

Wykorzystanie metod przetwarzania obrazów do opisu geometrii ziarn węgla w różnych klasach ziarnowych

MARTA SKIBA, MARIUSZ MŁYNARCZUK

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

Streszczenie

Kształt ziarn węgla uwzględniany jest między innymi przy opisie procesu uwalniania gazu zdeponowanego w materiale porowatym. Dostępne modele tego zjawiska zakładają kulistą symetrię ziarn. W rzeczywistości warunek ten jest trudny do spełnienia, ponieważ ziarna węgla reprezentujące poszczególne klasy ziarnowe posiadają najczęściej nieregularny kształt. Istnieje wiele technik umożliwiających wyznaczenie podstawowych współczynników opisujących kształt tych cząstek. Jedną z metod jest komputerowa analiza obrazu. W pracy, korzystając z technik analizy obrazu wyznaczono wybrane współczynniki kształtu ziarn węgla dla poszczególnych klas ziarnowych. W rezultacie badań zaobserwowano zależność pomiędzy rozmiarem ziarn węgla a parametrami opisującymi ich kształt. Badania wykazały, że większe ziarna posiadają kształt bardziej kulisty w porównaniu z ziarnami drobnymi, które na ogół są bardziej wydłużone.

Słowa kluczowe: komputerowa analiza obrazu, współczynnik kształtu, klasa ziarnowa, model uwalniania gazu

1. Wstęp

Powszechnie stosowaną metodą separacji substancji sypkich jest przesiewanie. Ten rodzaj klasyfikacji mechanicznej umożliwia rozdział materiału nadawy na produkty o określonym rozmiarze ziarna. Produkty separacji różnią się wielkością, stąd wprowadza się ich podział na klasy ziarnowe, czyli grupy ziarn o określonym zakresie wielkości (Drzymała, 2009). Ziarna z wydzielonych klas ziarnowych najczęściej posiadają nieregularny kształt. Istnieje wiele technik umożliwiających określenie ich wielkości oraz kształtu. Jedną z metod pomiarowych wielkości drobnych ziarn jest metoda licznika Coultera. Technika polega na pomiarze zmian oporności elektrolitu przepływającego przez kalibrowaną diafragmę (Peszko i Niedoba, 2009).

Najczęściej stosowanym narzędziem służącym do wyznaczenia parametrów opisujących kształt oraz wielkość ziarn jest komputerowa analiza obrazu. W przypadku obrazów uzyskanych metodami mikroskopowymi pojedyncze ziarno reprezentowane jest przez jego rzut dwuwymiarowy. Kształt cząstek scharakteryzować można w sposób opisowy lub matematyczny. Opisowa metoda cechuje się subiektywizmem oceny, dlatego najczęściej dokonuje się opisu kształtu ziarn w sposób liczbowy, za pomocą odpowiednich współczynników (Rakowska i in., 2012). Interpretacja wyników, otrzymanych metodami analizy obrazu uzależniona jest od dziedziny nauki, w której została zastosowana (Allen, 1992).

Kształt ziarn uzależniony jest od zastosowanej metody rozdrabniania. Zagadnienie to zostało poruszone w pracy Ulusoy i Igathinathane (2014), gdzie za pomocą metod analizy obrazu 3D porównano kształt ziarn węgla kamiennego oraz brunatnego, uzyskanych z wykorzystaniem dwóch rodzajów młynów. Kształt ziarn węgla uwzględniany jest także przy opisie procesu uwalniania gazu zdeponowanego w materiale porowatym. W literaturze dotyczącej tego procesu znaleźć można m. in. opisy modeli uniporowego i bidispersyjnego, które zakładają kulistą symetrię ziarn sorbentu (Xiaojun i in., 2004). W pracy podjęto próbę oceny kształtu ziarn w poszczególnych klasach ziarnowych oraz wyznaczenia klasy, która najlepiej opisywana jest przez dostępne modele uwalniania gazu.

2. Materiał oraz metodyka pomiarowa

Do badań pobrano pięć prób kawałkowych węgla kamiennego pochodzących z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Węgiel wykorzystany do badań pochodzi z następujących pokładów:

- KWK Zofiówka, pochylnia B-3, pokład 407/1, poziom 900 m (próbka P-1),
- KWK Budryk, pochylnia odstawcza D, pokład 358/1, poziom 1050 m (próbka P-2),
- KWK Pniówek, chodnik nadścianowy N-8a, pokład 404/1, poziom 1000 m (próbka P-3),
- KWK Brzeszcze, przodek 571, pokład 364, poziom 740-900 m (próbka P-4),
- KWK Brzeszcze, ściana 128a, pokład 401, poziom 740-900 m (próbka P-5).

Po dostarczeniu próbek do laboratorium IMG PAN, rozdrobniono materiał za pomocą kruszarki szczękowej. Kolejnym etapem było mielenie w młynku dwubębnowym o rozstawie 2 mm. Otrzymany materiał przesiano na sitach, wydzielając 11 klas ziarnowych: 0,100-0,200 mm; 0,200-0,250 mm; 0,250-0,315 mm; 0,315-0,400 mm; 0,400-0,500 mm; 0,500-0,630 mm; 0,630-0,800 mm; 0,800-1,000 mm; 1,000-1,250 mm; 1,250-1,600 mm oraz 1,600-2,000 mm. Do dalszych analiz wybrano 5 z wyżej wymienionych klas: 0,200-0,250 mm; 0,315-0,400 mm; 0,500-0,630 mm; 0,800-1,000 mm oraz 1,250-1,600 mm.

Do badań wykorzystano mikroskop stereoskopowy Nikon SMZ 1500 (Rys. 1). Urządzenie to daje zakres powiększeń od $7.5\times$ do $112.5\times$ oraz umożliwia przestrzenne widzenie powiększanego obrazu. W badaniach wykorzystano go do obserwacji kształtu ziarn reprezentujących wybrane klasy ziarnowe oraz wykonania zdjęć wykorzystanych do analiz. Powiększenia dobierano tak, aby otrzymać zbliżoną wielkość cząstek dla wszystkich klas ziarnowych. Jest to istotne ze względu na wrażliwość niektórych współczynników kształtu na zmianę powiększenia analizowanych figur (Tadeusiewicz i Korohoda, 1997). Powiększenia dobierano w sposób ręczny i wynosiły one, zaczynając od największej klasy ziarnowej: $7.5\times$, $11.9\times$ (klasa ziarnowa 0,800-1,000 mm), $18.9\times$ (klasa ziarnowa 0,500-0,630 mm), $29.85\times$ (klasa ziarnowa 0,315-0,400 mm) oraz $47.5\times$ dla najdrobniejszych ziarn.



Rys. 1. Mikroskop stereoskopowy Nikon SMZ 1500

W obrębie każdej klasy ziarnowej wykonano zdjęcia ok. 200 ziarn. Przykładowe zdjęcia ziarn węgla zaprezentowano na rysunku 2. Następnie, za pomocą programu Aphelion zdjęcia te poddano odpowiednim przekształceniom, które doprowadziły do ich segmentacji a w konsekwencji do wyznaczenia podstawowych parametrów opisujących wielkość oraz kształt cząstek (Wojnar i Majorek, 1994; Tadeusiewicz i Korohoda, 1997; Sierra, 1982).

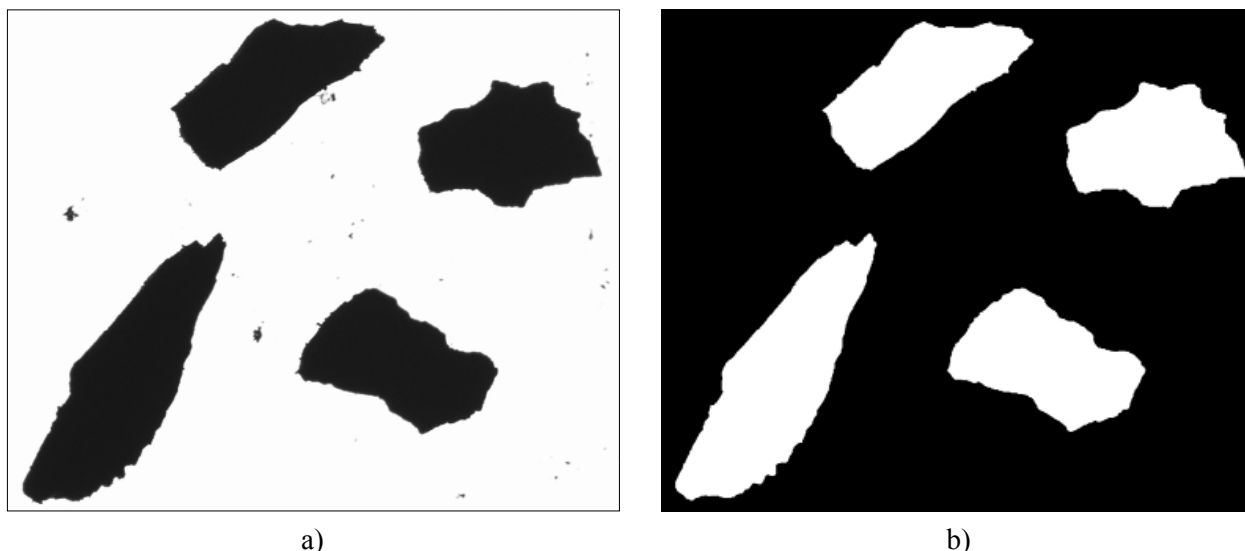
Dla pięciu wybranych klas ziarnowych wyznaczono współczynniki kształtu, których interpretację przedstawiono w tabeli 1 (Tadeusiewicz i Korohoda, 1997).

Tab. 1. Wybrane współczynniki kształtu

Współczynnik kształtu	Opis	Wzór
Współczynnik kolistości (R_C)	Przyjmuje maksymalną wartość równą 1 dla obiektów okrągłych.	$\frac{4\pi S}{L^2}$
Wydłużenie (R_E)	Przyjmuje wartość 0 dla koła i zbliża się do 1 dla elips długich oraz cienkich obiektów.	$\frac{a_1 - b_1}{a_1 + b_1}$
Współczynnik wyznaczony ze średnic Fereta (R_F)	Informuje o wydłużeniu obiektów. Przyjmuje wartość 1 dla obiektów okrągłych i zbliża się do 0 dla długich oraz cienkich obiektów.	$\frac{F_{\min}}{F_{\max}}$

gdzie:

- S – pole powierzchni obiektu,
- L – długość obwodu obiektu,



Rys. 2. Przykład zdjęcia poddanego analizie – klasa ziarnowa 0,20-0,25 mm, próbka P-2
(a – zdjęcie z mikroskopu stereoskopowego, powiększenie 47,5×; b – obraz po filtracji)

- a_1 – długość dłuższej osi elipsy opisanej na obiekcie,
 b_1 – długość krótszej osi elipsy opisanej na obiekcie,
 F_{\min} – minimalna średnica Fereta (minimalna odległość między dwiema równoległymi prostymi, st stycznymi do dwóch przeciwległych stron obrazu cząstki),
 F_{\max} – maksymalna średnica Fereta (maksymalna odległość między dwiema równoległymi prostymi, stycznymi do dwóch przeciwległych stron obrazu cząstki).

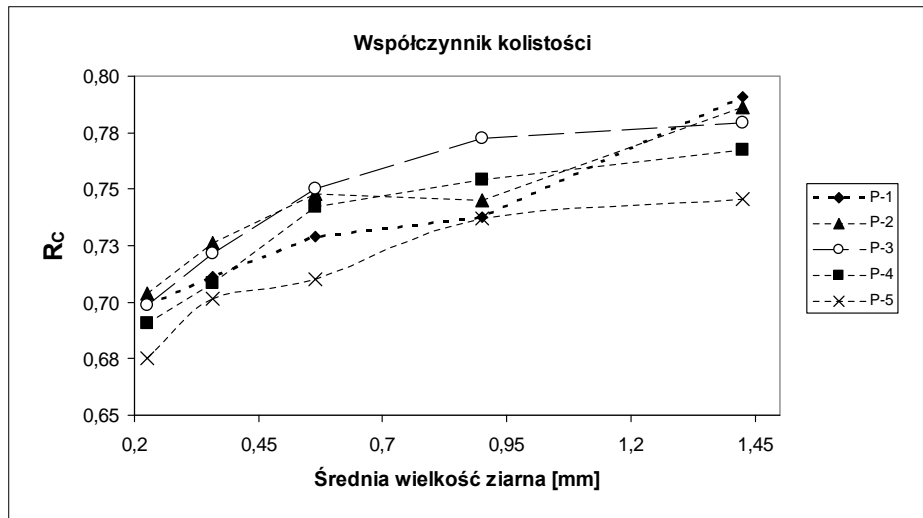
3. Wyniki przeprowadzonych analiz

W programie Aphelion stworzono skrypt umożliwiający automatyczną analizę obrazów oraz wyznaczenie parametrów charakteryzujących daną klasę ziarnową. Zdjęcia poddano kolejno filtracji morfologicznej (otwarciu), binaryzacji oraz wyznaczono opisane w tabeli 1 współczynniki kształtu. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 2.

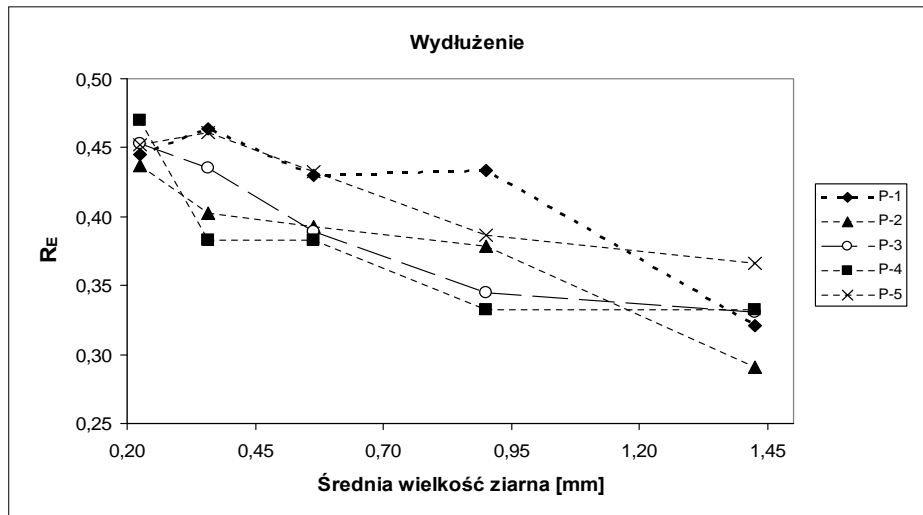
Tab. 2. Średnie wartości wybranych współczynników kształtu dla poszczególnych próbek węgla i klas ziarnowych

Współczynnik kształtu	Próbka	Klasa ziarnowa [mm]				
		0,20÷0,25	0,315÷0,400	0,50÷0,63	0,80÷1,00	1,25÷1,60
R_C	P-1	0,699	0,711	0,729	0,738	0,791
	P-2	0,704	0,726	0,748	0,745	0,786
	P-3	0,699	0,721	0,750	0,772	0,779
	P-4	0,691	0,708	0,742	0,754	0,768
	P-5	0,675	0,702	0,710	0,737	0,746
R_E	P-1	0,445	0,463	0,430	0,433	0,321
	P-2	0,437	0,403	0,393	0,378	0,291
	P-3	0,453	0,435	0,389	0,345	0,331
	P-4	0,470	0,383	0,383	0,332	0,332
	P-5	0,452	0,461	0,433	0,387	0,367
R_F	P-1	0,64	0,62	0,65	0,65	0,75
	P-2	0,65	0,68	0,69	0,70	0,78
	P-3	0,64	0,66	0,71	0,74	0,75
	P-4	0,62	0,69	0,70	0,74	0,75
	P-5	0,61	0,63	0,65	0,70	0,71

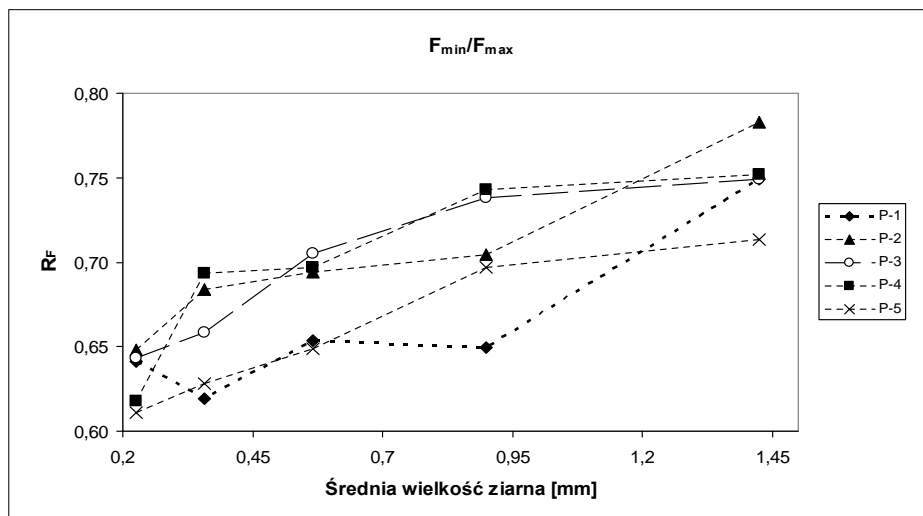
Wykresy obrazujące zmiany wyznaczonych parametrów wraz ze wzrostem średniej wielkości ziarn węgla w poszczególnych klasach ziarnowych przedstawiono na rysunkach 3-5.



Rys. 3. Zmiana współczynnika kolistości ziarn ze wzrostem średniej wielkości ziarn w poszczególnych klasach ziarnowych



Rys. 4. Zmiana wydłużenia ziarn ze wzrostem średniej wielkości ziarn w poszczególnych klasach ziarnowych



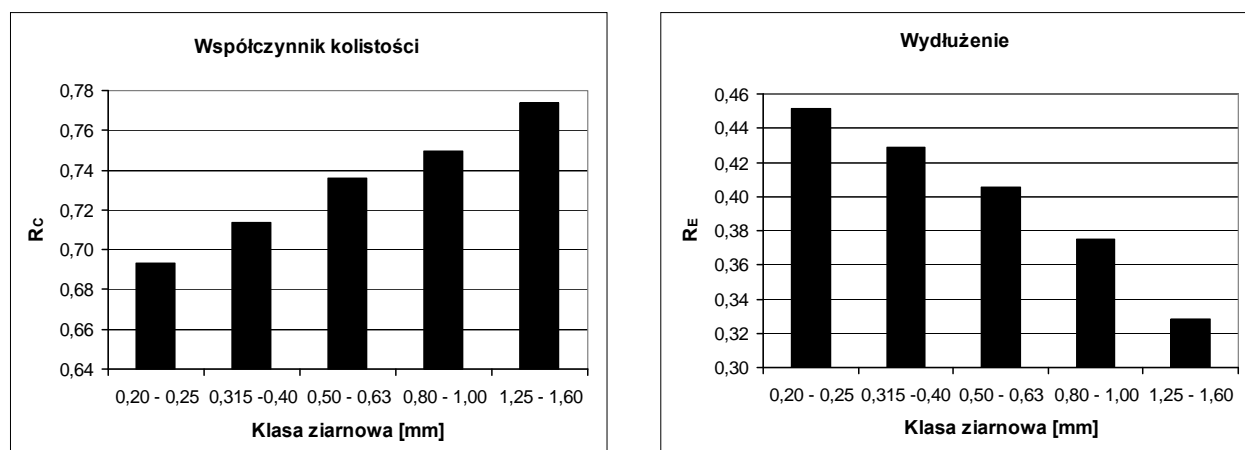
Rys. 5. Zmiana współczynnika wyznaczonego ze średnic Fereta ze wzrostem średniej wielkości ziarn w poszczególnych klasach ziarnowych

Analizując otrzymane współczynniki kształtu można zauważyć, że w obrębie tej samej klasy ziarnowej dla poszczególnych próbek węgla otrzymano zbliżone wartości współczynnika kolistości. Zaobserwowano także zależność pomiędzy wyznaczonymi parametrami kształtu a wielkością ziarn węgla. Wraz ze wzrostem klasy ziarnowej otrzymano wyższe wartości współczynnika kolistości (średni wzrost parametru w stosunku do najdrobniejszej klasy ziarnowej wyniósł ok. 12%) oraz współczynnika wyznaczonego na podstawie średnic Fereta (Rys. 3 i 5). Odwrotną zależność zaobserwowano natomiast dla parametru wydłużenia, którego wartość w większości analizowanych próbek malała ze wzrostem wielkości ziarn.

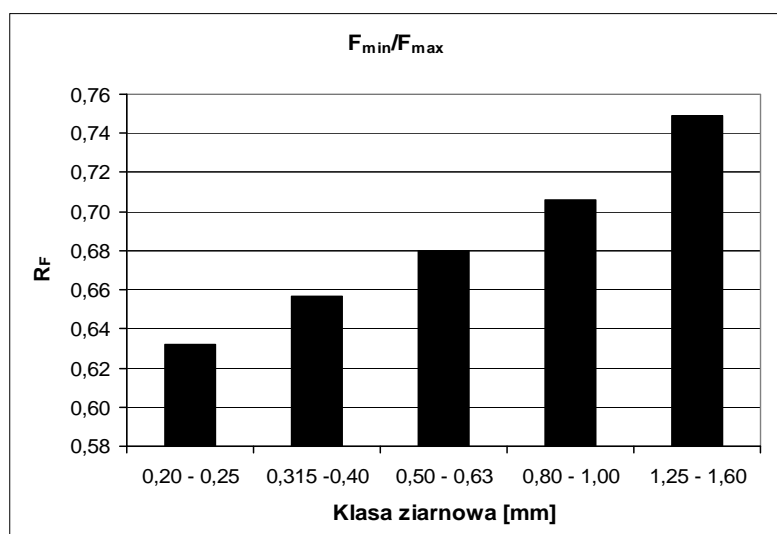
Największą zmiennością cechuje się współczynnik wydłużenia (patrz Rys. 4). Średnia zmienność tego parametru wynosi ok. 27%. Wyznaczone parametry opisujące kształt ziarn węgla wskazują, że najdrobniejsze ziarna cechują się większym wydłużeniem, natomiast największe posiadają kształt najbardziej zbliżony do kształtu regularnego (kuli).

Wykonano także wykresy dla średnich wartości współczynników kształtu w danej klasie ziarnowej, otrzymanych dla pięciu próbek węgla (Rys. 6, 7).

Wykresy otrzymane dla średnich wartości współczynników kształtu potwierdzają wcześniejsze spostrzeżenia. Ze wzrostem klasy ziarnowej zaobserwowano wzrost wartości współczynnika kolistości oraz współczynnika wyznaczonego ze średnic Fereta, natomiast spadek wydłużenia analizowanych cząstek. Sugeruje to, że większe ziarna są mniej wydłużone i posiadają bardziej regularny kształt w porównaniu do ziarn reprezentujących mniejsze klasy ziarnowe.



Rys. 6. Zmiana średniego współczynnika kolistości oraz wydłużenia ziarn ze wzrostem klasy ziarnowej



Rys. 7. Zmiana średniego współczynnika wyznaczonego ze średnic Fereta ze wzrostem klasy ziarnowej

4. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania wskazują, że istnieje zależność pomiędzy rozmiarem ziarn węgla a parametrami opisującymi ich kształt. Większe ziarna posiadają kształt bardziej kulisty w porównaniu do ziarn drobnych. Z tego względu większe cząstki powinny być lepiej opisywane przez modele dyfuzji gazów zakładające kuliściec ziarn.

Analiza wybranych współczynników kształtu wskazuje ponadto, że największą zmiennością charakteryzuje się parametr opisujący wydłużenie ziarn oraz współczynnik wyznaczony ze średnic Fereta. Najmniejszym zakresem zmienności cechuje się natomiast współczynnik kuliścieci. Spostrzeżenia te mogą być pomocne w analizie obrazów ziarn węgla, gdzie właściwy dobór parametrów opisujących badane cząstki jest niezbędny do prawidłowego różnicowania figur o różnych kształtach.

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

Literatura

- Allen T., 1992: *Particle Size Measurement*. Chapman & Hall.
- Drzymała J., 2009: *Podstawy mineralurgii*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Peszko B., Niedoba T., 2009: *Wpływ kształtu ziaren na łączny rozkład ich wielkości wyznaczony metodą licznika Coultera*. *Górnictwo i Geoinżynieria* 33, z. 4.
- Rakowska J., Radwan K., Ślosorz Z., 2012: *Problemy oceny wielkości i kształtu ziaren materiałów sypkich*. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza* 3, s. 59-64.
- Serra J., 1982: *Image Analysis and Mathematical Morphology*. Academic Press.
- Tadeusiewicz R., Korohoda P., 1997: *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*. Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków.
- Ulusoy U., Iğathinathane C., 2014: *Dynamic image based shape analysis of hard and lignite coal particles ground by laboratory ball and gyro mills*. *Fuel Processing Technology* 126, 350-358.
- Wojnar L., Majorek M., 1994: *Komputerowa analiza obrazu*. Computer Scanning Systems Sp.z o.o., Warszawa.
- Xiaojun C., Chikatamarala L., Bustin R. M., 2004: *Implications of volumetric swelling/shrinkage of coal in sequestration of acid gases*, International Coal bed methane symposium, paper No. 435, Tuscaloosa, Alabama USA, 22 p.

Application of the image analysis methods to descriptions of coal grain geometry for various grain sizes

Abstract

The shape of coal grains is taken into account, inter alia, in descriptions of the release of gas deposited in porous materials. Available models assume the spherical symmetry of grains. Actually, this requirement is difficult to satisfy as the coal grains belong to various size categories and are mostly irregular in shape. There are several techniques to determine the basic coefficients describing the shape of coal grains, including the computer assisted image analysis. In this study the image analysis methods were recalled to determine selected shape coefficients in various grain size categories. The relationship was established between the grain size and their shape parameters. Tests reveal that coarser grains tend to be more oval in shape than finer ones, which are typically oblong.

Keywords: computer -assisted image processing, shape factor, grain size category, gas release model