

Joanna KOMOREK, Ewa KRZESZOWSKA, Rafał MORGA
Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Instytut Geologii Stosowanej
44-100 Gliwice, ul. Akademicka 2

ZASTOSOWANIE CYFROWEJ ANALIZY OBRAZU DO USTALANIA SKŁADU PETROGRAFICZNEGO WĘGLA

Streszczenie. Cyfrowa analiza obrazu może być użytecznym narzędziem do oceny składu petrograficznego węgla. Dokładna ocena składu petrograficznego jest możliwa przy zastosowaniu pola pomiarowego o wymiarach $2 \times 2 \mu\text{m}$, na podstawie zbiorczych histogramów poziomów szarości, histogramów liptynitów i kolotelinitów oraz krzywych kumulacyjnych. Metoda oznaczania zawartości liptynitów i witrynitów w próbkach, których zbiorcze histogramy poziomów szarości charakteryzują się brakiem wyraźnie zaznaczającego się pola liptynitowego, wymaga dalszych badań.

USE OF DIGITAL IMAGE ANALYSIS FOR DETERMINATION OF PETROGRAPHIC COMPOSITION OF COAL

Summary. The digital picture analysis can be a useful tool for evaluation of petrographic composition of coal. Precise estimation of petrographic composition can be obtained by analysis performed with the use of the measurement area, sizes of which are $2 \times 2 \mu\text{m}$, on the basis of cumulative grey-level histogram, cumulative curve and grey-level histograms for liptinite and collotelinite. Estimation of liptinite content for the samples, cumulative histograms of which are not characterised by distinct liptinite area, require further examination.

Wstęp

Celem pracy było określenie możliwości oceny składu maceralnego węgla za pomocą cyfrowego analizatora obrazu. Standardowa analiza składu maceralnego, stosowana w laboratoriach petrograficznych wg zaleceń ICCP i standardów ISO, oparta głównie na cechach morfologicznych i barwie, w niektórych przypadkach uniemożliwia jednoznaczną klasyfikację macerałów, zwłaszcza z pogranicza witrynitów i inertynitów. Powoduje to, dla niektórych typów węgla, znaczne zróżnicowanie wyników analizy wykonywanej przez kilku badaczy [2].

Opracowanie metody, opartej na cyfrowej analizie obrazu, pozwoliło, by dokładnie określać udział poszczególnych grup macerałów w węglu, co ma zasadnicze znaczenie dla oceny jego przydatności do różnych procesów przetwórczych, w tym przede wszystkim do produkcji koksu. Nowoczesne instrumenty, pozwalające uzyskać obraz o dużej rozdzielczości i jednocześnie wyróżnić nawet 256 odcieni szarości, mogą być pomocnymi narzędziami, umożliwiającymi obiektywne rozróżnienie podobnych pod względem morfologii i barwy składników petrograficznych węgla. Jak wykazano, czas wykonania badań petrograficznych za pomocą analizatora obrazu jest krótszy niż metodami tradycyjnymi, a ich wiarygodność i precyzja większe [1]. Stosowne programy komputerowe pozwalają na statystyczną obróbkę danych, uzyskanych za pośrednictwem analizatora obrazu, w tym m.in. konstrukcję histogramów poziomów szarości ("grey-level histograms") [3].

Dobór próbek i metodyka badań

Do badań wykorzystano 8 bruzdowych próbek węgla kamiennego. Zostały one pobrane w różnych rejonach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i reprezentują różne ogniwa litostratygraficzne górnego karbonu. Z próbek bruzdowych, standardową metodą (ISO) sporządzono brykiety do badań w świetle odbitym. Na każdym z brykietów zmierzono średnią zdolność odbicia światła R_r , w celu ustalenia stopnia uwęglenia, oraz wykonano analizę składu maceralnego, zgodnie z normami ISO i PN.

Następnie dla każdej z próbek, za pomocą cyfrowego analizatora KS-300 firmy Zeiss, przeprowadzono, według poniższej procedury, analizę obrazu. Zgodnie z wymogami standardowej analizy dla każdej z próbek wybierano około 500 pól pomiarowych. W pierwszym etapie pole pomiarowe miało maksymalne możliwe wymiary - 127x170 μ m. Dla każdego z pól pomiarowych rejestrowano histogram poziomów szarości. Następnie, metodą sumowania, utworzono zbiorczy histogram poziomów szarości – HPS („grey-level histogram”). W drugim etapie rozmiary pola pomiarowego zmniejszono do 2x2 μ m. W przypadku stwierdzenia w polu pomiarowym obecności duracrylu (żywicy wiążącej) pomiarów nie wykonywano. Poszczególne grupy macerałów, substancja mineralna oraz kolotelinit były dodatkowo rejestrowane osobno. Na tej podstawie wykonano zbiorcze histogramy poziomów szarości dla stanu bezmineralnego (mmf), a także sporządzono histogramy poziomów szarości dla poszczególnych grup macerałów, kolotelinitu i substancji mineralnej.

Wyniki

Badany węgiel charakteryzuje się refleksyjnością średnią (R_r) od 0.55 do 1.12% ($s_r=0.04 - 0.07\%$) (tab.1). Zawartość wityritu wynosi od 54 do 86% mmf. Udział inertynitu waha się między 8 a 39% mmf, a liptynitowi nie przekracza 11% mmf. Zawartość substancji mineralnej osiąga od mniej niż 1 do 14%.

Tabela 1

Średnia refleksyjność wityritu i skład petrograficzny węgla określony metodą standardową

Sample number	Seam	R_r [%]	s_r [%]	Petrographic composition determined by standard analysis [%]			
				Vt^{mmf}	I^{mmf}	L^{mmf}	MM
1	206	0.55	0.05	77	16	7	6
2	405	1.03	0.04	63	33	4	3
3	413	1.09	0.06	78	18	4	2
4	416	0.86	0.06	63	26	11	14
5	502	1.05	0.07	54	39	7	<1
6	504	0.99	0.06	62	32	6	5
7	610	1.03	0.06	86	8	6	4
8	833	1.12	0.05	69	29	2	6

Zbiorcze histogramy szarości sporządzone dla pola pomiarowego o rozmiarach $127 \times 170 \mu\text{m}$ w przypadku siedmiu próbek odznaczają się podobnym kształtem i dwoma maksimumami (rys.1). W każdym z histogramów można zaobserwować trzy wyraźnie zaznaczające się pola: liptynitowi z duracylem i substancją mineralną ($L+D+SM$), wityritowi (Vt) i inertynitowi (I). Ich rozmiary nie zawsze są proporcjonalne do zawartości poszczególnych grup macerałów w węglu (ustalonych za pomocą standardowej analizy petrograficznej), ponieważ wspólnie ze składnikami organicznymi rejestrowana jest substancja mineralna i duracyl (żywica wiążąca). Zbiorczy histogram poziomów szarości dla próbki 1 (rys.1A), reprezentującej węgiel o niskim stopniu uwęglenia charakteryzuje się jednym maksimum. W tej sytuacji nie ma żadnej możliwości, by wydzielić pola odpowiadające poszczególnym grupom macerałów. Dlatego też, w celu wyeliminowania duracylu i ograniczenia wpływu substancji mineralnej na kształt histogramów zbiorczych (także poprzez oddzielne zliczanie), rozmiary pola pomiarowego zmniejszono do $2 \times 2 \mu\text{m}$. Zabieg ten spowodował, że zbiorcze histogramy poziomów szarości dla stanu bezmineralnego w większym stopniu odzwierciedlają udział poszczególnych grup macerałów w węglu. Wykorzystując histogramy, wykonane dla poszczególnych grup macerałów, można na histogramach zbiorczych łatwo wskazać pola, odpowiadające liptynitowi, wityritowi i inertynitowi w przypadku sześciu

próbek (2-7) (rys.2B-G). Dla próbek 1 i 8, jednakże, trudno jest wydzielić pole liptynitowe (rys.2A,H).

Stwierdzono, że możliwe jest określenie składu petrograficznego węgla (dla stanu bezmineralnego) przy użyciu zbiorczych histogramów poziomów szarości (rozmiar pól pomiarowych $2 \times 2 \mu\text{m}$), histogramów grupy liptynitu i kolotelinitu (rys.3) oraz krzywych kumulacyjnych (rys.4) według metody wypracowanej empirycznie. W metodzie wykorzystano histogramy liptynitu i kolotelinitu jako składników, których identyfikacja obciążona jest najmniejszym błędem.

W pierwszej kolejności oblicza się zawartość inertynitu. W tym celu konieczne jest ustalenie średniego poziomu szarości (GL_{mct}) i odchylenia standardowego średniego poziomu szarości (S_{ct}) kolotelinitu (tab.2). Następnie dla poziomu szarości o wartości ($GL_{mct} + S_{ct}$) z krzywej kumulacyjnej odczytuje się odpowiadającą wartość (y_2) (rys.4). Po odjęciu jej od 100% otrzymuje się zawartość inertynitu (mmf). W podobny sposób oblicza się zawartość liptynitu. W tym przypadku niezbędna jest znajomość średniego poziomu szarości (GL_L) i połowy odchylenia standardowego średniego poziomu szarości ($1/2s_L$) liptynitu (tab.2). Wykorzystując krzywą kumulacyjną, można bezpośrednio określić zawartość liptynitu (mmf), odczytując udział procentowy (y_1) dla poziomu szarości $GL_L + 1/2s_L$. Zawartość witynitu oblicza się natomiast odejmując sumę udziałów wymienionych poprzednio grup macerałów od 100%.

Tabela 2

Skład petrograficzny węgla oszacowany na podstawie wyników cyfrowej analizy obrazu

Sample number	Seam	GL_{mct}	S_{ct}	GL_{mL}	s_L	Estimated petrographic composition [%]		
						Vt^{mmf}	I^{mmf}	L^{mmf}
1	206	123	4	116	9	57	23	20
2	405	140	5	122	13	61	31	8
3	413	129	4	111	5	73	22	5
4	416	134	4	113	9	64	24	12
5	502	137	4	113	5	51	42	7
6	504	136	4	113	3	63	30	7
7	610	139	4	113	6	82	12	6
8	833	149	4	143	4	51	32	17

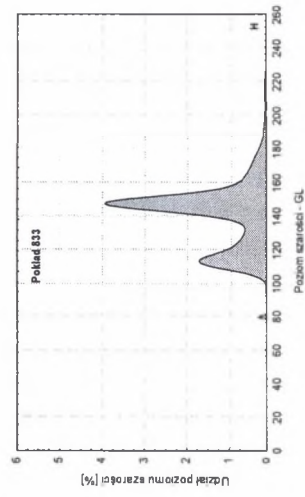
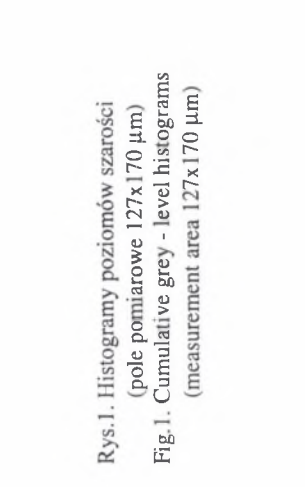
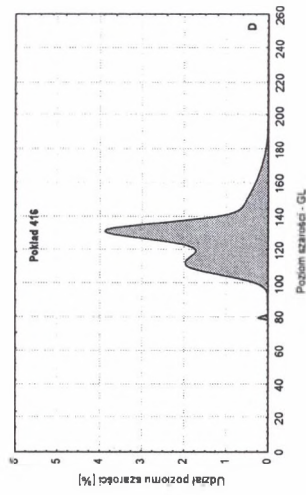
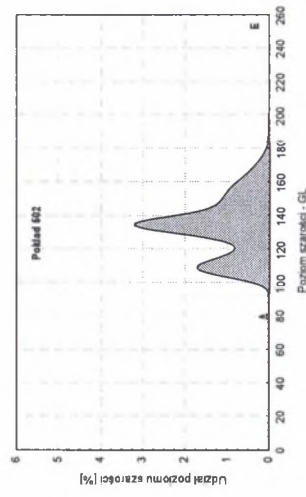
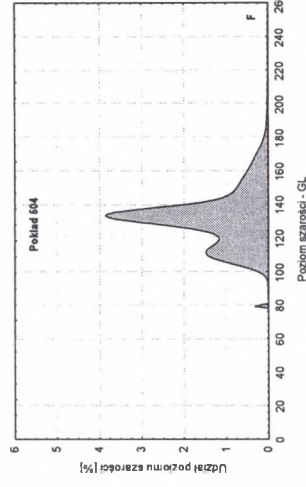
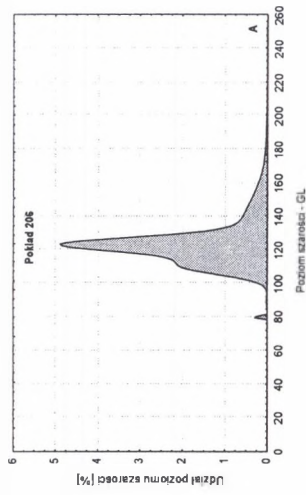
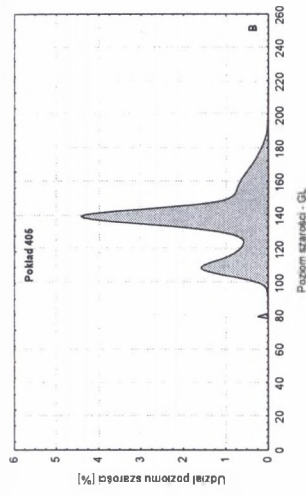
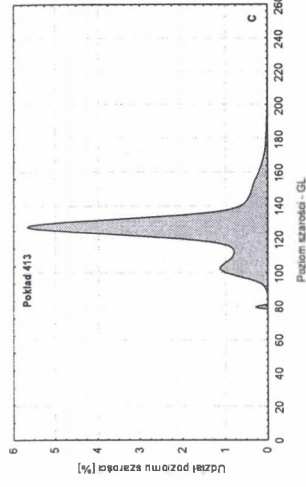
Objaśnienia:

GL_{mct} – średni poziom szarości kolotelinitu

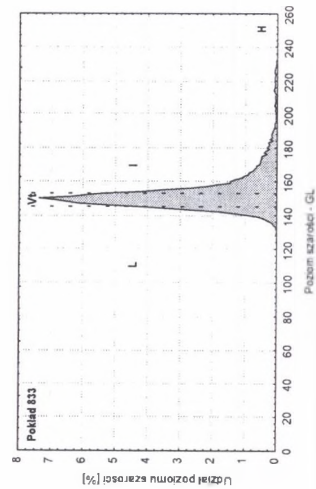
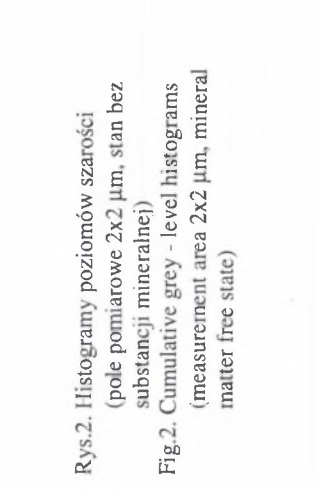
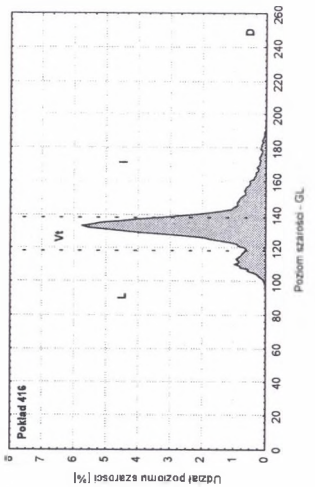
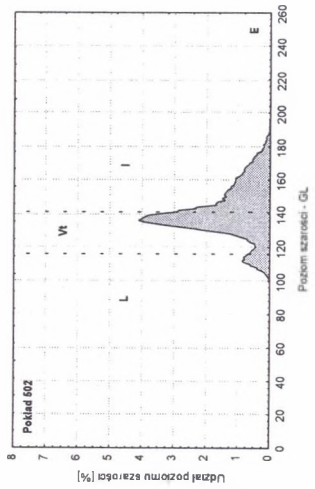
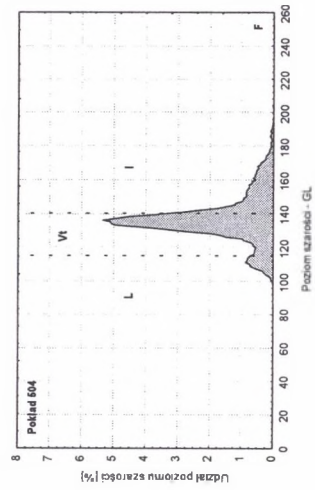
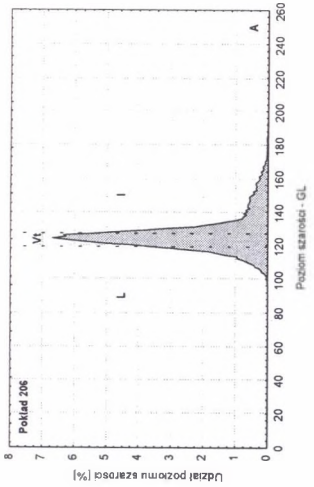
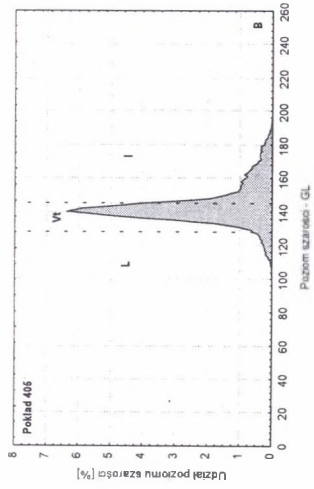
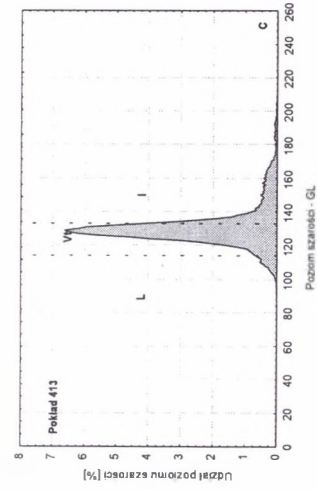
S_{ct} – odchylenie standardowe średniego poziomu szarości kolotelinitu

GL_{mL} – średni poziom szarości liptynitu

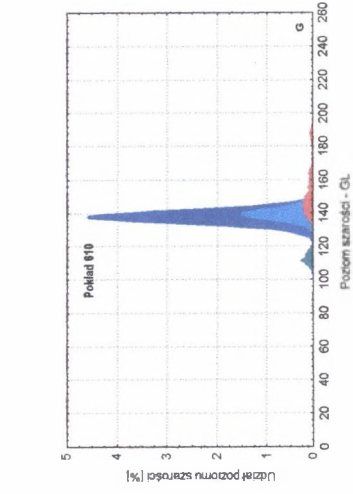
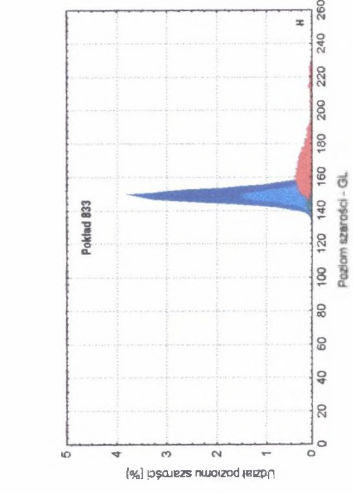
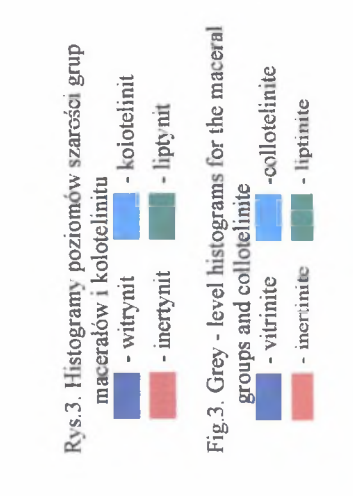
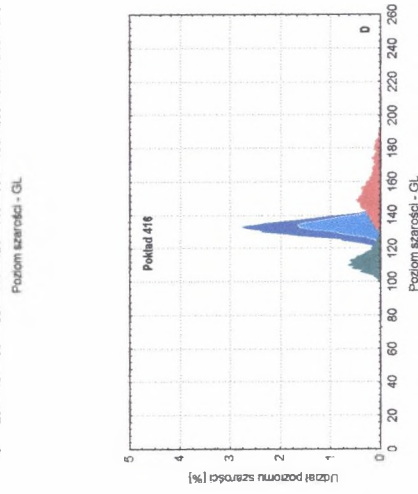
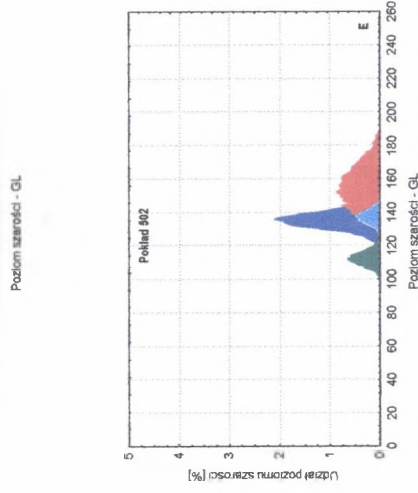
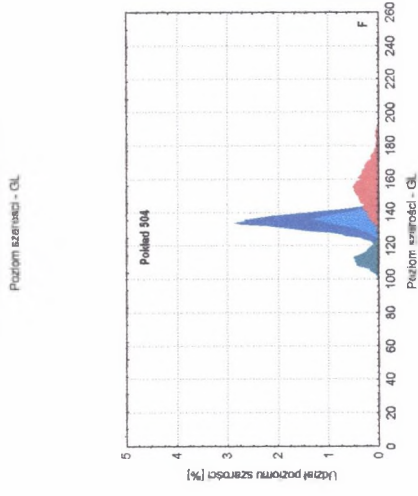
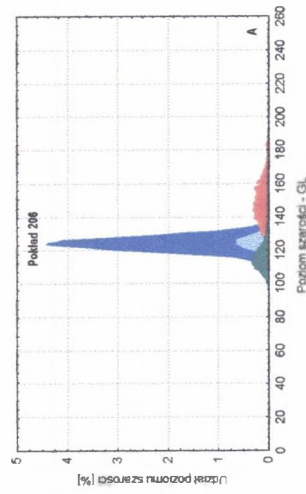
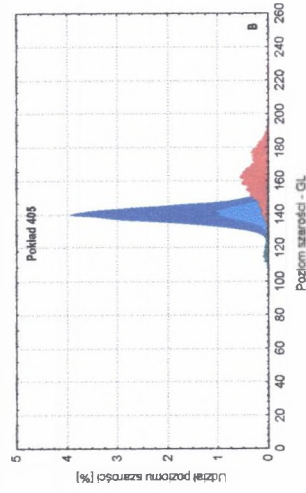
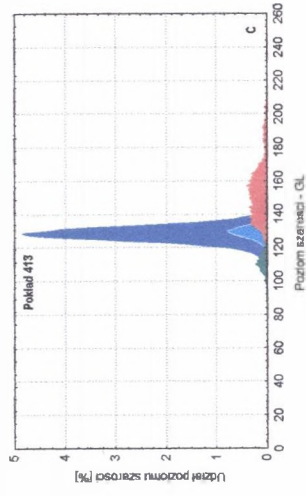
s_L – odchylenie standardowe średniego poziomu szarości liptynitu



Rys.1. Histogramy poziomych szerokości
 (pole pomiarowe 127x170 μm)
 Fig.1. Cumulative grey - level histograms
 (measurement area 127x170 μm)



Rys.2. Histogramy poziomów szarości (pole pomiarowe 2x2 μm, stan bez substancji mineralnej)
 Fig.2. Cumulative grey - level histograms (measurement area 2x2 μm, mineral matter free state)

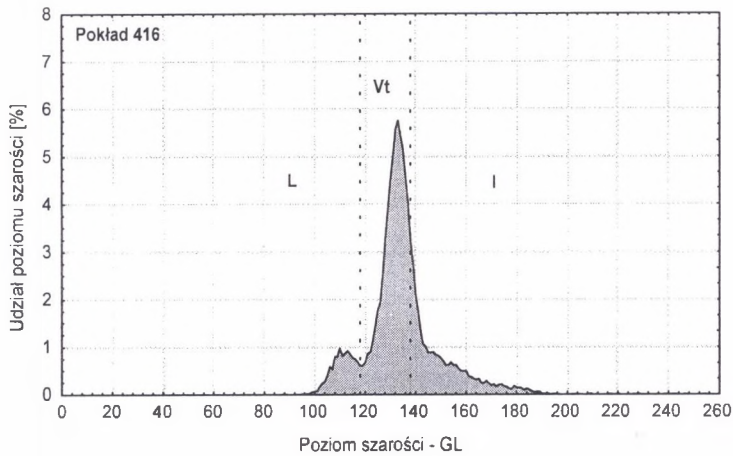
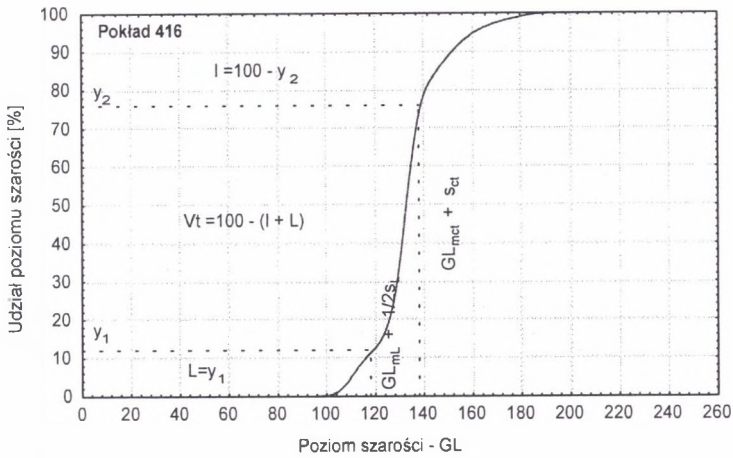


Rys.3. Histogramy poziomów szerokości grup

- maceratów i kolotelinitu
- wityrynit
 - kolotelinit
 - inertynit
 - liptynit
- groups and coltelinite
- vitrinite
 - coltelinite
 - inertinite
 - liptinite

Fig.3. Grey - level histograms for the maceral

- groups and coltelinite
- vitrinite
 - coltelinite
 - inertinite
 - liptinite



Rys.4. Oszacowanie składu petrograficznego węgla (w stanie bezmineralnym) przy zastosowaniu krzywej kumulacyjnej, na przykładzie próbki z pokładu 416

Fig.4. Estimation of the petrographic composition of coal (in mineral matter free state), with the use of the cumulating curve, for the sample from Seam 416 (example)

Porównanie przeprowadzonej tym sposobem oceny składu petrograficznego z rezultatami analizy, wykonanej w sposób standardowy, pokazało, że zaproponowana procedura obliczeniowa może zapewnić satysfakcjonującą dokładność, co można stwierdzić w przypadku próbek 2-7 (tab.1,2). Metoda ta zawodzi jednak, gdy w zbiorczym histogramie poziomów szarości niemożliwe jest wydzielenie pola liptynitowego (próbki 1 i 7). W takiej sytuacji możliwe jest jedynie obliczenie zawartości inertynitu. Powodem tej komplikacji jest występowanie tzw. ciemnego witrynu lub substancji mineralnej i bituminów, zawartych w części sporynitu (próbka 1) lub podobieństwo poziomów szarości liptynitu i witrynu, wynikające ze stopnia uwęglenia (próbka 8). Z tych względów histogramy poziomów szarości liptynitu i witrynu w znaczącym stopniu zachodzą na siebie, a odchylenie standardowe średniego poziomu szarości liptynitu ulega zawyżeniu, co wpływa na dokładność obliczeń. Biorąc te właśnie względy pod uwagę, zdecydowano się uwzględnić w proponowanej metodzie średni poziom szarości liptynitu powiększony jedynie o połowę wartości odchylenia standardowego ($GL_L + 1/2s_L$).

Dodatkową zaletą opisaney procedury jest możliwość jednoczesnego uzyskania informacji o stopniu uwęglenia, wyrażonym za pomocą średniego poziomu szarości kolotelinitu (GL_{met}) wraz z wartością odchylenia standardowego.

Wnioski

Wyniki badań pozwoliły wyciągnąć następujące wnioski:

1. cyfrowa analiza obrazu może być użytecznym narzędziem obiektywnej oceny składu petrograficznego węgla,
2. dokładna ocena składu petrograficznego jest możliwa przy zastosowaniu pola pomiarowego o wymiarach $2 \times 2 \mu\text{m}$, na podstawie zbiorczych histogramów poziomów szarości, histogramów liptynitu i kolotelinitu oraz krzywych kumulacyjnych,
3. metoda oznaczania zawartości liptynitu i witrynu w próbkach, których zbiorcze histogramy poziomów szarości charakteryzują się brakiem wyraźnie zaznaczającego się pola liptynitowego, wymaga dalszych badań.

LITERATURA

1. Galbiatti L.J.J.: Machine vision and digital image processing fundamentals. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1990.
2. Kruszewska K., Róg L.: Sprawozdanie z pierwszego ćwiczenia międzylaboratoryjnego uczestników sekcji petrologii węgla P.T.G., 1998.
3. Taylor G.H., Teichmüller M, Davis A., Diessel C.F.K., Littke R., Robert P.: Organic Petrology. Gebrüder Borntraeger. Berlin, Stuttgart 1998.

Praca jest finansowana z funduszy Komitetu Badań Naukowych, grant nr 9 T12B 047 19.

Recenzent: Prof. dr hab.inż. Barbara Kwiecińska

Abstract

The aim of the work was to determine possibilities of evaluating maceral composition of coal with the use of digital image analyser. For examination 8 channel samples of bituminous coal were used. They were collected from selected mining areas of the Upper Silesian Coal Basin and represent different stratigraphical units of the Upper Carboniferous. In each case, according to ISO standards, polished grain mounts were prepared, and random reflectance of vitrinite (R_v) and petrographic composition were determined. Then, with the use of the digital analyser KS-300 and according to the following procedure, image analysis was performed. Similarly as in a standard maceral analysis, ca. 500 measurement areas were chosen on the surface of each of the samples. In step I the size of an individual measurement area was $127 \times 170 \mu\text{m}$ (the maximum possible size). For each of the areas grey-level histogram was recorded and, by summing, cumulative grey-level histogram for each of the samples was made. In step II the size of a measurement area was diminished to $2 \times 2 \mu\text{m}$. In this case measurements were not carried out when the binder (duracryl) was ascertained. Maceral groups, mineral matter and collotelinite were also recorded separately. On that basis cumulative grey-level histogram for mineral matter free state, cumulative curve for mineral matter free state, as well as grey-level histograms for maceral groups, collotelinite and mineral matter for each of the samples were prepared.

It was ascertained that it is possible to estimate the petrographic composition (in mineral matter free state), using cumulative grey-level histograms (measurement area $2 \times 2 \mu\text{m}$), grey-level histograms prepared for liptinite and collotelinite, and cumulative curves. Inertinite content is calculated first. The necessary values, which have to be known, are the mean grey level (GL_{mct}) and the standard deviation of the mean grey level (s_{ct}) of collotelinite. Next, for the grey level $GL_{mct} + s_{ct}$ the corresponding value from the vertical axis of a cumulative curve cross-plot is to be read. If subtract it from 100%, the estimation of inertinite content in coal is obtained. Similarly liptinite value is estimated. In this case, however, mean grey level (GL_L) and the half of the standard deviation of mean grey level of liptinite ($1/2s_L$) have to be found. Then, using the cumulative curve we can directly read the liptinite content for the grey level $GL_L + 1/2s_L$. Vitrinite content is calculated by subtracting the inertinite+liptinite content from 100%. Comparison of the estimation of petrographic composition with the results of standard petrographic analysis shows, that such a procedure can assure statistically satisfying accuracy. The method fails when the liptinite area in the cumulative grey-level histograms is indistinguishable. It is possible to estimate the inertinite content then. Additional advantage of the method is that at the same time we get the information about the rank of coal (mean grey level of collotelinite – GL_{mct}) with the standard deviation data.