

## TESTY PELETYZACJI ODPADOWEGO PYŁU ANTRACYTOWEGO

Michał Rejdak<sup>1</sup>, Roman Winkler<sup>1</sup>, Krzysztof Supernok<sup>1</sup>, Karina Ignasiak<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, ul. Zamkowa 1, 41-803 Zabrze, e-mail: mrejdak@ichpw.pl

### STRESZCZENIE

W artykule zaprezentowano rezultaty testów peletyzacji odpadowego pyłu antracytowego z wykorzystaniem trzech rodzajów lepiszczy skrobiowych, przeprowadzone w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla. Surowcem stosowanym do badań peletyzowania była drobnoziarnista frakcja antracytu pochodząca z jednego z zakładów przemysłowych przetwarzających antracyt. Celem przeprowadzonych testów było określenie możliwości peletyzowania odpadowego pyłu antracytowego oraz określenie wpływu udziału stosowanego lepiszcza na parametry fizyko-mechaniczne wytworzonych peletów. Stwierdzono że aplikacja 2,5% lepiszcza skrobiowego umożliwia uzyskanie peletów o zadowalającej wytrzymałości mechanicznej.

**Słowa kluczowe:** antracyt, pelet, kompaktowanie.

### PELLETIZING TESTS OF WASTE ANTHRACITE DUST

#### ABSTRACT

The results of pelletization tests of waste anthracite dust with three types of starch binder, which were performed at the Institute for Chemical Processing of Coal have been presented. The raw material used in pelletization tests was fine-grained anthracite fraction derived from one of the industrial plants processing anthracite. The aim of the research was to determine the possibilities of waste anthracite dust use in terms of its pelletization and determination of the influence of the binder amount on the physico-chemical properties of the obtained pellets. It was stated out that the application of 2.5% starch binder allows obtaining pellets with adequate mechanical strength.

**Keywords:** anthracite, pellet, densification

### WPROWADZENIE

Antracyt to wysokozmetamorfizowany węgiel, który w zależności od właściwości wykorzystywany jest głównie jako paliwo specjalne lub jako substytut koksu w procesach metalurgicznych. Aktualnie w Polsce nie ma działających kopalń antracytu. Surowiec ten jest importowany przez przedsiębiorstwa, które na drodze mechanicznej obróbki wytwarzają stosowne sortymenty antracytu, kierowane do końcowych odbiorców przemysłowych. W zależności od skali produkcji, w trakcie procesów przeróbki mechanicznej antracytu powstają określone ilości drobnoziarnistego pyłu antracytowego. Materiał w postaci pyłowej może sprawiać znaczące trudności zarówno na etapie jego składowania, transportu jak i użytkowania (pylenie, niska gęstość nasypowa). Jedną z metod utylizacji drobnoziarnistych materia-

łów odpadowych jest ich kompaktowanie, mające na celu nadanie materiałom nowych cech użytkowych [Benk i in. 2011, Borowski i in. 2011, Emeł'yanova i in. 2011, Wandrasz i Wandrasz 2006]. Najczęściej stosowaną metodą kompaktowania materiałów jest aglomeracja ciśnieniowa (brykietowanie, peletyzowanie). W procesie aglomeracji ciśnieniowej, drobnoziarnisty materiał ulega zagęszczeniu (reorganizacja ziaren) i scaleniu pod wpływem działania sił zewnętrznych (ciśnienie) oraz wewnętrznych (oddziaływania międzycząsteczkowe). Pożądanymi cechami produktu końcowego procesu aglomeracji są wysoka gęstość oraz odpowiednia wytrzymałość mechaniczna. Próby brykietowania odpadowego antracytu jako substytutu koksu w piecu cupola prowadzili badacze amerykańscy [Nieto-Delgado i in. 2014, Lumadue i in. 2012]. Badania nad produkcją brykietów paliwowych z pyłu antracytowego prowa-

dzono również w Rosji [Buravchuk i in. 2014]. Próby wytwarzania substytutu koksu na bazie karbonizowanych brykietów antracytowych prowadzili badawcze chińscy [Zhaoa i in. 2015].

Proces peletyzacji (peletyzowania) polega na mechanicznym przetłaczaniu materiału (mieszanki surowca z lepiszczem lub bez) przez matrycę z nawierconymi otworami o ustalonej średnicy (rys. 1). Podawanie materiału następuje bezpośrednio na elementy robocze granulatora [Wandrasz i Wandrasz 2006]. Obrotowe rolki przesuwając się po powierzchni roboczej matrycy powodują przetłaczanie się surowca przez otwory matrycy. Kolejne porcje świeżego surowca dostarczane sukcesywnie pod powierzchnie rolek, powodują wypychanie skompaktowanego materiału z otworów matrycy. W razie konieczności (zużycia, zablokowania) matryce i rolki podlegają wymianie. W zależności od rodzaju surowca przeznaczanego do procesu peletyzacji stosuje się matryce o różnej średnicy otworów i różnej grubości. Obecnie, w praktyce przemysłowej stosuje się dwa podstawowe typy

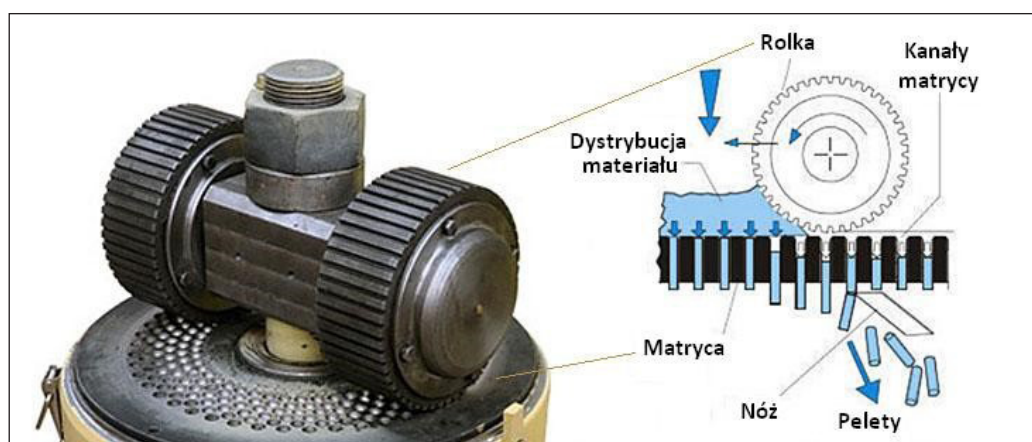
granulatorów – z matrycami pierścieniowymi oraz płaskimi (talerzowymi).

W niniejszym artykule zaprezentowano rezultaty testów peletyzacji odpadowego pyłu antracytowego z wykorzystaniem 3 rodzajów lepiszczy skrobiowych, przeprowadzone w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla. Celem przeprowadzonych testów było określenie możliwości peletyzowania odpadowego pyłu antracytowego oraz określenie wpływu udziału stosowanego lepiszcza na parametry fizyko-mechaniczne wytworzonych peletów.

## CZĘŚĆ EKSPERYMENTALNA

### Surowce

Surowcem stosowanym do badań peletyzowania była drobnoziarnista frakcja antracytu pochodząca z jednego z zakładów przemysłowych przetwarzających antracyt. Właściwości fizyko-chemiczne surowca zaprezentowano w tabeli 1, a jego skład ziarnowy na rysunku 2.



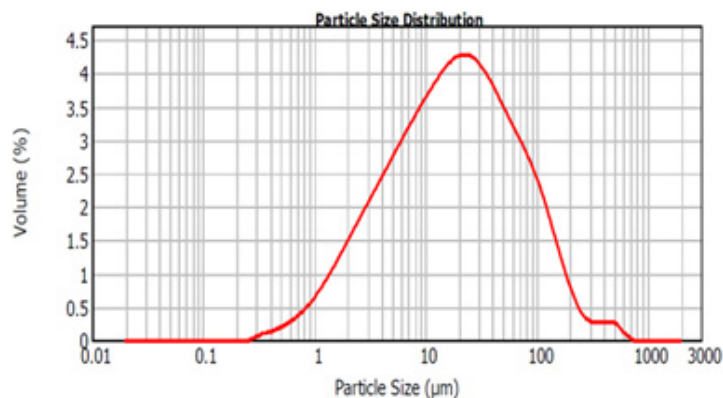
Rys. 1. Elementy robocze granulatora z matrycą płaską [www.pelletmillsolution.com, 2016]

Fig. 1. Operating elements of flat die pellet mill

Tabela 1. Właściwości fizykochemiczne badanego surowca

Table 1. Physico-chemical properties of the raw material

Parametr	Standard	Jednostka	Wartość
Zawartość wilgoci całkowitej $W_t^r$	PN-80/G-04511	%	1,3
Zawartość popiołu $A^a$	PN-80/G-04512	%	18,6
Zawartość części lotnych $V^{daf}$	PN-G-04516:1998	%	4,46
Zawartość węgla całkowitego $C_t^a$	PN-G-04571:1998	%	77,3
Zawartość wodoru $H_t^a$	PN-G-04571:1998	%	0,84
Zawartość azotu całkowitego $N_t^a$	PN-G-04571:1998	%	1,21
Zawartość siarki całkowitej $S_t^r$	PN-G-04584:2001	%	0,25
Gęstość rzeczywista $\rho_r$	ISO 12154:2014	g/cm <sup>3</sup>	1,943



**Rys. 2.** Rozkład ziarnowy badanego surowca  
**Fig. 2.** Particle size distribution of studied raw material

### Proces peletyzacji

Testy kompaktowania przeprowadzono z wykorzystaniem komercyjnego granulatora z obrotową matrycą płaską (Protechnika P-100) (rys. 3). Średnica otworów matrycy wynosiła 6 mm. Przed przystąpieniem do procesu peletyzacji, zespół roboczy granulatora rozgrzano do temperatury roboczej przepuszczając przez niego mieszaninę otrębów, wody, oleju i proszku korundowego. Celem otrzymania peletów o odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej, do surowca węglowego dodawano skrobiowe środki wiążące (lepiszcza) w ilości 1, 2,5 oraz 5%. Stosowanymi lepiszczami były: modyfikowana skrobia pszenna, niemodyfikowana skrobia ziemniaczana oraz dekstryna żółta. Po dodaniu środków wiążących, przygotowana mieszanka wsadowa, poddawana była homogenizacji z wykorzystaniem mieszalnika planetarnego. Zawartość wilgoci w surowcu kierowanym do procesu peletyzacji wynosiła 18%.



**Rys. 3.** Widok ogólny otrzymanych peletów  
**Fig. 3.** General view of the obtained pellets

### Ocena właściwości wytworzonych peletów

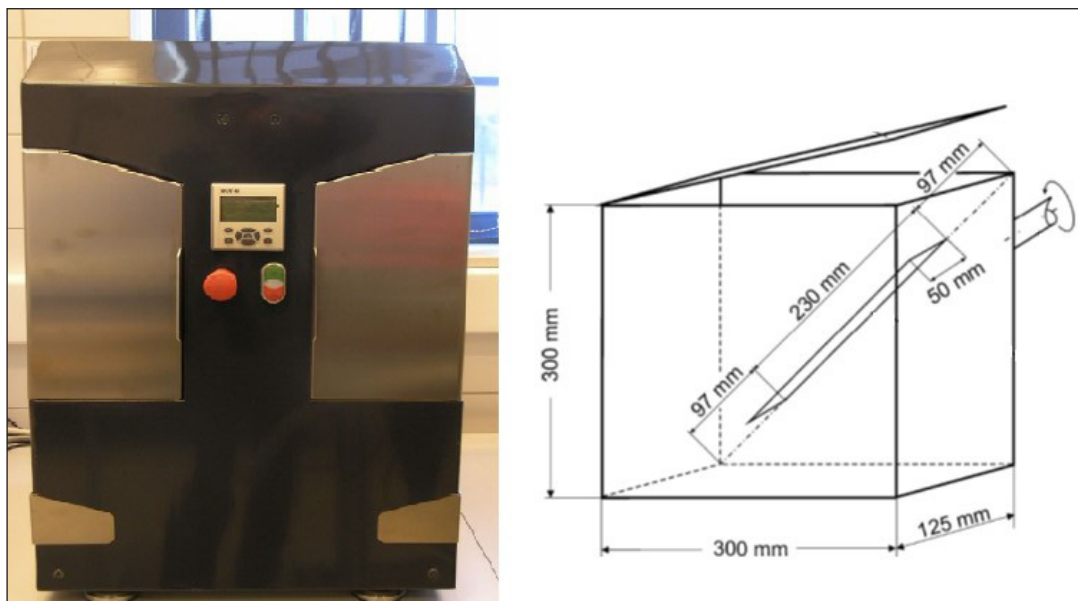
Po zakończeniu procesu peletowania, wytworzone brykiety suszono w suszarce komorowej w temp 80°C do osiągnięcia zawartości wilgoci całkowitej poniżej 5%. Po wysuszeniu i wychłodzeniu, pelety poddawane były badaniom gęstości pozornej, nasypowej, wymiarów charakterystycznych (średnica, długość) oraz wytrzymałości mechanicznej wg PN-EN 15210-1:2010.

Do oceny gęstości pozornej wykorzystano aparat GeoPyc 1350 firmy Micromeritics, USA (metoda piknometrii quasi-cieczowej) z użyciem środka DryFlo (rys. 4). Wymiary peletów oznaczono z wykorzystaniem suwmiarki elektronicznej dla 100 losowo wybranych peletów. Do oceny porównawczej długości i średnicy peletów wykorzystano analizę wariancji. Gęstość rzeczywistą oznaczono z wykorzystaniem piknometrii helowej (AccuPyc firmy Micromeritics).

Gęstość nasypową oznaczono na podstawie ilorazu masy peletów wypełniającej objętość



**Rys. 4.** Urządzenie GeoPyc firmy Micromeritics  
**Fig. 4.** GeoPyc device by Micromeritics



Rys. 5. Aparat do oznaczania wytrzymałości mechanicznej  
 Fig. 5. Apparatus for determination of mechanical strength

Tabela 2. Właściwości wytworzonych peletów  
 Table 2. Properties of the obtained pellets

lepiszcze	udział [%]	d [mm]	L [mm]	$\rho_{app}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$\rho_{tr}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	D <sub>u</sub> [%]	$\rho_{nas}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	W <sub>t</sub> <sup>r</sup> [%]
mod. skrobia pszenna	1	6,02	12,27	1,369	1,892	67,8	769	4,0
	2,5	6,02	13,41	1,376	1,880	91,8	769	4,2
	5	6,00	13,27	1,316	1,869	95,2	724	4,1
niem. skrobia ziemniaczana	1	5,99	13,11	1,364	1,891	53,1	773	4,3
	2,5	6,02	14,13	1,368	1,876	80,4	777	4,3
	5	5,98	13,50	1,334	1,870	86,4	739	4,3
dekstryna żółta ziemniaczana	1	6,05	12,63	1,364	1,895	68,5	771	4,1
	2,5	6,02	12,37	1,359	1,878	87,7	769	4,3
	5	6,04	11,95	1,318	1,876	94,2	734	4,0

d – średnica, L – długość,  $\rho_{tr}$  – gęstość rzeczywista,  $\rho_{app}$  – gęstość pozorna, D<sub>u</sub> – wytrzymałość mechaniczna,  $\rho_{nas}$  – gęstość nasypowa, W<sub>t</sub><sup>r</sup> – zawartość wilgoci

Tabela 3. Zestawienie wartości odchylenia standardowego dla wykonanych oznaczeń  
 Table 3. Standard deviation values of performed analysis

lepiszcze	udział [%]	u <sub>d</sub>	u <sub>L</sub>	u <sub><math>\rho_{app}</math></sub>	u <sub><math>\rho_{tr}</math></sub>	u <sub>D<sub>u</sub></sub>	u <sub><math>\rho_{nas}</math></sub>
mod. skrobia pszenna	1	0,05	2,64	0,002	0,002	0,04	7,6
	2,5	0,07	2,31	0,010	0,001	0,25	7,1
	5	0,10	2,78	0,014	0,002	0,01	5,0
niem. skrobia ziemniaczana	1	0,13	2,16	0,007	0,001	0,37	4,9
	2,5	0,09	1,97	0,005	0,001	0,83	6,6
	5	0,10	2,83	0,002	0,004	0,11	2,3
dekstryna żółta ziemniaczana	1	0,05	1,91	0,014	0,003	0,54	2,5
	2,5	0,10	2,82	0,009	0,0004	0,23	7,6
	5	0,10	2,43	0,008	0,005	0,16	4,1





Rys. 6. Komercyjny granulator (peleciarka) z matrycą płaską  
Fig. 6. Commercial flat die pellet mill

1 dm<sup>3</sup> cylindra pomiarowego. Końcowy wynik stanowi średnią z trzech niezależnych oznaczeń.

Wytrzymałość mechaniczna została oznaczona z wykorzystaniem urządzenia PelTest (zgodnie z normą PN-EN 15210-1:2010) (rys. 5). Pobraną próbkę paliwa (500 g) poddaje się bębnowaniu z prędkością 50 obrotów/min. Całkowita liczba obrotów bębna wynosi 500. Próbkę po operacji bębnowania przesiewa się przez sito o oczku 3,15 mm. Procentowy udział frakcji pozostającej na sicie, stanowi wytrzymałość mechaniczną  $D_u$  peletów. Oznaczenie wykonuje się dwukrotnie. Podana wartość wytrzymałości mechanicznej  $D_u$  stanowi średnią z dwóch niezależnych oznaczeń.

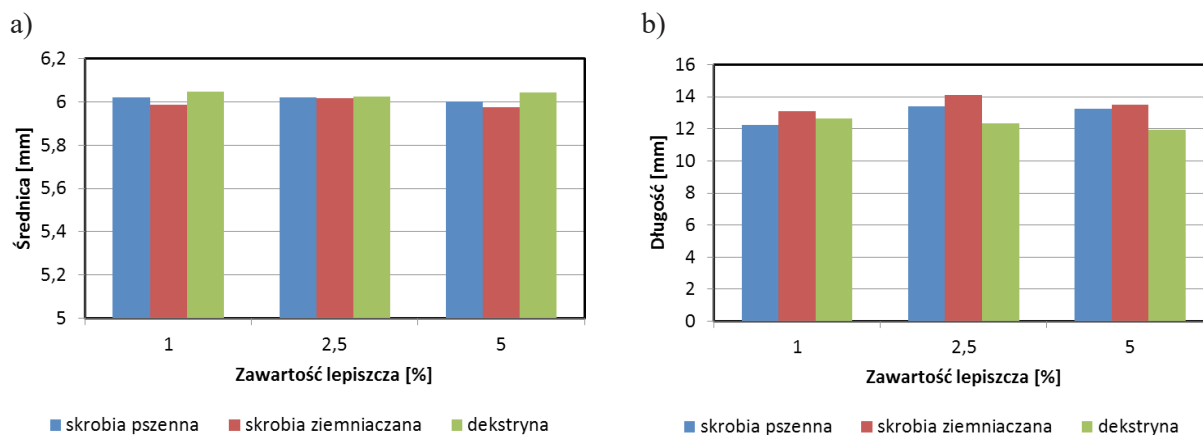
## OMÓWIENIE WYNIKÓW

Wyniki przeprowadzonych badań zostały zaprezentowane zbiorczo w tabeli 2 i 3 oraz na rysunkach 7–9. Średnica otrzymanych surowych peletów determinowana jest przez wielkość wykorzystanej w trakcie kompaktowania matrycy. Na końcową średnicę mogą wpływać również właściwości surowców (zawartość wilgoci, właściwości mechaniczne surowca, lepiszcze). Jak wynika z danych zaprezentowanych w tabeli 2. Średnica wytworzonych peletów kształtowała się na poziomie 5,98–6,05 mm, przy czym odchylenie standardowe średniej mieściło się w przedziale 0,05–0,13 mm. Przeprowadzona analiza wariancji wykazała, że przynajmniej jedna z badanych populacji posiada istotnie różną średnicę. Przeprowadzony test Levene'a wykazał brak jednorodności wariancji w badanych populacjach, zatem przeprowadzono test post-hoc Gamesa-Howella, który umożliwia zidentyfikowanie odstających

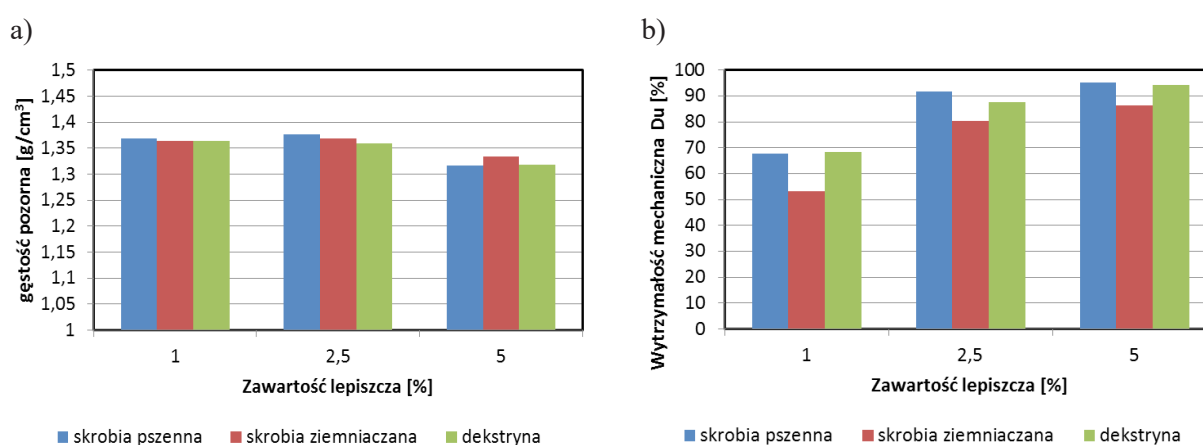
populacji. Przeprowadzony test Gamesa-Howella (poziom istotności  $\alpha = 0,05$ ) wykazał że jedynie średnica peletów wytworzonych z 5% dodatkiem niemodyfikowanej skrobi ziemniaczanej okazała się niższa (istotnie różna) od peletów wytworzonych z 1% i 5% dekstryny. Jest to jednak wynik mało istotny z praktycznego punktu widzenia. Mając to na uwadze, można uznać, że wytworzone pelety cechowały się zbliżoną średnicą.

Podobną tendencję zaobserwowano w przypadku długości uzyskiwanych peletów, która kształtowała się na poziomie 11,95–14,13 mm (odchylenie standardowe 1,91–2,83 mm) przy czym pelety o nieco większej długości (14,13mm) od pozostałych wytworzono przy użyciu jako lepiszcza skrobi ziemniaczanej (2,5%). Przeprowadzony test statystyczny post-hoc Gamesa-Howella (poziom istotności  $\alpha = 0,05$ ) wykazał że wspomniane pelety są dłuższe niż pelety wytworzone z dodatkiem 1% modyfikowanej skrobi pszennej oraz peletów wytworzonych z dodatkiem dekstryny. Najkrótsze pelety otrzymano dla 5% udziału dekstryny. Ich długość wynosiła 11,95 mm. Generalnie, należy uznać że wytworzone pelety cechowały się dość jednorodnymi wymiarami niezależnie od stosowanego lepiszcza.

Gęstość pozorna wytworzonych peletów kształtowała się na poziomie 1,316–1,369 g/cm<sup>3</sup> (rys. 8). Niezależnie od zastosowanego środka wiążącego, dla 5% udziału odnotowano niewielki jej spadek spowodowany niższą gęstością dodatków wiążących, skutkującą niższą gęstością rzeczywistą peletów (tab. 2). Nie zaobserwowano istotnych różnic gęstości pozornej dla zawartości 1% i 2,5% lepiszcza, co może świadczyć o tym, że wyższy dodatek lepiszcza (5%) wpływa również na opory generowane na ściankach matrycy



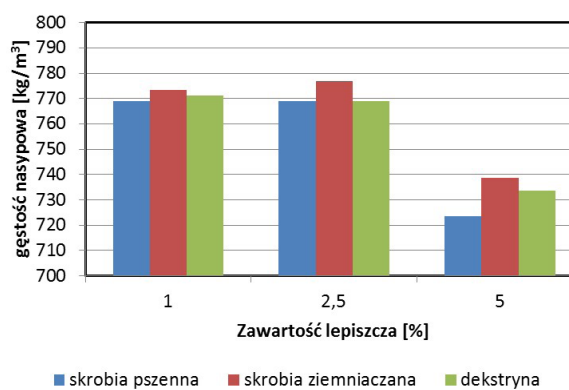
Rys. 7. Średnica (a) i długość (b) uzyskanych peletów  
Fig. 7. Diameter (a) and length (b) of the obtained pellets



Rys. 8. Gęstość pozorna (a) i wytrzymałość mechaniczna (b) uzyskanych peletów  
Fig. 8. Apparent density (a) and mechanical strength (b) of the obtained pellets

(niższe ciśnienie formowania), co w konsekwencji powoduje otrzymanie peletu o niższej gęstości.

Wzrost udziału dodatków wiążących z poziomu 1 do 5% skutkowało znaczącą poprawą wytrzymałości mechanicznej uzyskanych peletów. W przypadku dodatku modyfikowanej skrobi pszennej wytrzymałość mechaniczna określona wskaźnikiem  $D_u$  wzrosła z poziomu 67,8 do 95,2%, przy wytrzymałości powyżej 90% uzyskano już przy 2,5% dodatku. Podobne rezultaty odnotowano w przypadku dodatku dekstryny żółtej. Zwiększając jej udział w mieszance z poziomu 1 do 5% zaobserwowano poprawę wskaźnika  $D_u$  z 68,5 do 94,2%. Analogiczny przypadek miał miejsce dla peletów wytworzonych z dodatkiem skrobi ziemniaczanej, dla których odnotowano wzrost wytrzymałości mechanicznej z 53,1 do 86,4%. Należy zauważyć (rys. 8b) że największy przyrost ma miejsce podczas zwiększenia udziału lepiszcza z 1 do 2,5%. Zwiększenie udziału lepiszcza z 2,5



Rys. 9. Gęstość nasypowa uzyskanych peletów  
Fig. 9. Bulk density of the obtained pellets

do 5% powoduje wzrost wytrzymałości jedynie o kilka punktów procentowych. Niższy poziom wytrzymałości mechanicznej peletów wytworzonych z dodatkiem niemodyfikowanej skrobi ziemniaczanej spowodowany jest jej gorszymi właściwościami wiążącymi w stosunku do skro-

bi modyfikowanej. Skrobia niemodyfikowana wykazuje brak rozpuszczalności w zimnej wodzie, jednak warunki panujące podczas całego cyklu produkcji peletu (temperatura matrycy, suszenie) umożliwiły wytworzenie sił wiążących. Gęstość nasypowa otrzymanych peletów kształtowała się w zakresie ok. 720–780 kg/m<sup>3</sup> (rys. 9). Dla zawartości 1% i 2,5% lepiszcza niezależnie od jego rodzaju, gęstość nasypowa mieściła się w zakresie ok. 770–780 kg/m<sup>3</sup>. w przypadku 5% dodatku lepiszcza (każdego rodzaju) odnotowano spadek do poziomu ok. 720–740 kg/m<sup>3</sup>. Jest to spowodowane niższą gęstością pozorną peletów wytworzonych z zastosowaniem 5% dodatku lepiszcza.

## WNIOSKI

Celem prowadzonych badań było określenie możliwości wytworzenia wytrzymałych mechanicznie peletów z odpadowego pyłu antracytowego. Na podstawie przeprowadzonych badań można wysunąć następujące wnioski:

1. Wykorzystanie lepiszcza skrobiowego umożliwia wytworzenie peletów o wytrzymałości mechanicznej ok. 90%
2. Wzrost zawartości lepiszcza od 1% do 5% spowodował zwiększenie się wytrzymałości mechanicznej uzyskanych peletów.
3. Dla 5% zawartości modyfikowanej skrobi pszennej oraz modyfikowanej skrobi ziemniaczanej (dekstryny żółtej) uzyskano pelety o wytrzymałości mechanicznej pow. 90%.
4. Korzystny efekt odnotowano dla 2,5% zawartości lepiszcza. Wytworzone pelety cechują się dość wysoką wytrzymałością mechaniczną

oraz wyższą gęstością nasypową niż te wytworzone przy 5% udziale lepiszcza.

## LITERATURA

1. Benk A., Coban A., 2011. Molasses and air blown coal tar pitch binders for the production of metallurgical quality formed coke from anthracite fines or coke breeze, *Fuel Processing Technology*. 92, 1078–1086.
2. Borowski G., 2011. Wykorzystanie brykietowania do zagospodarowania odpadów. *Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin*, ss. 176.
3. Buravchuk N.I., Guryanova O.V., 2014. Production of Fuel Briquettes from Anthracite Fines. *Solid Fuel Chemistry*, 48, 260–264.
4. Emel'yanova E.S., Butorina I.V., 2011. Evaluating The Feasibility Of Recycling Steelmaking Dust In Cupolas, *Metallurgist*, 54, 9–10.
5. Lumadue M.R., Cannon F.S., Brown N.R., 2012. Lignin as both fuel and fusing binder in briquetted anthracite fines for foundry coke substitute. *Fuel*, 97, 869–875.
6. Nieto-Delgado C., Cannon F., Paulsen P., Furness J.C., Voigt R.C., Pagnotti J., 2014. Binded anthracite briquettes as fuel alternative to metallurgical coke: Full scale performance in cupola furnaces. *Fuel*, 121, 9–47.
7. Wandrasz J.W., Wandrasz A.J., 2006. Paliwa formowane – biopaliwa i paliwa z odpadów w procesach”, *Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. z o.o.*
8. Zhaoa Y., Zhanga Y., Zhangb H., Wang Q., Guoa Y., 2015. Structural characterization of carbonized briquette obtained from anthracite powder. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 112, 290–297.
9. <http://www.pelletmillsolution.com/faqs/dies-for-wood-pellet-making-machine.html>, dostęp: 25.04.2016.