

Gabriel Borowski*

PORÓWNANIE DWÓCH SPOSOBÓW OKREŚLENIA WYTRZYMAŁOŚCI BRYKIETÓW Z MATERIAŁÓW DROBNOZIARNISTYCH

Streszczenie. W publikacji opisano dwa sposoby określenia wytrzymałości na ściskanie brykietów z materiałów drobnoziarnistych. Porównanie tych sposobów przeprowadzono w oparciu o badania ściskania przykładowych brykietów wykonanych z odpadowych popiołów paleniskowych. W oparciu o wyniki badań określono przydatność stosowania obu metod do oceny wytrzymałości brykietów.

Słowa kluczowe: wytrzymałość na ściskanie, test osiowy, metoda brazylijska, brykiet.

WPROWADZENIE

Właściwości mechaniczne wyrobów stanowią istotny czynnik przy projektowaniu i wykonywaniu procesu scalania materiałów drobnoziarnistych. Uzyskanie wysokiej wytrzymałości realizuje się przez dobór odpowiednich urządzeń do aglomeracji i ich parametrów pracy, konstrukcję oprzyrządowania, dobór dodatków wiążących oraz doprowadzenie mieszanki do określonej wilgotności [1, 3].

Wytrzymałość materiału określana jest w oparciu o badania prowadzone w specjalistycznych laboratoriach z wykorzystaniem maszyn wytrzymałościowych. Badania właściwości mechanicznych materiałów najczęściej obejmują określenie wytrzymałości na ściskanie, na rozciąganie, na zginanie oraz na ścinanie. W przypadku oceny odporności brykietów bardzo istotna jest wytrzymałość na ściskanie. Dodatkowo wykonuje się badania odporności na zrzut grawitacyjny, wodoodporności i inne [2].

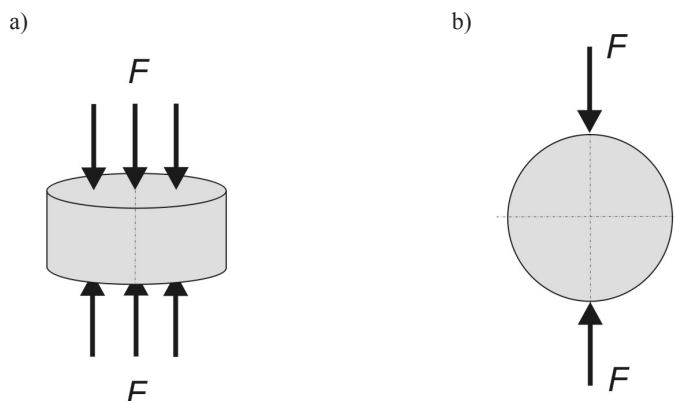
W publikacji przedstawiono dwa sposoby określenia wytrzymałości na ściskanie brykietów walcowych. Zastosowano metodę ściskania osiowego oraz ściskania średnicowego. Przydatność omówionych sposobów pokazano na przykładzie badań ściskania brykietów wykonanych z popiołów paleniskowych stanowiących odpady ze spalania paliw w kotłach grzewczych.

OCENA WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE

Przeznaczone do badań brykiety umieszcza się między płaskimi powierzchniami urządzenia badawczego (np. głowice maszyny wytrzymałościowej) i ściska się, aż do momentu zniszczenia struktury. W teście obciążania próbki walcowe ustawiać można w głowicy do-

* Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska, g.borowski@pollub.pl

ciskowej w dwojaki sposób – obciążając wzdłuż osi (test osiowy) lub wzdłuż średnicy (test średnicowy, zwany metodą brazylijską) (rys. 1).



Rys. 1. Sposoby badania wytrzymałości na ściskanie brykietów o kształcie walcowym: a) test osiowy, b) test średnicowy

Fig. 1. The methods to the compressive strength testing of cylindrical shaped briquettes: a) axial test, b) diameter test

Metoda ściskania osiowego

Badanie wytrzymałości na ściskanie polega na przyłożeniu obciążenia, którego konsekwencją jest przybliżenie do siebie drobnych cząstek ciała. Wytrzymałość na ściskanie jest to największy opór, jaki siłom ściskającym stawia materiał, przeciwdziałając zniszczeniu. Wartość liczbową tej wytrzymałości stanowi iloraz siły ściskającej, która spowodowała zniszczenie struktury materiału i powierzchni, na którą działa siła ściskająca. Wytrzymałość na ściskanie w teście osiowym określa się wzorem:

$$R_{co} = \frac{F_n}{A} \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

gdzie:

F_n – siła ściskająca (niszcząca) próbkę [N],
 A – pole przekroju próbki ściskanej [m²].

Próbki do badania wytrzymałości na ściskanie osiowe mogą mieć różne kształty, zarówno symetryczne z płaszczyzną podziału, jak i bez płaszczyzny podziału.

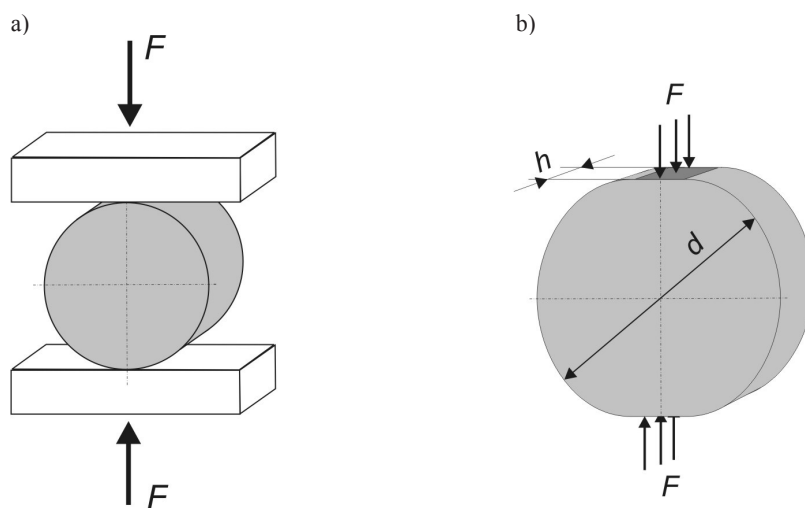
Wytrzymałość na ściskanie zależy od kierunku działania siły w stosunku do włókien lub warstw materiału. W przypadku materiałów o drobnoziarnistej budowie zależy ona także od stopnia wilgotności materiału i temperatury. Wartość wytrzymałości na ściskanie osiowe brykietów z materiałów odpadowych waha się w szerokich granicach – od 0,5 MPa do 15 MPa i więcej.

Uzyskane w teście wartości siły ściskania zależą od wielu czynników jak kształt, wymiary i masa brykiety, a także od szybkości przesuwu głowicy ściskającej [7]. Odpowiednio wysokie siły powodują pęknięcie brykiety, pod warunkiem, że są one wystarczająco kruche. Niektóre rodzaje brykietów z dodatkiem bituminów, gliny lub tworzyw sztucznych posiadają właściwości plastyczne uniemożliwiające jednoznaczne określenie siły niszczącej podczas ściskania. Należy zwrócić uwagę, że porównywanie przebiegów sił ściskania możliwe jest dla próbek o dokładnie takim samym kształcie i wymiarach.

Metoda brazylijska

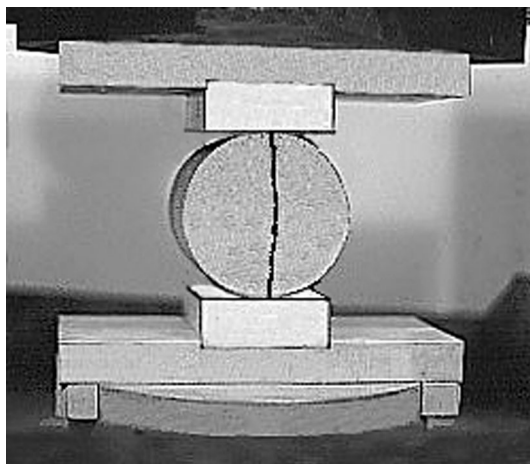
W przypadku oceny właściwości mechanicznych brykietów kruchych o kształcie walcowym często stosowana jest metoda brazylijska [5]. W szczególności jest ona przydatna do analizy pęknięć wewnątrz brykiety. Brykiety takie formuje się z rozmaitych materiałów jak związki metali, drobnziarniste piaskowce, materiały stosowane w przemyśle farmaceutycznym i inne [4].

Metoda brazylijska polega na umieszczeniu walcowej próbki pionowo między powierzchniami głowicy ściskającej (rys. 2a). Stosuje się szlifowanie części walcowej uzyskując płaską powierzchnię przyłożenia (rys. 2b) w celu zmniejszenia lokalnych naprężeń spiętrzających spowodowanych liniowym kontaktem walca z powierzchnią głowicy. Proces ściskania prowadzi się do wystąpienia widocznych gołym okiem pęknięć zaczynających się w centralnej części walca i rozprzestrzeniających się wzdłuż osi pionowej (rys. 3).



Rys. 2. Metoda brazylijska: a) próbka w głowicy ściskającej, b) próbka z płaską powierzchnią przyłożenia

Fig. 2. Brazilian test: a) the sample in the compressive head, b) the sample with the flat area



Rys. 3. Powstawanie pęknięć w próbce ściskanej metodą brazylijską
Fig. 3. Formation of cracks in the Brazilian test of sample

Wytrzymałość na ściskanie (napężenie) podczas ściskania promieniowego oblicza się ze wzoru:

$$R_{cp} = \frac{2F_n}{\pi dh} \quad [\text{MPa}] \quad (2)$$

gdzie:

F_n – siła ściskająca (niszcząca) próbkę [N],

d – średnica próbki ściskanej [m],

h – wysokość próbki [m].

Badanie wytrzymałości na ściskanie metodą brazylijską umożliwia uzyskanie dokładniejszych informacji o mechanice pęknięcia próbek, ze względu na szybsze powstawanie uszkodzeń przy mniejszych siłach ściskania w porównaniu do metody ściskania osiowego. Inaczej ujmując, badane próbki podczas ściskania osiowego wydają się być bardziej plastyczne niż faktycznie są [5] i metoda ta jest mniej skuteczna do oceny procesu powstawania uszkodzeń w centralnej części brykietu.

BADANIA WYTRZYMAŁOŚCI BRYKIETÓW

Przeprowadzono porównawcze badania wytrzymałości na ściskanie brykietów o kształcie walcowym za pomocą testu osiowego oraz metodą brazylijską. W oparciu o wyniki tych badań określono przydatność stosowania obu metod oceny wytrzymałości brykietów z materiałów drobnoziarnistych.

Brykiety do testów wytworzono z popiołów paleniskowych ze spalania biomasy drzewnej, która stanowi coraz większy udział w uzyskiwaniu energii cieplnej, zwłaszcza w kotłach zasilających gospodarstwa indywidualne. Stwierdzono możliwość wykorzystania tych brykietów jako zamiennika naturalnego kruszywa stosowanego do podbudowy dróg [2].

Głównymi składnikami popiołu są związki krzemu i aluminium. Materiał ten charakteryzuje znaczny stopień rozdrobnienia, mała zawartość wilgoci oraz mała gęstość usypowa. Środkiem wiążącym (lepiszczem) dodanym do popiołu była kompozycja wapna hydratyzowanego z cementem w udziale masowym wynoszącym od 5 do 10%. Podczas mieszania dodawano wodę doprowadzając substancję do wilgotności ok. 5%.

Mieszkankę brykietowano w prasie hydraulicznej PH-100 stosując nacisk jednostkowy stempla 4,25 MPa. Matryca formująca umożliwiła uzyskanie brykietów w kształcie walcowym o średnicy 30 mm i wysokości 15 mm. Uzyskane brykiety sezonowano, a następnie kierowano do badań wytrzymałości na ściskanie.

Wyniki pomiarów maksymalnych sił nacisku oraz obliczenia wytrzymałości na ściskanie z zastosowaniem testu osiowego oraz metodą brazylijską przedstawiono w tabeli 1. Próby wykonano dla brykietów z różną zawartością lepiszcza.

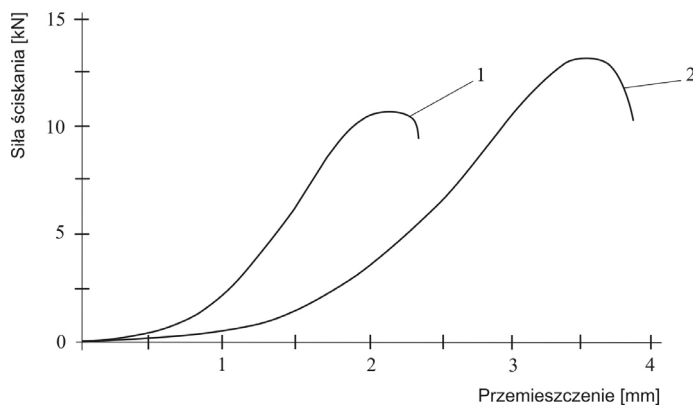
Tabela 1. Wytrzymałość na ściskanie brykietów w zależności od udziału lepiszcza

Table 1. Comprehensive strength of briquettes depended of binder contribution

Nr próby	Udział lepiszcza [%]	Maksymalna siła nacisku [kN]		Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	
		test osiowy	metoda brazylijska	test osiowy	metoda brazylijska
1	5,00	10,40	9,10	14,64	12,88
2	8,00	12,70	10,30	17,88	14,57
3	10,00	13,10	10,80	18,45	15,28

Uzyskano brykiety o dobrych właściwościach mechanicznych dla poszczególnych udziałów lepiszcza, jednak jego zwiększenie do wartości powyżej 8% nie przynosi znaczących korzyści.

Wyniki pomiarów wytrzymałości na ściskanie otrzymane w obu testach potwierdzają zależności uzyskiwane przez innych badaczy [6, 8]. Mniejsze wartości wytrzymałości określone metodą brazylijską wskazują na wcześniejsze rozpoczynanie procesu pęknięcia oraz większą kruchość brykiety. W teście osiowym odnotowano większą wytrzymałość na ściskanie i dłuższy czas trwania procesu prowadzący do pęknięcia próbki. Większe były także maksymalne siły ściskania w teście osiowym niż w promieniowym (rys. 4).



Rys. 4. Porównanie przebiegu sił ściskania w dwóch testach: 1 – metoda brazylijska, 2 – test osiowy

Fig. 4. Comparison of compression forces in two tests: 1 – Brazilian test, 2 – axial test

W teście osiowym w fazie początkowej obserwowano znaczne przemieszczenie ruchomych szczęk głowicy przy niewielkim przyroście siły ściskania. Następuje wzajemne zbliżenie drobnoziarnistych składników brykietu i zmniejszenie porowatości. Przypuszcza się, że późniejsze występowanie pękania, stwierdzone w metodzie osiowej, następuje na skutek pokonanie oporów tarcia wewnętrznego, a nie na skutek anizotropii naprężeń w brykietach.

WNIOSKI

1. Stosowanie lepiszcza w udziale 8% wpływa na wzrost właściwości mechanicznych brykietów, dalsze jednak zwiększenie udziału lepiszcza nie przynosi istotnych korzyści.
2. Stosowanie metody brazylijskiej do określenia wytrzymałości brykietów walcowych jest zasadne ze względu na dokładniejszą możliwość analizy procesu pękania przy niższych naciskach głowicy ściskającej.
3. Test osiowy ma zastosowanie dla brykietów o różnych kształtach: baryłkowy, poduszkowy, kropłowy, itp. Zniszczenie struktury zachodzi przy wyższych naciskach ze względu na opory tarcia wewnętrznego.
4. Możliwość występowania anizotropii naprężeń w ściskanych brykietach wymaga potwierdzenia w dalszych pracach badawczych.

PIŚMIENNICTWO

1. Borowski G.: Wykorzystanie brykietowania do zagospodarowania odpadów. Monografia. Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin 2011.
2. Borowski G., Miłczak M.: Badania przydatności brykietów z popiołów paleniskowych jako podbudowy drogowe. Postępy Nauki i Techniki, 4, 2010, 136–143.

3. Hryniewicz M., Kostukiewicz B., Janewicz A. . Scalanie drobnoziarnistych odpadów. *Inżynieria Chemiczna i Procesowa*, 972 (29), 2006, 89–98.
4. Piątek P.: Test punktowy, test brazylijski i test na jednoosiowe ściskanie – badania porównawcze. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 1, 2008, 285–292.
5. Proveti J.R.C., Michot G.: The Brazilian test: a tool for measuring the toughness of a material and its brittle to ductile transition. *International Journal of Fracture*, 139, 2006, 455–460.
6. Rahman M.M., Nor S.S.M., Rahman H.Y., Sopyan I.: Effects of forming parameters and sintering schedules to the mechanical properties and microstructures of final components. *Materials and Design*, 33, 2012, 153–157.
7. Rahman A.N.E., Masood M.A., Prasad C.S.N., Venkatesham M.: Influence of size and shape on the strength of briquettes. *Fuel Processing Technology*, 23, 1989, 185–195.
8. Temmerman M., Rabier F., Jensen P.D., Hartmann H., Böhm T.: Comparative study of durability test methods for pellets and briquettes. *Biomass and Bioenergy*, 30, 2006, 964–972.

COMPARISON OF TWO METHODS OF DETERMINING THE STRENGTH OF BRIQUETTES FROM FINE GRAIN MATERIALS

Summary

The publication describes to determine the compressive strength of fine grained compacts by using of two methods. Comparison of these methods were based on the study of the compression of sample briquettes made of waste ash. The usefulness of applying both approaches to the evaluation of the strength of briquettes were indicated as the results of research studies.

Key words: compressive strength, axial compression test, Brazilian test, briquette.