

CHARAKTERYSTYKA WĘGLA KAMIENNEGO Z POKŁADU 510 W ZŁOŻU „BRZESZCZE” NA TLE KLASYFIKACJI MIĘDZYNARODOWYCH

POSITION OF BITUMINOUS COAL BASED ON COAL INTERNATIONAL CLASSIFICATIONS – COAL SEAM 510, “BRZESZCZE” DEPOSIT

Szymon Jamróży, Patrycja Wyrobek, Barbara Bielowicz, Angelika Musiał, Martyna Paszek -
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza

W artykule przedstawiono charakterystykę węgla kamiennego ze złoża „Brzeszcze”. Analiza statystyczna wykazała zróżnicowaną zmienność parametrów złożowych. W przypadku wartości opalowej, zawartości siarki całkowitej i gęstości przestrzennej jest ona mała (odpowiednio 5,96 %, 18,85% i 3,99%). Wilgoć całkowita wykazuje zmienność przeciętną – 22,86%, natomiast zawartość popiołu jest parametrem, który charakteryzuje się stosunkowo największą zmiennością, na poziomie 41,13%.

Zgodnie z założeniami dotyczącymi maksymalnego błędu interpolacji, można stwierdzić, iż kreślenie map izoliniowych za pomocą metody ID - inwertyse distance to a power ma uzasadnienie w przypadku każdego z parametrów. Na podstawie Międzynarodowej Klasyfikacji Węgla w Pokładzie określono typ węgla jako Ortho-bituminous coal) co w polskim odpowiedniku odpowiada węglom gazowo-płomiennym i gazowym. W Międzynarodowej Klasyfikacji Kodowej Węgla ECE węgiel z pokładu 510 ze złoża „Brzeszcze” można zaklasyfikować do grupy węgla energetycznych.

Słowa kluczowe: węgiel kamienny, parametry złożowe, analiza statystyczna, mapy izoliniowe, klasyfikacje węgla

The article presents characteristic of bituminous coal from “Brzeszcze” deposit (Upper Silesian Coal Basin in Poland). Statistical analysis showed diversity of deposit parameters. Variability of calorific value, sulphur content and ash content is small (properly 5,96%, 18,85% and 3,99% for each of them). Value of total moisture of coal shows average variability – 22,86%. The most variable parameter is ash content, which coefficient of variance is 41,13%.

According to assumptions about the maximum interpolate error making of contour maps by ID (inwertyse distance to a power) method is justified. Based on International Classification of Coal In-Seam Coals type of coal is classified as Ortho-bituminous coal. International Codification system for medium and high rank coals ECE coal from “Brzeszcze” deposit is in the group of energy coals.

Keywords: bituminous coal, deposit parameters, statistical analysis, contour maps, classifications of bituminous coal

Wprowadzenie

Charakterystyka parametrów złożowych (głównie jakościowych) ma bardzo duże znaczenie dla projektowania górnictwa oraz samego procesu eksploatacji. W przypadku złóż węgla kamiennego wartość opałowa, zawartość popiołu czy siarki bezwzględnie wpływają na jakość, typ oraz możliwości późniejszego wykorzystania tego surowca.

Dane na podstawie których wykonano badania pochodzą z opróbowania wyrobisk górnictwa w pokładzie 510. Jego eksploatacja prowadzona jest od 2001 roku. Cechuje się on bardzo silną zmiennością zalegania, średnia jego miąższość waha się w granicach od 3 do 5 metrów. W pokładzie 510 często spotykane są wkładki nieciągłych, cienkich warstw syderytów, zsyderytowanych ilowców i mułowców lub buł zbudowanych ze zbitych syderytów typu oolitycznego. Węgiel w obrębie tego pokładu należy do grupy węgla gazowych i gazowo-koksowych – typy 33 i 34 [3].

Metodyka

Analizę przeprowadzono w oparciu o dane podstawowe pochodzące z wyrobisk górnictwa w pokładzie 510. Zbiór danych składał się z 65 wyników analiz. Wykonano statystyczny opis parametrów złożowych takich jak wartość opałowa, zawartość popiołu i siarki całkowitej, wilgoci oraz gęstość przestrzenna. Obliczono następujące podstawowe miary statystyczne: średnia arytmetyczna, współczynnik zmienności, wyznaczono wartości minimalne i maksymalne. W ramach graficznej wizualizacji analizowanych danych wykonano histogramy, wykresy ramka-wąsy oraz mapy izoliniowe. Mikroskopowe badania petrograficzne wykonano w świetle odbitym zwykłym i fluorescencyjnym (niebieskim) przy pomocy mikroskopu Axioplan firmy Zeiss Opton. Pomiary współczynnika średniej refleksyjności wityritu wykonano przy pomocy reflektometru MPM-400 z procesorem MSP 20 firmy Zeiss-Opton, w warunkach standardowych tj., przy użyciu światła monochromatycznego

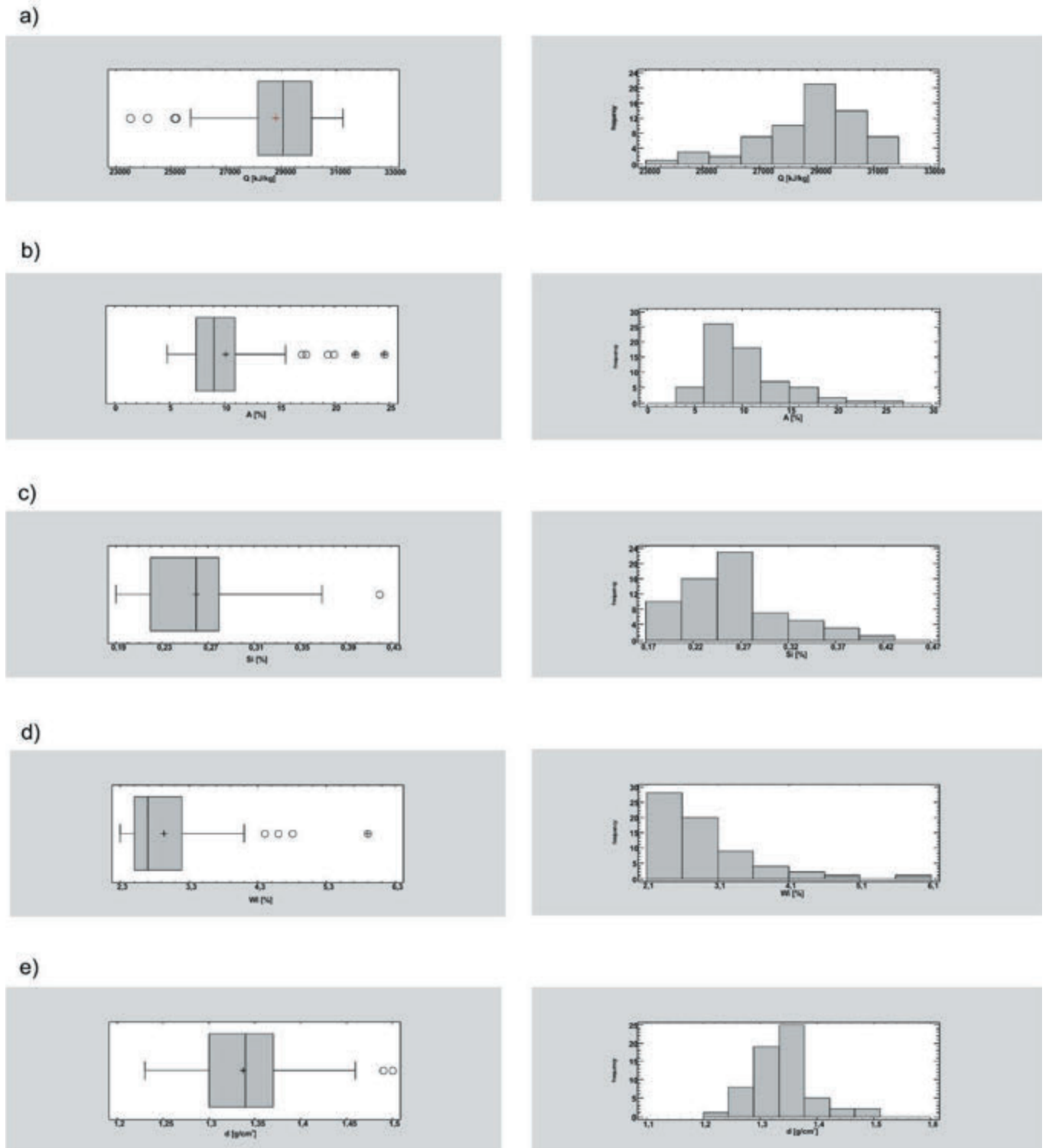
o długości fali 546 nm i w imersji olejowej o współczynniku $n=1,518$. Pomiaru średniej refleksyjności w węglu zostały wykonane na powierzchni kolotelinitu, przy maksymalnym odchyleniu standardowym średniej 0,06%.

Skład petrograficzny węgla oznaczono w zakresie grup macerałów zgodnie z zaleceniami ICCP. Badania ilościowe wykonano przy pomocy stolika integracyjnego. Analizę zawartości grup macerałów dokonano na wypolerowanej powierzchni zglądów ziarnowych w 500 punktach równomiernie rozmieszczonych na powierzchni zglądu.

Wyniki badań

Statystyczny opis zmienności parametrów złożowych wykonano dla wartości opałowej w stanie roboczym, zawartości popiołu i siarki w stanie roboczym, wilgoci całkowitej, a także gęstości przestrzennej. Analiza poszczególnych parametrów na wykresach ramka-wąsy wykazała występowanie wartości odstających oraz ekstremalnych (rys. 1).

Wartość opałowa w stanie roboczym oznaczona została w 65 próbach. Waha się w granicach od 23514 [kJ/kg] do



Rys. 1. Wykresy ramka-wąsy i histogramy dla parametrów złożowych
Fig. 1. Box and whisker plots and histograms for deposit parameters

31250 [kJ/kg], a jej średnia arytmetyczna wynosi 28808,1 [kJ/kg]. W omawianej populacji próbkowej występują cztery wartości odstające, a jej rozkład empiryczny jest rozkładem umiarkowanie lewostronnie asymetrycznym (rys. 1a). Parametr ten na podstawie klasyfikacji zmienności parametrów złożowych według Baryszewa [5] wykazuje małą zmienność (5,96%).

Kolejnym parametrem opisującym jakość węgla jest zawartość popiołu w stanie roboczym, która wynosi od 4,81 % do 24,52 %. Średnia zawartość popiołu dla pokładu 510 wynosi 10,1 % - co według Polskiej Normy PN-G-04512 oznacza klasę węgla o średniej czystości (10-20%). W zbiorze występują cztery wartości odstające oraz dwie wartości ekstremalne, a sam rozkład jest rozkładem dodatnio asymetrycznym o asymetrii umiarkowanej (rys. 1b). Zawartość popiołu charakteryzuje się największą (na poziomie około 40%) zmiennością spośród wszystkich analizowanych parametrów złożowych.

Pokład 510 w złożu Brzeszcze charakteryzuje się bardzo niską zawartością siarki całkowitej w stanie roboczym, której średnia arytmetyczna wynosi 0,26%. Analiza danych podstawowych wykazała występowanie w zbiorze tylko jednej wartości odstającej. Rozkład empiryczny tego parametru jest rozkładem skośnie – dodatnim o asymetrii słabej (rys. 1c). Zawartość siarki w pokładzie 510 charakteryzuje się małą zmiennością – klasyfikacja zmienności według Baryszewa.

Oznaczenia wilgoci całkowitej jest kolejnym parametrem charakteryzującym jakość badanego węgla. W przypadku analizowanego pokładu jej zawartość oscyluje w granicach od 2,3 % do 5,9%, a średnia arytmetyczna wynosi 2,94%. Parametr ten charakteryzuje się zmiennością przeciętną. Sam rozkład empiryczny wilgoci jest rozkładem skośnie - dodatnim silnie asymetrycznym. W zbiorze występują trzy wartości odstające

oraz jedna ekstremalna (rys. 1d).

Parametrem o najmniejszej zmienności jest gęstość. Jej wartość waha się w granicach od 1,23 g/cm³ do 1,5 g/cm³, natomiast średnia arytmetyczna wynosi 1,34 g/cm³. W zbiorze danych występują dwie wartości odstające, a sam rozkład empiryczny jest rozkładem prawo – asymetrycznym charakteryzującym się słabą asymetrią (rys. 1e).

Interpretacja parametrów jakościowych

Powszechnie uważa się, iż złoża węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym są obiektami trudnymi do modelowania [6, 9]. Silne zróżnicowanie wartości parametrów, nieregularność sieci opróbowania, błędy pobierania prób i ich analizy, wskazywane są jako przyczyny tego problemu [3]. Doświadczenia w tworzeniu map wskazują, iż wybór metody interpolacji ma istotne znaczenie w rozważaniach dotyczących możliwości podwyższenia dokładności interpolacji [9].

Na potrzeby kreślenia map izoliniowych zmienności parametrów jakościowych węgla z pokładu 510 wykorzystano deterministyczną metodę z wagowaniem na odwrotność odległości dla każdego parametru. Co prawda liczebność posiadanego zbioru danych w teorii pozwala wykorzystać geostatystyczną metodę krigingu, to jednak podjęte próby badania struktury zmienności na podstawie semiwariogramów nie dały zadowalających rezultatów, a tworzone mapy nie charakteryzowały się mniejszymi błędami. Powodem jest oczywiście nieregularność rozmieszczenia punktów opróbowania oraz wcześniej wspomniana duża zmienność parametrów jakościowych węgla.

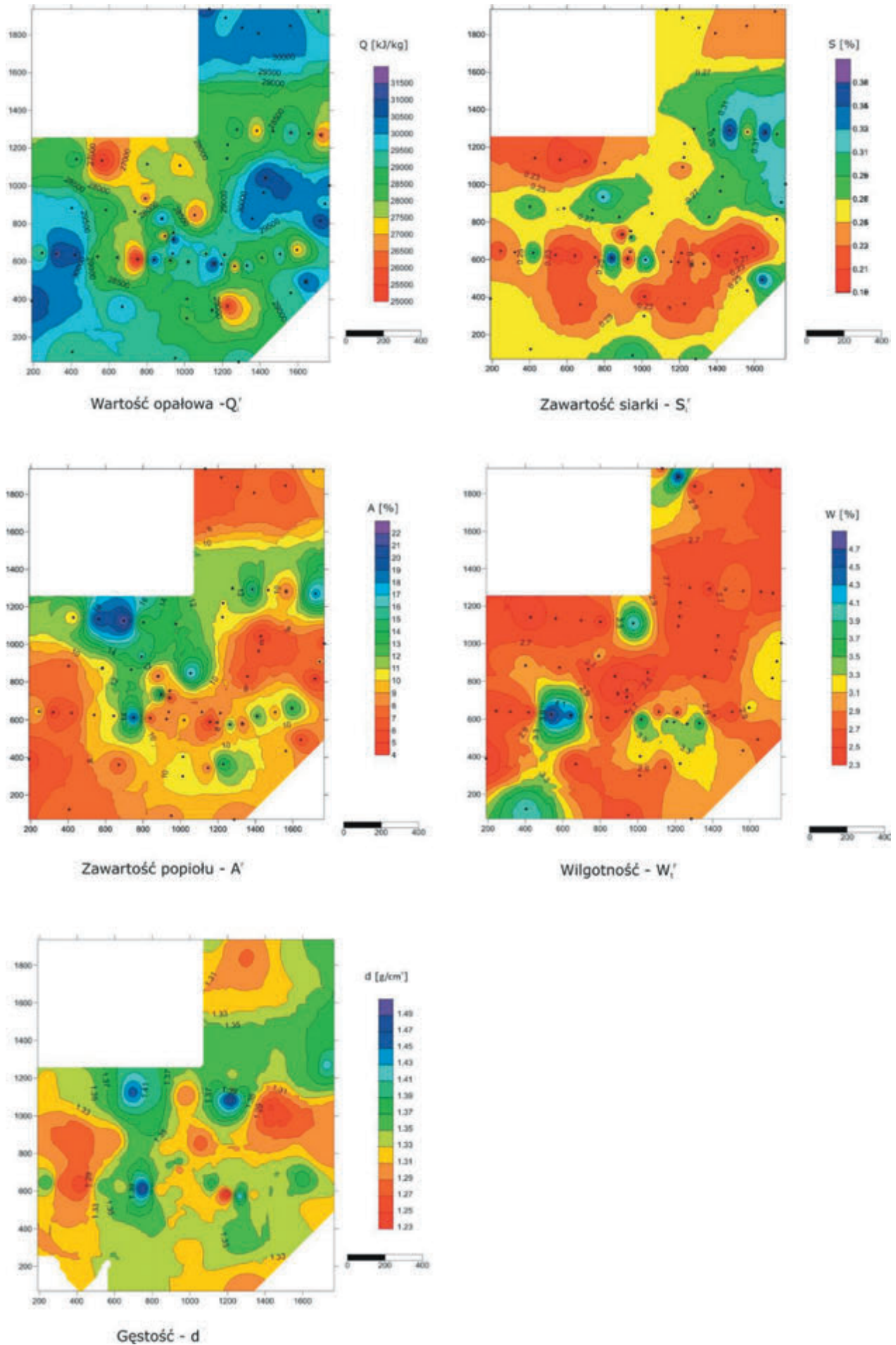
Wybrano metodę z wagowaniem na odwrotność odległości do potęgi 2 (ID- inverse distance to a power). Nieregularna sieć opróbowania nastęrczała znaczących problemów przy dobrze zasięgu koła

Tab. 1. Zestawienie parametrów statystycznych
Tab. 1. Statistics of selected parameters

Parametr	N	Min	Max	\bar{x}	Me	s	v	g_1	g_{1st}	g_2	g_{2st}
Q_i^r	65	23514 [kJ/kg]	31250 [kJ/kg]	28808 [kJ/kg]	29080 [kJ/kg]	5,97 [kJ/kg]	5,96 [%]		3,46	3,81	1,6
A^r	65	4,81 [%]	24,52 [%]	10,1 [%]	9,03 [%]	4,15 [%]	41,13 [%]	1,43	4,82	4,9	3,54
S_i^r	65	0,19 [%]	0,42 [%]	0,26 [%]	0,26 [%]	0,05 [%]	18,85 [%]	0,9	3,02	3,82	1,61
W_i^r	65	2,3 [%]	5,9 [%]	2,94 [%]	2,7 [%]	0,67 [%]	22,86 [%]	2,17	7,32	8,4	9,77
d	62	1,23 [g/cm ³]	1,5 [g/cm ³]	1,34 [g/cm ³]	1,34 [g/cm ³]	0,05 [g/cm ³]	3,99 [%]	0,76	2,49	4,16	2,18

Objaśnienia: N - liczba danych, Min - wartość minimalna, Max - wartość maksymalna, \bar{x} - średnia arytmetyczna, Me - mediana, s - odchylenie standardowe, v - współczynnik zmienności, g_1 - współczynnik asymetrii (skośności), g_{1st} - wartość bezwzględna standaryzowanego współczynnika asymetrii (skośności), g_2 - współczynnik spłaszczenia (ekscesu), g_{2st} - wartość bezwzględna standaryzowanego współczynnika spłaszczenia (ekscesu).

Explanations: N - number of samples, Min - minimum, Max - maximum, \bar{x} - mean, Me - median, s - standard deviation, v - coefficient of variation, g_1 - skewness, g_{1st} - standardized skewness, g_2 - kurtosis, g_{2st} - standardized kurtosis.



Rys. 2. Mapy izoliniowe parametrów złożowych: Q_i^f , A_i^f , S_i^f , W_i^f i d
 Fig. 2. Contour maps of deposit parameters: Q_i^f , A_i^f , S_i^f , W_i^f i d

zliczania danych. Za optymalną wartość przyjęto promień o długości 200 m. Wartości parametru w punkcie interpolacji obliczano na podstawie sześciu najbliższych punktów opróbowania. Przyjęto siatkę zbliżoną do kwadratowej o geometrii $\sim 17 \times 17$ [m], co jest wielkością o rząd wartości niższą niż średnia odległość między punktami opróbowania. Utworzono mapy izoliniowe dla wartości opałowej (Q_i^r), zawartości popiołu (A^r), zawartości siarki (S_i^r), wilgoci (W_i^r) oraz gęstości (d), które przedstawiono na rysunku 2.

W celu weryfikacji poprawności interpolacji obliczono średnie absolutne błędy względne $\bar{\epsilon}_{AR}$ dla każdego z parametrów.

$$\bar{\epsilon}_{AR} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|z_i^c - z_i|}{z_i} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie: N- liczba danych, z_i^c - oszacowana wartość parametru w punkcie opróbowania i, z_i - rzeczywista wartość parametru w punkcie opróbowania i

W tabeli 1 zestawiono obliczone wartości błędów $\bar{\epsilon}_{AR}$.

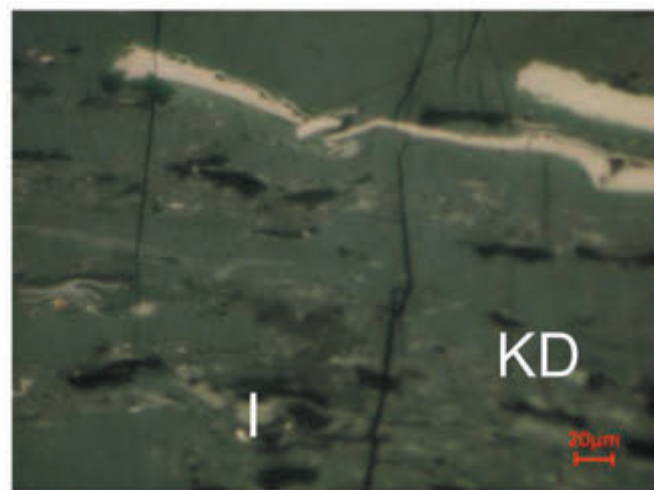
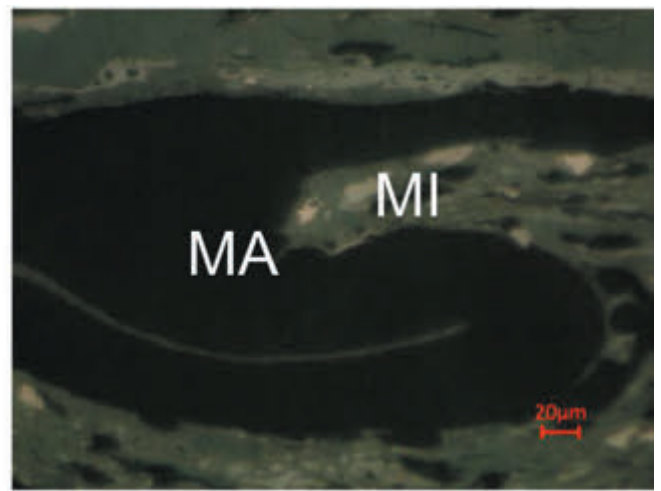
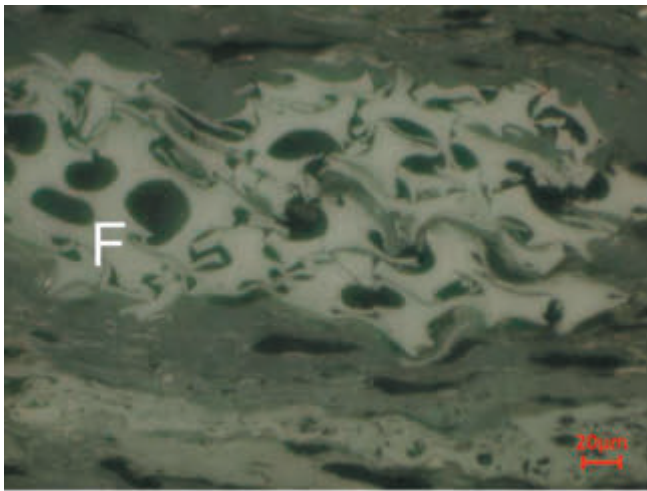
Zakładając, że błąd interpolacji $\bar{\epsilon}_{AR} < 25\%$ jest akceptowalny w praktyce [9], można uznać, iż dla każdego z rozpa-

Tab. 2. Średnie absolutne błędy względne interpolacji
Tab. 2. Mean absolute relative errors

parametr	średni absolutny błąd względny [%]
Q_i^r	4,30
A^r	27,53
S_i^r	12,57
W_i^r	13,30
d	3,16

trywanych parametrów wykreślanie map izoliniowych ma uzasadnienie (tab. 2). Ta wartość została nieznacznie przekroczona w przypadku zawartości popiołu, co wynika z faktu, że parametr ten uznawany jest za bardziej zmienny w stosunku do pozostałych w warunkach GZW. Wartość opałowa węgla – Q_i^r to najważniejszy parametr wyznaczający przydatność energetyczną węgla. Mały błąd interpolacji pozwala wnioskować, iż mapy obrazujące jego zmienność mogą być z zadowalającym skutkiem wykorzystane na potrzeby klasyfikowania węgla. Wyznaczone błędy $\bar{\epsilon}_{AR}$ dla pozostałych parametrów są niewielkie.

Typowy obraz mikroskopowy badanego węgla został przedstawiony na rysunku 3.



Rys. 3. Macerały węgla analizowanych próbek

Objaśnienia: F – fuzynit, K – kolotelinit, MA – makrosporynit, MI – mikrosporynit, I – inertodetrynit, KD – kolodetrynit

Fig. 3. Macerals of coal

Explanations: F – fusinite, K – collotelinite, MA – macrosporinite, MI – microsporinite, I – inertodetrinite, KD - collodetrinite

Pozycja węgla w Międzynarodowej Klasyfikacji Węgla w Pokładzie

W dobie gospodarki rynkowej znajomość parametrów jakościowych eksploatowanego surowca stanowi podstawę do efektywniejszego jego wykorzystania, a co za tym idzie dla prowadzenia racjonalnej gospodarki złożem [2]. Międzynarodowa Klasyfikacja Węgla w Pokładzie (International Classification of Coal In-Seam Coals) [8] poza typowymi parametrami węgla określanymi w innych klasyfikacjach, określa także zawartość maceratów grup wityrnytu, inertyrnytu i liptyrnytu, co daje możliwość rozróżnienia węgla humusowych od sapropelitowych.

Przeprowadzone badania petrograficzne określiły zawartości poszczególnych maceratów w stanie bez substancji mineralnej: wityrnytu (V) 75,7%, inertyrnytu (I) 12,7%, liptyrnytu (L) 11,6% oraz wyznaczyły wartość współczynnika średniej refleksyjności wityrnytu na poziomie 0,73%.

Na potrzeby klasyfikacji węgla w pokładzie wymagana jest także znajomość zawartości popiołu w stanie suchym, która wynosi w tym przypadku 10,4%.

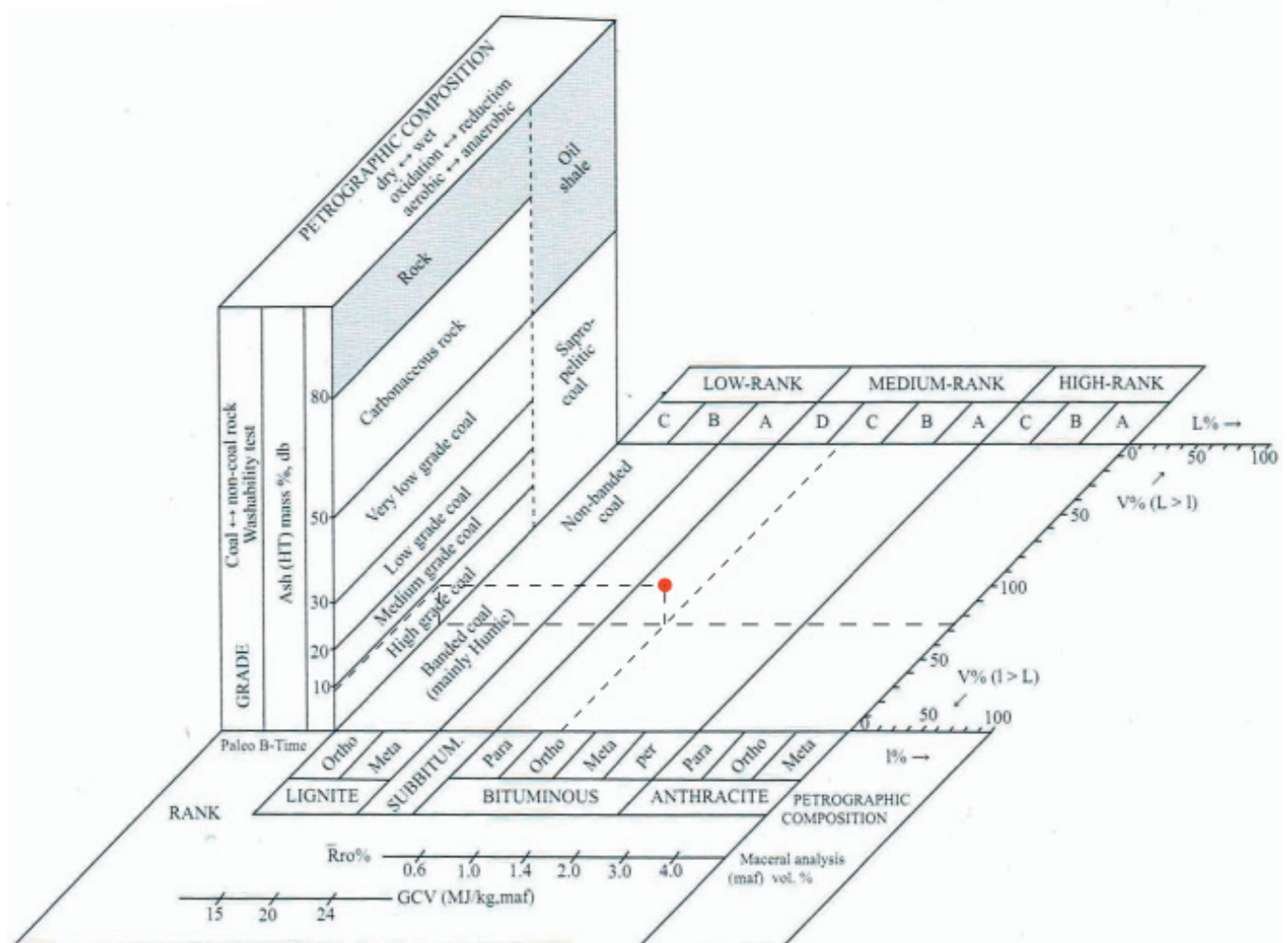
Parametry te, pozwoliły określić typ węgla jako Ortho-bituminous coal, co w klasyfikacji Polskiej Normy PN 82/G-97002

odpowiada węglom gazowo-płomiennym oraz gazowym.

Pozycja węgla z pokładu 510 w Międzynarodowym Klasyfikacji Kodowej Węgla ECE – Genewa

Międzynarodowa Klasyfikacja Kodowa Węgla ECE jest systemem kompleksowym badającym zarówno parametry jakościowe takie jak zawartość popiołu czy też ciepło spalania, wskaźniki optyczne, a także skład petrograficzny (np. zawartość macerałów z grupy inertyrnytu) [1]. Uwzględnia ona dokładnie dziewięć parametrów, które charakteryzowane są przez 14 - cyfrowy kod.

Analiza węgla kamiennego pochodzącego z pokładu 510 ze złoża „Brzeszcze” pozwoliła nadać mu kod – 07 0 1 3 1 28 10 02 30. Węgiel ten jest węglem energetycznym, o wysokim ciepłe spalania wynoszącym 30,8 [MJ/kg] (tab. 3). Jego atutem jest niska zawartość popiołu wynosząca 10,4%, która pozwala umiejscowić go na granicy dwóch klas – węgla o wysokiej i średniej czystości. Na szczególną uwagę zasługuje bardzo niska zawartość siarki wynosząca 0,27%. Obecnie węgle niskosiarkowe cieszą się dużym zainteresowaniem ze względu na ich proekologiczne właściwości.



Rys. 4. Pozycja węgla ze złoża „Brzeszcze” w Klasyfikacji Węgla w Pokładzie [8]
Fig. 4. Coal position in International Classification of Coal In-Seam Coals [8]

Tab. 3. Wyniki Międzynarodowej Klasyfikacji kodowej dla pokładu 510 złoża „Brzeszcze”

Tab. 3. Results of International Codification system for medium and high rank coals ECE – Geneva

	Średnia refleksyjność wityritu [%]	Charakterystyka reflektogramu [-]	Zawartość macerałów z grupy inertyritu [%]	Zawartość macerałów z grupy liptyritu [%]	Wskaźnik wolnego wydymania [-]	Zawartość części lotnych Vdaf [%]	Zawartość popiołu Ad[%]	Zawartość siarki całkowitej Std [%]	Ciepło spalania Qsdaf [MJ/kg]
Wartość pomierzona	0,73	0,0279	12,7	11,6	1-1,5	29,31 %	10,4	0,27	30,8
Kod	07	0	1	3	1	28	10	02	30

Pokład 510 jest jednym z głównych pokładów w GZW i ma szerokie rozprzestrzenienie. Jednak ze względu na zróżnicowaną budowę geologiczną i różne czynniki wpływające na stopień uwęglenia w obrębie zagłębia także pokład 510 wykazuje duże zróżnicowanie. Zróżnicowanie to dotyczy głównie stopnia uwęglenia.

Do porównania średnich wartości parametrów wykorzystano między innymi dane ze złoża „Brzezinka 3” zlokalizowanego na terenie Mysłowic (GZW). W obrębie tego samego pokładu (510) wartości średnie zawartości siarki i popiołu są niższe dla złoża „Brzeszcze”, natomiast wartość opałowa jest wyższa (tab. 4). Porównując wartości obliczone z parametrami węgla z KWK „Zofiówka” [7] w obrębie tego samego pokładu (510) widać, że parametrem, którego wartości znacznie się różnią jest wartość opałowa (tab. 4). W złożu „Brzeszcze” węgiel (typ 34) należy klasyfikować jako gazowy i gazowo-płomienny, natomiast w węgiel z „Zofiówki” spełnia kryteria dla grupy węgla koksowych (typ 35).

Podsumowanie

Węgiel kamienny z pokładu 510 ze złoża „Brzeszcze” charakteryzuje się bardzo dobrymi parametrami jakościowymi,

co potwierdziły przeprowadzone badania petrograficzne.

Analizowany przypadek może być pewnego rodzaju uzupełnieniem do dokładniejszego poznania budowy geologicznej obszaru. Pokład 510 jest różnie wykształcony na terenie GZW. W złożu „Brzeszcze” jego miąższość sięga od 3 do 5 metrów, lokalnie osiągając nawet 7,5 m [3]. Dla porównania w obszarze Sosnowca jego miąższość wynosi nawet do 24 metrów, z czego około 12,5 m to czysty węgiel.

We wcześniejszych opracowaniach literaturowych nie podejmowano prób klasyfikowania węgla kamiennego na podstawie klasyfikacji międzynarodowych. Prosty sposób ich interpretacji oraz kodowy system oznaczania parametrów pozwala na porównywanie jakości badanego węgla z innymi złożami krajowymi czy światowymi.

Badany węgiel można zaklasyfikować do grupy węgla ortobitumicznych na podstawie dwóch klasyfikacji: Międzynarodowej Klasyfikacji Kodowej i Klasyfikacji Węgla w Pokładzie. Jest to węgiel o średnim stopniu uwęglenia, charakteryzujący się niską zawartością popiołu. Należy jednak mieć na uwadze fakt, że dane na podstawie których wykonano badania pochodzą jedynie z zachodniej części pokładu 510.

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, iż węgiel z tego pokładu może mieć główne zastosowanie

Tab. 4. Porównanie średnich wartości parametrów jakościowych w różnych złożach z GZW

Tab. 4. Comparison of mean values of quality parameters in selected deposits (Upper Silesian Coal Basin)

Złoże	Średnie wartości wybranych parametrów jakościowych		
	Wartość opałowa [MJ/kg]	Zawartość popiołu [%]	Zawartość siarki całkowitej [%]
Brzeszcze (510) stan roboczy	28,8	10,1	0,26
Brzeszcze (510) stan suchy	29,7	10,4	0,27
Brzezinka 3* (510) stan roboczy	25,6	13,37	0,36
Zofiówka stan suchy	35,03	11,7	-

Objaśnienia: *E. Zalewska, Przybyła A., Projekt Górniczy Brzezinka 3

Explanations: * E. Zalewska, Przybyła A., Mining project for Brzezinka 3 deposit

w przemyśle energetycznym. Dodatkowym jego atutem jest niska zawartość siarki, która również podnosi jego atrakcyjność na rynkach zbytu.

Autorzy składają serdeczne podziękowania dla Profesora Mariana Wagnera za wykonanie pomiaru refleksyjności i dla Pani mgr inż. Justyny Auguścik za cenne wskazówki przy wykonywaniu map izoliniowych.

Praca zrealizowana częściowo w ramach badań statutowych WGGiOŚ, AGH nr 11.11.140.320 oraz częściowo z grantu dziekańskiego nr 15.11.140.826 i 15.11.140.856

Literatura

- [1] *International Codification system for medium and high rank coals*, 1988 – United Nations, Economic Commission for Europe Geneva, New York
- [2] Lorenz U., 2010 – *Gospodarka węglem kamiennym energetycznym*. Wyd. IGSMiE, Kraków
- [3] Mizera A., 1996 – *Dokumentacja geologiczna KWK „Brzeszcze”*
- [4] Mucha J., Wasilewska M., 2006 – *Nieparametryczne geostatystyczne metody interpolacji parametrów wybranych złóż*, Przegląd Górniczy, t.62, nr 1, s. 24-31
- [5] Nieć M. [red.], 2012 – *Metodyka dokumentowania złóż kopalni stałych, cz. IV Szacowanie zasobów*, Wyd. IGSMiE, Kraków, str. 186
- [6] Probiez K., Marcisz M., 2011 – *Trafność szacowania jakości węgla kamiennego na przykładzie wybranych pokładów złoża „Pniówek”*, Przegląd Górniczy T.67, nr 7-8, s. 166-170
- [7] Probiez K., Marcisz M., Sobolewski A., 2012 – *Rozpoznanie warunków geologicznych występowania węgla koksowego w rejonie Jastrzębia dla potrzeb projektu „Inteligentna Koksownia”*, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 452, s. 245–256
- [8] Wagner M., Lipiarski I., Misiak J., 2008 – *Atlas petrograficzny twardego węgla brunatnego i węgla kamiennego z obszaru Polski*, Wydawnictwo AGH, Kraków
- [9] Wasilewska M., 2007 – *Struktura zmienności parametrów złóż węgla kamiennego w wybranych kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (rozprawa doktorska)*, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków



Fot. Jacek Kozma

Świętokrzyski Geopark UNESCO Łuk Mużakowa. Krajobraz pokopalniany