartość obliczano jako tangens kąta nachylenia liniowej części krzywej $\sigma_1(\varepsilon_1)$ do osi odciętych ε_1 . Uzyskane podczas badań krzywe $\sigma_1(\varepsilon_1)$ przedstawiono na rys. 7 a wyznaczone na ich podstawie wartości R_c i E zestawiono w tab. 5.

Tab. 5. Zestawienie uzyskanych w wyniku badań laboratoryjnych wartości R_c i E .

nr próbki	porowatość [%]	rodzaj gazu	ciśnieni e gazu [MPa]	R_c [MPa]	E [MPa]	wartości średnie	
						R_c [MPa]	E [MPa]
5	21,8	N_2	0,4	2,17	1115	1,91	1022,00
6	21,9		0,2	2,15	1193		
7	21,8		0,6	1,40	758		
8	21,9	CO_2	0,6	1,18	685	1,19	656,33
9	22,0		0,4	1,29	639		
10	22,0		0,2	1,11	645		
25	13,1	N_2	0,4	6,71	2440	5,75	2339,33
26	12,7		0,2	6,10	2689		
27	12,8		0,6	4,43	1889		
28	12,7	CO_2	0,6	5,37	2501	5,21	2598,67
29	12,8		0,4	5,55	2649		
30	12,8		0,2	4,70	2646		

Należy zwrócić uwagę, iż świetle tego, co zawiera tab. 5 wydaje się, że wątpliwości dotyczące istnienia wpływu obecności dwutlenku węgla na właściwości wytrzymałościowe i deformacyjne brykietu węglowego nie mają uzasadnienia w odniesieniu do brykietów „wysokiej porowatości”. Porównanie dla tych brykietów odpowiednich wartości R_c i E pokazuje to bardzo wyraźnie. Nie jest to natomiast takie oczywiste,



Rys. 7. Krzywe zależności $\sigma_1(\varepsilon_1)$ uzyskane w wyniku ściskania próbek brykietu w atmosferze azotu albo dwutlenku węgla:
 a) – brykiet „wysokiej porowatości” w atmosferze N_2 , b) – brykiet „wysokiej porowatości” w atmosferze CO_2 ,
 c) – brykiet „niskiej porowatości” w atmosferze N_2 , d) – brykiet „niskiej porowatości” w atmosferze CO_2

gdy porównujemy wyniki badań dla brykietów „niskiej porowatości”. Tutaj różnice są bardzo niewielkie, a w dodatku wprawdzie brykiet „niskiej porowatości” nasycony azotem jest wytrzymalszy od nasyconego dwutlenkiem węgla, ale z kolei „sztywniejszy” (mniej odkształcalny) jest brykiet nasycony CO_2 .

Warto w tym momencie porównać wyniki uzyskane dla próbek „niskiej porowatości” z wynikami uzyskanymi przy użyciu tej samej aparatury w 2010 roku. Wówczas (jak piszą Nowakowski i in., 2010) przedmiotem badań były brykiety wykonane z miazgi węglowej, dla którego 99% frakcji ziarnowej miało średnicę mniejszą niż 0,2 mm. Wykonane wówczas próbki miały średnią gęstość objętościową równą $1,16 \pm 0,01 \text{ g} \times \text{cm}^{-3}$ i średnią porowatość równą $12,4 \pm 0,7\%$ czyli były niemalże idealnymi odpowiednikami brykietów „niskiej porowatości”, na których wykonywano badania w bieżącym roku. Brykiety te były

ściskane jednoosiowo w stanie powietrznie-suchym i przy ciśnieniu atmosferycznym (co można z dobrym przybliżeniem uznać za odpowiednik opisanych wyżej badań brykietów nasączonych azotem) oraz po nasączeniu dwutlenkiem węgla przy ciśnieniu 0,6 MPa. Poniżej – w tabeli 6 – zestawiono wyniki tych badań. Pokazują one, iż dla przebadanych brykietów wartości granicy wytrzymałości i modułu odkształceń podłużnych wydają się nie zależeć od rodzaju gazu wypełniającego ich przestrzeń porową, co odpowiada sytuacji z jaką mamy do czynienia w przypadku opisanych wyżej wyników badań brykietów „niskiej porowatości.

Tab. 6. Zestawienie wartości R_c i E uzyskanych w wyniku badań laboratoryjnych w roku 2010

nr próbki	porowat ość [%]	rodzaj gazu	ciśnienie gazu [MPa]	R_c [MPa]	E [GPa]	wartości średnie	
						R_c [MPa]	E [GPa]
19	12,9	p - s	atm.	11,2	0,50	11,3	0,42
22	12,1			11,2	0,33		
23	12,6			11,4	0,44		
25	12,5	CO ₂	0,6	10,8	0,40	11,3	0,38
27	12,7			11,6	0,38		
30	12,7			11,5	0,36		

5. Podsumowanie

Podsumowanie zaprezentowanych powyżej wyników badań rozpocząć trzeba od przypomnienia ich genezy. Badania te podjęto bowiem głównie w celu weryfikacji – przypomnianych wyżej w końcowej części rozdz. 4.3 – wyników badań uzyskanych w roku 2010. Co przyniosła próba tej weryfikacji?

Przede wszystkim stwierdzić należy, że wyniki uzyskane dla próbek „niskiej porowatości” (tab. 5) w pełni potwierdziły w sensie jakościowym to, co uzyskano w roku 2010 (tab. 6). Różnice ilościowe można złożyć na karb różnic w granulacji miału, z którego wykonano brykiet a także sposobu jego przygotowania (próbki z roku 2010 były „ubijane” wielokrotnym obciążeniem cyklicznym). Nie zmienia to jednak faktu, że wyniki te pozostają w sprzeczności z intuicyjnym oczekiwaniem, że obecność fizykochemicznie aktywnego płynu porowego winna zmienić właściwości mechaniczne skały.

Z drugiej strony wyniki uzyskane dla próbek „wysokiej porowatości” pozostają w zgodzie z intuicją. Próbki nasączone CO₂ są słabsze i bardziej ciągliwe niż próbki nasączone azotem. Powstaje pytanie, dlaczego tak się dzieje?

Dla udzielenia wiarygodnej odpowiedzi niezbędnym jest – zdaniem autorów – w pierwszym rzędzie rozpoznanie struktury przestrzeni porowej. Jest bowiem prawdopodobne, iż o ile w przypadku próbek „wysokiej porowatości” mamy do czynienia z przestrzenią porową zbudowaną z porów połączonych w sieć w sposób umożliwiający swobodną penetrację gazu w objętości próbki o tyle w próbkach „niskiej porowatości” przestrzeń porowa wydaje się być zbudowana z porów izolowanych, które nie sprzyjają głębokiej penetracji gazu.

Gdyby sformułowana powyżej hipoteza okazała się prawdziwa należałoby z kolei podjąć próbę odpowiedzi na pytanie, od czego zależy struktura przestrzeni porowej brykietu, przy czym z pewnością należałoby rozważyć następujące czynniki:

- skład ziarnowy miału, z którego wykonana jest próbka,
- siła formująca próbkę,
- wymiary próbki; wpływ sił tarcia między brykietem a ścianą brykietciarki na porowatość brykietu i strukturę porów.

Wydaje się, iż cel, jaki przyświecał autorom gdy podejmowali opisane powyżej badania, można uznać za osiągnięty a odpowiedź na postawione we wstępie pytanie sformułować można następująco: płyn porowy ma istotny wpływ na właściwości mechaniczne węgla o tyle, o ile struktura przestrzeni porowej umożliwia penetrację węgla przez ten płyn.

Literatura

- Ettinger I.L., Lamba E.G., 1957: *Gas medium in coal breaking process*. Fuel, Vol. 36, p. 298.
- Nowakowski A., Topolnicki J., Nurkowski J., Lizak Z., 2010: *Porównanie wybranych właściwości fizycznych brykietu węglowego w stanie powietrznie-suchym i w atmosferze CO₂*. Prace IMG PAN, t. 12, nr 1-4, str. 3-10.
- Nowakowski A., Topolnicki J., Nurkowski J., Wierzbicki M., Sobczyk J., Lizak Z., 2009: *Stanowisko do badania próbek węgla i skał w atmosferze gazów pod ciśnieniem*. Prace IMG PAN, t. 11, nr 1-4, str. 3-14.
- Tankard J.H.G., 1957: *The effect of sorbed carbon dioxide upon the strength of coals*. M.Sc. thesis, The University of Sydney, Australia.

Influence of pore fluid on some physical properties of coal briquette

Abstract

Manufactured and tested two sets of samples-briquettes were made from coal dust coming from hard coal mine "Zofiówka". Samples were made of fine grain diameter between 0.1 and 0.5 mm and had a porosity of $21.8 \pm 0.2\%$ and $12.8 \pm 0.2\%$. The samples were pumped out in vacuo, then saturated with an inert gas (nitrogen) or non-inert one (carbon dioxide) at 0,2, 0,4 or 0,6 MPa and finally pressed uniaxially in an atmosphere of the gas. The effect of the presence of the pore fluid on the sample uniaxial compressive strength was tested as well as on its modulus of deformation. It has been shown that this effect is strongly dependent on the porosity of the sample and, consequently, on the method of coal briquettes manufacturing.

Keywords: coal briquette, porosity, pore fluid, uniaxial compressive strength, strain modulus