

## Ocena wytrzymałości mechanicznej brykietów na bazie drobnoziarnistych frakcji węglowych pochodzących z procesu wzbogacania węgla

Krzysztof Supernok<sup>1\*</sup>, Mateusz Kochel<sup>1</sup>, Mateusz Szul<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, ul. Zamkowa 1, 41-803 Zabrze

\* Autor do korespondencji: [k supernok@ichpw.pl](mailto:k supernok@ichpw.pl)

### STRESZCZENIE

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki testów wytrzymałości mechanicznej brykietów na bazie mułu węglowego oraz flotokonzentratu wraz z dodatkiem 3% wag. lepiszcza mineralnego. Testy zostały przeprowadzone przez Laboratorium Kompaktowania Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla. Surowcami do badań były drobnoziarniste frakcje węglowe będące produktami procesu wzbogacania węgla, pochodzące z dwóch kopalń. Celem badań było określenie wpływu składu brykietowanej mieszanki na wytrzymałość mechaniczną brykieta wytworzonego dla celów energetycznych. Oceny dokonano na podstawie analizy zmian wytrzymałości brykietów na ściskanie. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że zwiększenie zawartości flotokonzentratu węglowego w mieszance paliwowej wpływa korzystnie na wytrzymałość otrzymanych brykietów.

**Słowa kluczowe:** muł węglowy, flotokonzentrat węglowy, brykietowanie, wytrzymałość mechaniczna

## Assessment of mechanical strength of briquettes based on fine coal fractions obtained from the coal enrichment process

### ABSTRACT

This paper presents the results of compressive strength tests of briquettes made from coal sludge and flotation concentrate with the addition of 3% w/w mineral binder. The tests were carried out in the Compaction Laboratory located at the Institute of Chemical Processing of Coal. Raw materials for the tests were fine-grained coal fractions derived from coal enrichment process. The feedstocks were obtained from two different coal mines. The assessment was made on the basis of the analysis pertaining to the changes in the compressive strength of the briquettes. The aim of the study was to determine the effect of composition of briquetting mixture on compressive strength of obtained briquette made for energy purposes. As a result of study, it was found that the increase in the content of coal flotation concentrate in briquetting mixture has a positive effect on compressive strength of the obtained briquettes.

**Keywords:** coal sludge, coal flotation concentrate, briquetting, mechanical strength

### WPROWADZENIE

Drobnoziarniste frakcje węglowe, do których zaliczane są muły węglowe oraz flotokonzentraty, są produktami uzyskanymi na drodze wzbogacania węgla w procesie flotacji [Nycz 2000]. W swojej podstawowej formie stanowią one odpad węglowy, którego należyte zagospodarowanie stanowi problem dla wielu kopalni. Jedną z dostępnych metod ich zagospo-

darowania, jest szeroko pojęte wykorzystanie energetyczne. W tym celu konieczna jest jednak waloryzacja parametrów energetycznych oraz fizykochemicznych odpadowych frakcji węglowych tak, aby mogły one stanowić paliwo o możliwie jak najniższej uciążliwości technologicznej i ekologicznej. Opracowanie metody odpowiedniego przygotowania paliwa na bazie mułów i flotokonzentratów węglowych jest szczególnie pożądane ze względu

na komplementarność ich właściwości. Tym samym, energetyczne wykorzystanie obu frakcji, w formie paliwa kompozytowego wymaga ich odpowiedniej obróbki mechanicznej. Na proces ten składa się mielenie poszczególnych składników, komponowanie odpowiedniej mieszanki surowców, ich homogenizacja wraz z ewentualnym dowlżaniem i dodatkiem lepiszcza oraz kompaktowanie. Oprócz parametrów energetycznych, jednym z kluczowych parametrów zagęszczonego materiału, decydujących o jego możliwym zastosowaniu, jest wytrzymałość mechaniczna. Parametr ten determinuje m.in. odpowiedni sposób postępowania z paliwem zarówno w trakcie jego transportu czy składowania jak i przeróbki termochemicznej. Paliwa formowane o niskiej wytrzymałości mechanicznej w trakcie procesu spalania powodują podwyższenie emisji cząstek stałych do atmosfery oraz obniżenie sprawności cieplnej kotła. Nadmierna fragmentacja cząstek paliwa przyczynia się również do podwyższonej emisji lotnych związków organicznych, substancji smolistych czy benzo(a)pirenów powstających na skutek niewłaściwego przebiegu procesu spalania w kotle.

Muł węglowy jest paliwem niskiej jakości. Posiada dużą zawartość popiołu, wilgoci oraz niską wartość opałową. Z tego względu rzadko znajduje zastosowanie w procesach przemysłowych. Podniesienie walorów jakościowych paliw na bazie mułów węglowych jest możliwe dzięki wprowadzeniu dodatków o bardziej korzystnych parametrach fizykochemicznych, np. rozdrobnionych węgla grubszych sortymentów lub flotokonzentratu węglowego, który jest głównym produktem procesu flotacji. Flotokonzentrat w odniesieniu do mułów węglowych posiada m.in. wyższą wartość opałową, ale również mniej popiołu i metali ciężkich. Dlatego też, produkcja paliwa formowanego z drobnoziarnistych produktów odpadowych procesu wzbogacania węgla jest jednym z możliwych sposobów ich zagospodarowania. Proces zagęszczania obu badanych surowców jest o tyle istotny, o ile ich indywidualnie spalanie, w surowej formie, może odpowiadać w znacznym stopniu za powstawanie zjawiska smogu (drobne pyły zawieszone w powietrzu), które w Polsce w szczególności nasila się w okresie grzewczym. Przy bliższej analizie zauważyć można, iż obie wspomniane grupy drobnych frakcji węglowych posiadają

komplementarne charakterystyki a zatem istnieje możliwość wzajemnego zniesienia ich ww. niekorzystnych cech oraz wytworzenia paliwa, które jakościowo w znacznie mniejszym stopniu odbiegałoby od charakterystyki paliw węglowych grubszych sortymentów. Jednym z możliwych rozwiązań tego problemu może być formowanie flotokonzentratów oraz mułów węglowych w paliwa stałe o grubszym sortymencie, stabilnej charakterystyce fizykochemicznej oraz łatwym i bezpiecznym dla człowieka oraz środowiska zastosowaniu w energetyce, np. w procesie zgazowania.

Aby polepszyć parametry wytrzymałościowe surowca niezbędne jest zwiększenie sił kohezji między cząstkami materiału, a możliwe jest to poprzez zastosowanie metod ciśnieniowych formowania paliw stałych np. peletyzowania [Rejda i in. 2016] lub brykietowania [Janewicz i Kosturkiewicz 2014]. Podczas kompaktowania w procesach aglomeracji ciśnieniowej, drobnoziarnisty materiał ulega zagęszczaniu i scalaniu na wskutek działania sił zewnętrznych i wewnętrznych [Borowski and Hycnar 2013]. Materiał zagęszczany jest poprzez mechaniczne przetłaczanie przez matrycę z otworami o określonych rozmiarach (peletyzowanie) lub poprzez bezpośrednie wprowadzenie materiału pomiędzy dwie ruchome matryce z odpowiednimi formami nadającymi kształt paliwu (brykietowanie). Możliwe jest również formowanie paliwa za pomocą prasy hydraulicznej [Mroziński i in. 2016, Mroziński 2014], wyciarkarki tłokowej [Rejda i in. 2016] lub ślimakowej [Niedziółka 2013]. Dzięki zagęszczaniu materiału jednocześnie eliminuje się jego wady związane z niedogodnościami wynikającymi z drobnoziarnistej struktury surowca (zmniejszenie emisji drobnych pyłów, łatwiejszy transport i składowanie, mniejsze zagrożenie wybuchem, niższa uciążliwość dla ludzi).

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki testów wytrzymałości mechanicznej paliwa kompozytowego w postaci brykietów na bazie wytypowanego mułu oraz flotokonzentratu. Badania wytrzymałościowe pozwoliły na określenie naprężenia granicznego, przy którym materiał ulegał zniszczeniu, co wiąże się z jego odpornością na uszkodzenia mechaniczne. Uzyskane wyniki badań pozwalają określić możliwość produkcji paliwa z mułu węglowego oraz flotokonzentratu o zadowalających parametrach wytrzymałościowych oraz wyznaczyć optymalne parametry tego procesu.

## CZĘŚĆ EKSPERYMENTALNA

### Material

Surowcem wykorzystanym do wytwarzania brykietów był muł węglowy oraz flotokonzentrat węglowy, pochodzące z krajowych kopalń węgla kamiennego. Zdjęcia poglądowe surowców zostały przedstawione na rysunku 1 oraz rysunku 2.

Właściwości fizykochemiczne zastosowanych surowców zostały zaprezentowane w tabeli 1. Analiza próbek została wykonana w akredytowanym laboratorium IChPW.

### Proces wytwarzania brykietów

Przygotowano mieszanki paliwa kompozytowego tak, aby udział masowy flotokonzentratu oraz mułu węglowego wynosił 30:70 (mieszanka I), 50:50 (mieszanka II) oraz 70:30 (mieszanka III) w odniesieniu do masy suchej surowców węglowych. Do każdej mieszanki dodano le-

piszcze w ilości 3% masowych. Jako lepiszcze zastosowano cement portlandzki CEM I 42,5R. W celu przeprowadzenia niezbędnych oznaczeń przygotowano 10 kg masy suchej każdej z mieszanek. Następnie mieszanki dowlizano do 20% zawartości wody. Wodę do nawilżania mieszanki dodawano do mułu węglowego w celu ułatwienia jego homogenizacji i dozowania. W tabeli 2 zestawiono receptury mieszanek przeznaczonych do brykietowania.

Przygotowane surowce homogenizowano w mieszalniku dwuwałowym z mieszadłem typu Z (rys. 3). Po opróżnieniu mieszalnika mieszanki były gotowe do procesu kompaktowania.

Wytwarzanie brykietów odbyło się na prasie hydraulicznej (stemplowej), umożliwiającej wytworzenie maksymalnego ciśnienia nacisku na poziomie 216 MPa (rys. 4). Do komory prasy o matrycy w kształcie walca każdorazowo wprowadzano 25 g mieszanki, a nacisk ruchomego tłoka prasy na materiał wynosił odpowiednio 72, 144



Rys. 1. Muł węglowy  
Fig. 1. Coal sludge



Rys. 2. Flotokonzentrat węglowy  
Fig. 2. Coal flotation concentrate

Tabela 1. Właściwości fizykochemiczne wykorzystanego mułu węglowego oraz flotokonzentratu  
Table 1. Physicochemical properties of coal sludge and coal flotation concentrate

Parametr	Symbol	Jednostka	Muł węglowy	Flotokonzentrat
Zawartość wilgoci całkowitej	$W_t^r$	%	22,6	23,7
Zawartość wilgoci w stanie analitycznym	$W^a$	%	3,3	2,1
Zawartość popiołu w stanie analitycznym	$A^a$	%	57,2	13,3
Zawartość popiołu w stanie roboczym	$A^r$	%	45,8	10,4
Zawartość części lotnych w stanie analitycznym	$V^a$	%	15,64	27,86
Zawartość części lotnych w stanie suchym i bezpopiołowym	$V^{daf}$	%	39,59	32,93
Ciepło spalania w stanie analitycznym	$Q_s^a$	J/g	10 726	28 706
Ciepło spalania w stanie suchym	$Q_s^d$	J/g	11 092	29 322
Wartość opałowa w stanie analitycznym	$Q_i^a$	J/g	10 179	27 656
Wartość opałowa w stanie roboczym	$Q_i^r$	J/g	7 660	21 016
Zawartość siarki całkowitej w stanie analitycznym	$S_t^a$	%	0,61	0,57
Zawartość siarki całkowitej w stanie roboczym	$S_t^r$	%	0,49	0,44
Zdolność spiekania metodą Rogi	RI	-	0	16

**Tabela 2.** Receptury mieszanek przeznaczonych do brykietowania**Table 2.** Recipes of mixtures intended for briquetting

Surowiec	Udział masy suchej – flot/muł/cem. [%]	Masa sucha [kg]	Wilgoć początkowa surowców – muł/flot./cem.* [%]	Masa surowców z uwzgl. wilgoci [kg]	Masa dodanej wody do mieszanki [kg]
Mieszanka (I)	29,1 / 67,9 / 3,0	6,79 / 2,91 / 0,3	5,5 / 3,4 / -	7,19 / 3,01 / 0,3	2,01
Mieszanka (II)	48,5 / 48,5 / 3,0	4,85 / 4,85 / 0,3	5,5 / 3,4 / -	5,13 / 5,02 / 0,3	2,05
Mieszanka (III)	67,9 / 29,1 / 3,0	2,91 / 6,79 / 0,3	5,5 / 3,4 / -	3,08 / 7,03 / 0,3	2,09

\* zawartość wilgoci w cemencie była pomijalna.



**Rys. 3.** Mieszalnik dwuwałowy z miesządem typu Z  
**Fig. 3.** Twin-shaft mixer with Z-type stirrer



**Rys. 4.** Prasa hydrauliczna do wytwarzania brykietów  
**Fig. 4.** Hydraulic press for briquetting

oraz 216 MPa. Dla każdej z mieszanek wykonano 3 serie brykietów przy zastosowaniu różnych wartości ciśnienia wytwarzania. Każda z serii składała się z pięciu próbek.

Po wytworzeniu brykiety suszono w warunkach powietrzno-suchych w celu zwiększenia ich wytrzymałości mechanicznej. Po wysuszeniu odnotowano masę próbek, ich wymiary oraz wyznaczono gęstość. Poglądowe zdjęcie wytworzonych brykietów przedstawiono na rysunku 5.

### Ocena wytrzymałości mechanicznej wytworzonych brykietów

Badania wytrzymałości mechanicznej brykietów odbywały się na hydraulicznej prasie wytrzymałościowej ZD40 firmy Werkstoffprüfmaschinen-Leipzig GmbH (rys. 6), umożliwiającej

określenie maksymalnej siły, której przyłożenie prowadzi do zniszczenia brykiety.

Wytrzymałość mechaniczną wyznaczono dla wszystkich próbek z każdej serii. Po wykonaniu pomiarów, wyznaczono średnią wartość wytrzymałości na ściskanie dla brykietów wytworzonych z poszczególnych mieszanek.

### OMÓWIENIE WYNIKÓW

Próbowi na ściskanie poddano łącznie 45 próbek brykietów węglowych, wytworzonych przy trzech różnych wartościach ciśnienia. Badania wykonano ze stałym wzrostem naprężeń wynoszącym  $1,0 \pm 0,1 \text{ MPa} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Wszystkie przygotowane brykiety cechowały się stałą średnicą wynoszącą 41 mm, odpowiadającą



**Rys. 5.** Brykiety wytworzone na prasie hydraulicznej  
**Fig. 5.** Briquettes made on a hydraulic press

jącą średnicy matrycy prasy hydraulicznej. Wyniki badań zostały przedstawione z podziałem na serię badań według rodzaju wykorzystanej mieszanki oraz ciśnienia wytwarzania. Dla wszystkich serii testów wykonano obliczenia gęstości pozornej próbek oraz granicznego naprężenia na ściskanie. Wyniki badań zostały przedstawione w tabeli 3.

Próbki do badań poszczególnych serii charakteryzowały się wysoką powtarzalnością wymiarów, co zwiększało wiarygodność wyników. Odchylenia standardowe mas i gęstości nie przekraczały 1,5%. W przypadku oznaczania wartości naprężeń granicznych odchylenia zmieniały się w zakresie od 1,3 do 11,6%. Największe odchylenia wartości naprężeń granicznych zaobserwowano dla brykietów wytworzonych z mieszanki I przy ciśnieniu 144 MPa. Wytwarzanie brykietów na prasie ciśnieniowej powodowało pewne straty masy materiału w wyniku wyciskania bocznego. Średnia masa końcowa brykietów mieściła się w zakresie od 17,0 g dla serii wykonanej z mieszanki II przy ciśnieniu wytwarzania 216 MPa, do 24,5 g dla serii wykonanej z mieszanki I przy ciśnieniu wytwarzania 72 MPa.

Wyniki z serii badań zobrazowano na rysunku 7 wyrażając wartość naprężenia granicznego w funkcji ciśnienia wytwarzania brykieta.

Przedstawione wyniki wskazują na istnienie ścisłej korelacji pomiędzy gęstością brykieta, a



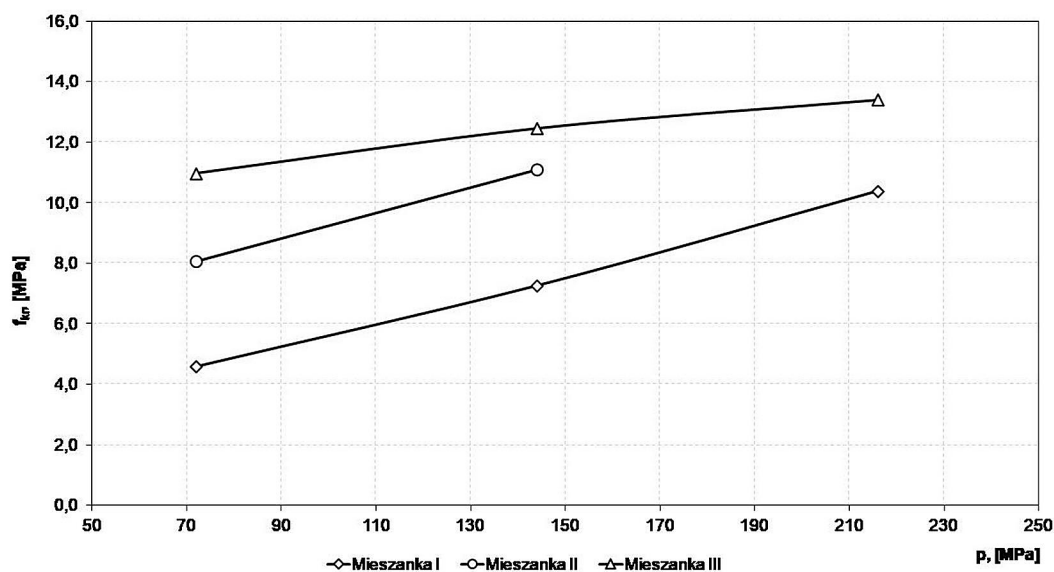
**Rys. 6.** Prasa hydrauliczna do wyznaczania wytrzymałości brykietów na ściskanie  
**Fig. 6.** Hydraulic press for determination of compressive strength of briquettes

ciśnieniem wytwarzania. Ponadto różnice pomiędzy poszczególnymi próbkami zależały od ich masy końcowej, zależnej od indywidualnych właściwości fizycznych mieszanki. Średnia wartość naprężenia granicznego mieściła się w zakresie 4,6÷13,4 MPa. Wytrzymałość próbek rosła wraz ze wzrostem ciśnienia wytwarzania. Przy ciśnieniu 72 MPa średnia wartość naprężenia zmieniała się w zakresie od 4,6 MPa dla mieszanki I, do 11,0 MPa dla mieszanki III, natomiast dla ciśnienia 216 MPa średnie wartości zmieniały się w zakresie od 10,4 MPa dla mieszanki I, do 13,4 MPa dla mieszanki III. Najwyższą wytrzymałością na ściskanie zaobserwowano dla brykietów wykonanych z mieszanki III, której średnia wartość dla serii wyniosła odpowiednio 11,0 MPa (przy 72 MPa), 12,4 MPa (przy 144 MPa) i 13,4 MPa (przy 216 MPa). Brykiety te, dla całej serii próbek cechowały się najwyższą gęstością pozorną, których średnia wartość mieściła się w zakresie 1368–1398 kg/m<sup>3</sup>. Dla tej mieszanki wzrost ciśnienia wytwarzania przekładał się na najmniejsze zmiany względne wytrzymałości brykieta. Dla brykietów wykonanych z mieszanki II zaobserwowano duże straty surowca w wyniku wyciskania bocznego materiału (średnia wartość straty masy dla ciśnienia wytwarzania 216 MPa wyniosła blisko 30% nadawy). Uniemożliwiło

**Tabela 3.** Zestawienie parametrów brykietów i wyników testów wytrzymałości na ściskanie**Table 3.** List of briquettes parameters and compressive strength test results

Mieszanka	Parametr	Ciśnienie wytwarzania brykietów								
		72 [MPa]			144 [MPa]			216 [MPa]		
		m [g]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$f_{kr}$ [MPa]	m [g]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$f_{kr}$ [MPa]	m [g]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$f_{kr}$ [MPa]
I	min.	24,3	1120	3,8	19,9	1204	4,8	21,3	1166	8,5
	max.	24,9	1136	5,7	21,3	1183	9,1	22,4	1204	12,6
	średnia	24,5	1126	4,6	20,5	1174	7,3	21,9	1188	10,4
	odchylenie	0,1	3	0,4	0,3	3	0,8	0,2	6	0,8
	st.	0,4%	0,3%	8,5%	1,3%	0,3%	11,6%	1,0%	0,5%	7,8%
II	min.	20,7	1179	7,2	19,9	1204	9,7	15,8	1253	*
	max.	21,1	1196	8,5	21,3	1246	12,4	18,2	1287	
	średnia	21,0	1186	8,1	20,5	1220	11,1	17,0	1269	
	odchylenie	0,1	3	0,3	0,3	8	0,5	0,4	6	
	st.	0,4%	0,3%	3,3%	1,3%	0,7%	4,5%	2,4%	0,4%	
III	min.	23,1	1356	10,6	23,3	1381	11,9	23,3	1392	13,0
	max.	23,8	1378	11,4	24,0	1393	13,3	23,8	1402	13,8
	średnia	23,4	1368	11,0	23,7	1388	12,5	23,6	1398	13,4
	odchylenie	0,1	5	0,1	0,1	2	0,3	0,1	2	0,1
	st.	0,6%	0,3%	1,3%	0,6%	0,2%	2,3%	0,4%	0,2%	1,1%

\* wyniki serii zostały pominięte w związku z niemożliwością wykonania prawidłowego pomiaru.

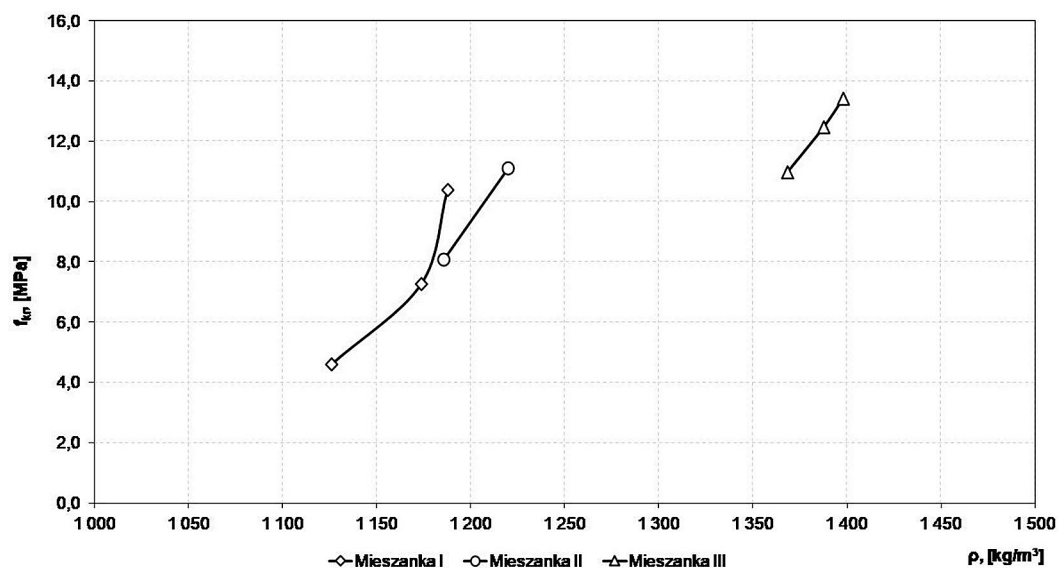


**Rys. 7.** Średnie wartości naprężenia granicznego brykietów na ściskanie w zależności od ciśnienia wytwarzania  
**Fig. 7.** Average values of the boundary stress of the briquettes depending on the production pressure

to poprawne wyznaczenie wartości granicznego naprężenia na ściskanie, gdyż wymiary badanych próbek były zbyt małe (zmiana wysokości). W konsekwencji podczas badań na prasie hydraulicznej niemożliwym było zaobserwowanie punktu zniszczenia tego materiału. Najniższą wytrzymałością na ściskanie charakteryzowały się brykiety wykonane z mieszanki I. Średnie wartości

naprężenia granicznego mieściły się w zakresie 4,6÷10,4 MPa. Brykiety te charakteryzowały się również najniższym stopniem zagęszczenia, dla których średnia wartość gęstości pozornej wyniosła 1126÷1188 kg/m<sup>3</sup>.

Na rysunku 8 przedstawiono wyniki badań naprężenia granicznego na ściskanie w zależności od gęstości pozornej próbki.



Rys. 8. Średnie wartości naprężenia granicznego brykietów na ściskanie w zależności od gęstości pozornej  
 Fig. 8. Average values of the boundary stress of the briquettes depending on their apparent density

Średnia wartość gęstości pozornej wszystkich trzech serii próbek mieściła się w zakresie 1126÷1398 kg/m<sup>3</sup>. Najbardziej dynamiczny wzrost wytrzymałości został odnotowany dla brykietów wykonanych z mieszanki I, gdzie średnia wartość naprężenia granicznego zmieniła się o ok. 126%, przy wzroście gęstości o ok. 5,5% (na 1% wzrostu gęstości naprężenie graniczne materiału rosło o blisko 23%). Dla brykietów wykonanych z pozostałych mieszanek dynamika zmian była zdecydowanie niższa. Dla mieszanki II, 1% wzrostu gęstości powodował wzrost naprężenia granicznego o ok. 5,3%, natomiast dla mieszanki III wzrost naprężenia dla takiej samej zmiany gęstości wyniósł ok. 10,1%. Gęstość brykietu nie jest natomiast jedynym czynnikiem wpływającym na jego wytrzymałość. Dla zbliżonych wartości gęstości serii brykietów wykonanych z mieszanki III przy ciśnieniu wytwarzania 216 MPa oraz mieszanki I przy ciśnieniu wytwarzania 72 MPa, naprężenia graniczne różniły się od siebie

o blisko 30% na korzyść mieszanki wykonanej przy wyższym ciśnieniu. Jednakże dla wszystkich serii zaobserwowano wzrost wytrzymałości na ściskanie wraz ze wzrostem gęstości.

W tabeli 4 zestawiono wyniki badań wytrzymałości na ściskanie brykietów wykonanych z różnych surowców [Demibras i Sahin 1998, Beker i Küçükbayrak 1996, Swietochowski i in. 2010, Plancher i in. 2002, Szpetulski 2016].

Wyniki pokazują, że dla mieszanki mułu z flotokonzentratem ciśnienie niezbędne do wytworzenia brykietu o wytrzymałości na ściskanie zbliżonej do wytrzymałości brykietów wykonanych z węgla brunatnego przy ciśnieniu wytwarzania 150 MPa wynosi 216 MPa. Świadczy to o dobrych właściwościach mechanicznych brykietów wykonanych w ramach realizacji opisywanych badań. Kompaktowanie flotokonzentratu i mułu węglowego przy zastosowaniu mineralnego lepiszcza pozwala na uzyskanie wysokiej wytrzymałości mechanicznej wytworzonego brykietu.

Tabela 4. Wytrzymałość na ściskanie brykietów wykonanych z różnych surowców

Table 4. Compressive strength of briquettes made of various raw materials

Surowice	Ciśnienie wytwarzania [MPa]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Źródło
Miskantus	21	2,7	[Demibras i Sahin 1998]
Mieszanka I-III	72÷216	11,0÷13,4	-
Węgiel brunatny (10% wilgoci)	150	13,9	[Beker i Küçükbayrak 1996]
Słoma z 5% dodatkiem makulatury	300	14,2	[Swietochowski i in. 2010]
Koks z lepiszczem (13,5% smoły)	140	18,0	[Plancher i in. 2002]
Beton 28 dniowy	-	43,0÷49,3	[Szpetulski 2016]

## WNIOSKI

Przeprowadzone badania określiły możliwości wytwarzania wytrzymałych mechanicznie brykietów z paliwa kompozytowego na bazie mułu węglowego i flotokoncentratu. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że:

- 1) wraz ze wzrostem ciśnienia wytwarzania rośnie wytrzymałość mechaniczna brykieta na ściskanie,
- 2) zwiększenie udziału flotokoncentratu w mieszance powoduje wzrost wytrzymałości brykieta na ściskanie,
- 3) brykiety wykonane z mieszanki III charakteryzowały się zadowalającą wytrzymałością na ściskanie w zakresie ciśnienia wytwarzania 72÷216 MPa, porównywalną z brykietami wykonanymi z węgla brunatnego przy niższym ciśnieniu (tab. 4),
- 4) wszystkie brykiety charakteryzowały się akceptowalną wytrzymałością na ściskanie dla brykietów węglowych określoną na 0,375 MPa [Richards 1990].

## Podziękowania

Zaprezentowane w niniejszej publikacji wyniki badań zostały uzyskane podczas realizacji projektu badawczego nr 11.17.015 pt.: „Energetyczne wykorzystanie drobnych frakcji węglowych”.

## BIBLIOGRAFIA

1. Nycz R. 2000. Aktualny stan przeróbki węgla kamiennego w Polsce. *Inżynieria Mineralna*, 2, 3-29.
2. Rejdak M., Winkler R., Ignasiak K., Supernok K. 2016. Testy peletyzacji odpadowego pyłu antracytowego. *Inżynieria Ekologiczna*, 49, 100-106.
3. Janewicz A., Kosturkiewicz B. 2014. Brykietywanie węgla brunatnego z biomasą w celu
- uzyskania paliwa kompozytowego. *Rynek Energii*, 113(5), 121-128.
4. Borowski G., Hycnar J.J. 2013. Utilization of fine coal waste as a fuel briquettes. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 33(4), 194-204.
5. Mroziński A., Kruszelnicka W., Madej O. 2016. Monitorowanie procesu wytwarzania brykieta w brykietnicy hydraulicznej. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 55(4), 150-151.
6. Mroziński A. 2014. Wykorzystanie brykietnic hydraulicznych do aglomerowania biomasy i odpadów na cele energetyczne. *Wyd. Fundacji Rozwoju Mechatroniki*, Bydgoszcz, 90-105.
7. Rejdak M., Czardybon A., Ignasiak K., Sobolewski A., Robak J. 2017. Compaction studies of torrefied willow. *Journal of Ecological Engineering*, 18(1), 183-192.
8. Niedziółka I. 2013. Wpływ temperatury na gęstość i trwałość brykietów wytworzonych w brykietnicy ślimakowej. *Inżynieria Rolnicza*, 145(3), 301-310.
9. Demirbas A., Sahin A. 1998. Evaluation of biomass residue 1. Briquetting waste paper and wheat straw mixtures. *Fuel Processing Technology*, 55(2), 175-183.
10. Beker Ü.G., Küçükbayrak S. 1996. Briquetting of Istanbul-Kemerburgaz lignite of Turkey. *Fuel Processing Technology*, 47(2), 111-118.
11. Swietochowski A., Lisowski A., Dąbrowska-Salwin M. 2010. Strength of briquettes and pellets from energy crops. *Engineering For Rural Development*, 547-551.
12. Plancher H., Agarwal P.K., Severns R. 2002. Improving form coke briquette strength. *Fuel Processing Technology*, 79(2), 83-92.
13. Szpetulski J. 2016. Badanie wytrzymałości na ściskanie betonu w konstrukcji. *Przegląd Budowlany*, (3), 21-24.
14. Richards S.R. 1990. Physical testing of fuel briquettes. *Fuel Processing Technology*, 25(2), 89-100.