

KRYSTIAN PROBIERZ*, MAREK MARCISZ*

ESTIMATION OF THE HARD COAL QUALITY IN A DEPOSIT IN VIEW OF NATIONAL AND INTERNATIONAL STANDARDS

SZACOWANIE JAKOŚCI WĘGLA KAMIENNEGO W ZŁOŻU W ŚWIETLE STANDARDÓW MIĘDZYNARODOWYCH I KRAJOWYCH

The methods of determining changes in the parameter values of coal quality in a deposit are described in consideration of Polish national and international standards, with the use of modern computer-aided tools (AutoCAD, Surfer). Options of combining the software for the estimation of coal quality in a deposit are discussed, also for designation zones of the occurrence of coal with required quality parameters. The usability (easiness and convenience) of using international standards in estimating coal quality is shown, especially in view of modern information technologies. The differences in the principles of hard coal quality estimation according to the ECE standards and the Polish Standard are indicated.

Keywords: Upper Silesian Coal Basin, quality parameters, coal quality estimation, information technologies

W pracy przedstawiono sposoby określania zmian wartości parametrów jakościowych węgla w złożu/pokładzie przy użyciu wymienionych narzędzi informatycznych w odniesieniu do międzynarodowych, a następnie krajowych metod szacowania jakości węgla.

Szacowanie jakości węgla w złożu, z użyciem metody wykorzystującej zespolenie programów Surfer i AutoCAD, przeprowadzono dla pokładu węgla kamiennego jednej z kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, rozpoznanego za pomocą 107 próbek bruzdowych. Dla tych próbek oznaczono wskaźniki analizy technicznej (zawartość wilgoci W^a , %; popiołu A^d , %; części lotnych V^{daf} , %; ciepło spalania GCV^{daf} , MJ/kg), zawartość siarki całkowitej S_t^d , %, wskaźniki koksownicze (zdolność spiekania RI , -; wskaźnik wolnego wydymania SI , -; kontrakcję a , % oraz dylatację b , %), oraz parametry petrologiczne (średnią refleksyjność wityrnytu R_r , kształt reflektogramu, zawartość macerałów grupy wityrnytu Vt^{mmf} , liptyrnytu L^{mmf} i inertyrnytu I^{mmf}). Wyniki tych oznaczeń posłużyły do sporządzenia bazy danych. Cyfrowe mapy parametrów jakościowych węgla skonstruowano z wykorzystaniem programu Surfer w wersji 8.0 przy zdeklarowaniu najprostszej metody kreślenia izolinii – metody trójkątów (*triangulation with linear interpolation*). Skonstruowane w programie Surfer mapy, zaimplementowano na matrycę górniczej mapy pokładowej, wykonanej w programie AutoCAD.

* INSTYTUT GEOLOGII STOSOWANEJ, FACULTY OF MINING & GEOLOGY, SILESIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 44-100 GLIWICE, UL. AKADEMICKA 2A, POLAND

Podstawą Klasyfikacji Węgla w Pokładzie ECE – Genewa są współczesne metody oceny jakości węgla w pokładzie opierające się na trzech fundamentalnych grupach parametrów określających: stopień uwęglenia, skład petrograficzny oraz stopień zanieczyszczenia, (rys. 1). Takie zasady określania pozwalają stwierdzić, iż w analizowanym pokładzie występuje węgiel humusowy, średniouwęglony (ortobitumiczny C) o stopniu czystości wahającym się od niskiego do wysokiego (tab. 1), czego obraz graficzny stanowią skonstruowane mapy jakości węgla (rys. 2).

Wyniki szacowania jakości badanego węgla, według Międzynarodowego Systemu Kodyfikacji Węgla ECE – Genewa, z użyciem 9 parametrów którym przypisano 14 cyfr kodowych, zestawiono w tablicy 2. Najważniejszą zaletą tej klasyfikacji jest możliwość prezentowania zmian jakości węgla w złożu w „sposób ciągły”, co znakomicie ułatwia cyfryzację procesu szacowania jakości węgla w pokładzie/złożu.

Podział węgla kamiennych według Polskiej Normy PN-82/G-97002 na tzw. typy technologiczne przedstawiono w tablicy 3, zaś zróżnicowanie tych typów według zawartości części lotnych i spiekalności RI na rysunku 4. Jak wynika z tych danych, jedynym parametrem różnicującym wszystkie typy węgla kamiennych według PN jest zawartość części lotnych. Podobnie parametr spiekalności RI, z tym, że w typach 41 do 43 spiekalność „domyślnie” wynosi 0. Dylatacja, wskaźnik wolnego wydymania, a także zawartość inertynitu stosowane są jedynie dla różnicowania węgla koksowych, zaś ciepło spalania GCV tylko dla najmniej uwęglonych węgla energetycznych. Rozróżnienie węgla typów 33, 34, 35, 36 i 37 jest według PN mało precyzyjne o czym świadczy „częściowe nakładanie się pól ich występowania” i stwarza możliwość niejednoznacznego oznaczenia typu węgla. Węgle rozpatrywanego pokładu według PN reprezentowane są przez typy 32.2 oraz 34.1 i 34.2. Oznacza to występowanie zarówno węgla energetycznego jak i koksowego. Na podstawie danych przedstawionych w tablicy 1 i 3 sporządzono mapy poszczególnych parametrów jakości węgla w pokładzie (rys. 5). Wykreślono przy tym, zgodnie z tablicą 3 i rysunkiem 4, jedynie izolinie graniczne parametrów jakości odpowiadające typom węgla według PN. Superpozycja map poszczególnych parametrów jakości (rys. 5 A, B, C, D, E) pozwoliła sporządzić mapę typów węgla (rys. 5 F). PN oprócz tych wykazanych niejednoznaczności w klasyfikacji węgla, ma istotny mankament jakim jest brak stosowania średniej refleksyjności wityrnytu, co nie pozwala na precyzyjne określenie stopnia uwęglenia. Stosowanie tego parametru jak również reflektogramu pozwala łatwo odróżnić mieszanki węglowe od węgla jednorodnych (rys. 6 i 7). Brak znajomości rozkładu refleksyjności – reflektogramu może powodować nawet znaczne błędy w dokładności szacowania parametrów węgla, zarówno w obrębie poszczególnych pokładów (zmiany lateralne) jak i w złożu, na płaszczyznach przekrojów geologicznych (zmiany wertykalne).

Wyniki badań wykazały, że zastosowanie poszczególnych parametrów (wartości tych parametrów a w dalszej kolejności kodów) do charakterystyki węgla według Międzynarodowego Systemu Kodyfikacji Węgla ECE – Genewa oraz Klasyfikacji Węgla w Pokładzie ECE – Genewa, aczkolwiek nie pozwalające na łatwą percepcję wyników szacowań jakości, pozwala na precyzyjne określenie właściwości węgla. Taka koncepcja szacowania jakości węgla znakomicie ułatwia cyfryzację tego procesu zaś najważniejszą zaletą obu klasyfikacji jest łatwość zastosowania metod informatycznych do szacowania jakości węgla w złożu.

Użycie technik informatycznych wydaje się zatem niezbędne w szacowaniu jakości węgla w złożu zarówno w odniesieniu do obecnie eksploatowanego jak i przewidywanego do wydobywania w przyszłości. Jest to szczególnie ważne ze względów ekonomicznych dla każdej kopalni, a przede wszystkim dla kopalń, w których są lub będą w przyszłości eksploatowane węgle koksowe, wobec ich deficytu na rynkach międzynarodowych.

Stwierdzono, że doskonałym narzędziem informatycznym pozwalającym na szacowanie, z pożądaną dokładnością, jakości węgla w złożu jest zastosowanie programów AutoCAD i Surfer. Oprogramowanie to pracujące w sposób zespolony, umożliwia wielowariantowy proces szacowania jakości węgla w złożu pozwalając równocześnie na wybór optymalnej metody, czyli najbardziej reprezentatywnej i obciążonej najmniejszym błędem. Jego zastosowanie powinno także znacząco wpłynąć na koszty produkcji węgla i ułatwić predykcję jakości węgla, i to nie tylko w kopalniach które prowadzą lub będą prowadziły równocześnie eksploatację węgla energetycznych i koksowych.

Porównanie metod szacowania jakości węgla w złożu z użyciem Międzynarodowego Systemu Kodyfikacji Węgla ECE – Genewa i Klasyfikacji Węgla w Pokładzie ECE – Genewa oraz Polskiej Normy PN-82/G-97002 wykazało dość istotne różnice. Dotyczą one oczywiście także uzyskanych wyników. Najważniejszą determinantą pozwalającą określić jakość węgla według PN jest wyznaczenie odpowiedniego typu węgla (co może powodować opisane uprzednio niedogodności, niedokładności i uzyskanie niezamierzonych rezultatów). Byłoby to może i słuszne, gdyby konsekwentnie stosowano przedziały wartości poszczególnych parametrów jakości wyznaczających dany typ węgla. Posługiwanie się typem

węgla jest względnie proste łatwe i przydatne w praktyce. Niestety bogactwo odmian węgla, występującego w różnych złożach świata, i różniącego się swoimi właściwościami nie pozwala na taki prosty opis węgla. Wieloletnie i wszechstronne badania węgla wykazały ponadto uzależnienie stosowanych w PN parametrów od składu petrograficznego. Nie zastosowanie współczesnych parametrów oceny jakości węgla, takich jak: średnia refleksyjność witrinitu, reflektogram, grupy macerałów, używanych powszechnie w praktyce międzynarodowej, a także niekonsekwentne stosowanie parametrów wyznaczających dany typ, obniża istotnie dokładność szacowania jakości węgla w złożu według PN.

W pracy wykazano także, że stosowana w polskim górnictwie węglowym norma PN-82/G-97002 charakteryzująca typy węgla kamiennego nie pozwala na precyzyjne szacowanie jego parametrów w złożu. Norma bazuje głównie na parametrze zawartości części lotnych – uzależnionym od składu petrograficznego, pomija zaś nowoczesne wskaźniki, powszechnie uznane i obowiązujące standardów międzynarodowych oraz precyzyjnie określające stopień uwęglenia tj. średnią refleksyjność witrinitu i skład petrograficzny.

Słowa kluczowe: Górnosląskie Zagłębie Węglowe, parametry jakościowe, szacowanie jakości węgla, techniki informatyczne

1. Introduction

The market economy compels coal companies to deliver the product of strictly determined quality parameters connected with processing technologies and environmental protection standards. Extensive use of hard coal imposes its quality estimation based on diverse methods, including, in particular, chemical and technological methods, physical (optical) and petrographical ones. The parameters of coal quality obtained by means of the above mentioned methods may have a universal character, irrespective of coal end use (ash content, moisture) but may also have special indices strictly connected with coal use: coking parameters like Roga Index *RI*, Swelling Index *SI* or dilatometric parameters like contraction *a* and dilatation *b* set forth for coking coal (Probiez & Marcisz, 2007a). It is also known that the values of the parameters change in a deposit, because they are dependent on the degree of coal metamorphism (Rank), described as coal gradient, which is connected with the terrestrial heat flow described by paleotemperatures. It is also known that the values of these parameters change in the deposit because they depend on the grade of metamorphism determined by, for example, coal gradient, which, in turn, is connected with the heat flow of the rock mass described by paleotemperatures (Probiez & Lewandowska, 2003).

In the past years, the so called: "coal countries" excavating substantial quantities of hard coal had their own standards determining coal quality. The estimation of coal quality and its classification was conducted in various manners in different countries in relation to coal producers and its receivers. Many years of international scientific councils aimed focused on the unification of coal quality estimation standards led to the implementation of the international classification that facilitates the comparison of different coal quality estimations. The international coal quality codification standard ECE – Genève and ECE Coal Classification Standards are based on modern, commonly accepted and binding indices including two fundamental groups of parameters that precisely describe coal ranks (random reflectance of vitrinite R_r) and the petrographic composition of (the macerals content of vitrinite, liptinite and inertite group). These standards also include the third fundamental group of parameters describing the quality of the deposit, i.e. its ash and total sulphur content (Probiez & Marcisz, 2009).

In industrial and commercial practice there are national standards (PN), with their specific weak and strong points. One of the examples is the Polish classification of coal into some

technological types (PN-82/G-97002) considering only five coal quality parameters (contained in international standards V^{daf} , RI , b , SI and GCV^{daf}). Unfortunately, they do not consider the parameters that precisely define the coal rank or random reflectance of vitrinite R_r , and the petrographic composition (excluding 35.2 coals with a certain maceral content of intertinite type but disregarding the consequences as to coal type determination).

Proper designation of the quality parameters of hard coal in a deposit, i.e. the estimation of coal quality with required accuracy, should consider the geological composition of the deposit, because the estimation of coal quality depends on the degree of deposit investigation. The possibility of error in coal estimation quality is big, and errors may considerably influence the costs of coal production (Gabzdyl et al., 2003; Gabzdyl et al., 1994; Gabzdyl & Probierz, 1986; Gabzdyl et al., 2004; Probierz et al., 2007).

Such correctness concerns, first and foremost, coking coals, which require the determination of more parameters in comparison with energy production coals. Also there is often some discrepancy between the expectations towards methods of coal quality by its producers and users. Usually, the highest requirements concerning the precision of coal quality parameters are set by chemical and coke engineers. The requirements concerning environmental protection parameters (sulfur content, ash content) in energy production coals should not be disregarded.

The above demands are in many cases difficult or even impossible to meet by miners who, first and foremost must fulfill the requirements concerning coal excavation principles, especially safety rules. Difficulties in fulfilling the requirements set by coal users, in particular as far as the precision of estimating coal quality is concerned, also result from geological conditions which, in some cases (for example in Jastrzębie area) may cause bigger variability of coal quality in a deposit rather than opportunities of its precise estimation. Moreover, the procedures of coal quality estimation used in the Polish coal industry are not always adequate and selective coal extraction is obstructed by manufacturing systems used in coal mining. Nevertheless, the Polish coal excavation industry cannot avoid measures undertaken to improve the quality of coal, both coking coal and power coal, as in the market-driven economy coal users, for example coking coal producers can purchase coal of required and precisely estimated quality on international markets.

Due to the circumstances and dilemmas concerning coal quality estimation in a mining geologists and other services involved in related activities (for example: coal treatment specialists) have important tasks to face, looking for a compromise between the chemical engineer's precision, coking engineers' accuracy and possibilities of their fulfillment by miners.

For mining geologists, such divergence of the expectations towards methods and manners of coal quality estimation, both from the point of view of coal producers and coal users, should be supplemented by national and international standards. Furthermore, it should consider information technology solutions applied for estimating coal quality, as well as other minerals, for example, raw materials for cement production (Probierz et al., 2006).

Accordingly, it seems obvious that the most economical methods of minerals quality estimation are in demands, especially in view of their fulfillment of accuracy as to standards and customers' expectations. Computer software is a tool enabling a compromise between accuracy of coal quality estimation and the costs incurred. However, the software should make it possible to predict coal quality in a deposit with the required accuracy and provide miners and mining engineers with sufficient information on coal quality parameters expected to be found in the excavated deposit (Probierz & Marcisz, 2007a).

The paper is focused on the methods of determining changes in the coal quality parameters in a deposit by means of information technology tools and in view of national and international standards.

2. Method

Software currently used in Polish coal mines usually fulfill its tasks as autonomous tools. However, there are possibilities of combining certain software to improve the functionality and efficiency of research results, for example, Surfer (Golden Software) with AutoCAD (Autodesk). Surfer software enables mining geologies to devise, among other tasks, contour maps based on different implemented isoline determination methods; whereas, AutoCAD is a tool mainly used by surveyors, thanks to its re-scaling capabilities, multi-format printing, plotting on layers connected with proper selection of details or high accuracy of vector records. The two programs make a good blend of the requirements and needs of the entire surveying and geological departments in coal companies.

Coal quality estimation in a deposit with the use of Surfer and AutoCAD software was conducted for a hard coal mine deposit in Upper Silesian Coal Basin detected by 107 channel samples, for which technical analysis indices (moisture content W^a , %; ash content A^d , %; volatile matter content V^{daf} , %; gross calorific value GCV^{daf} , MJ/kg), total sulfur content S_t^d , %, coking coal indices (Roga Index RI , -; Swelling Index SI , -; contraction a , % and dilatation b , %), as well as petrological parameters (random reflectance of vitrinite R_r , reflectograms shape, macerals content of vitrinite V_t^{mmf} , liptinite L^{mmf} and inertinite I^{mmf} group). The results of the denotations were used as information for they creation of a database. Digital maps of coal quality parameters were constructed by means of Surfer version 8.0 software with the declared easiest method of contouring – *triangulation with linear interpolation*. The maps made in Surfer software were implemented on the mining map created in AutoCAD (Probierz and others, 2003, 2006; Probierz and Marcisz, 2000, 2004a, 2004b, 2007b, 2009).

3. Results

3.1. Estimation of coal quality in a deposit by means of ECE – Genève coal classification methods

The base of the qualification according to ECE – are current methods of coal quality estimation based on three fundamental parameter groups describing: coal rank, petrographic composition and contamination degree (Fig. 1).

The coal rank is determined by random reflectance of vitrinite (R_r , %) or gross calorific value (GCV^{maf} , MJ/kg), making it possible to distinguish lower quality coals ($GCV < 24$ MJ/kg and $R_r < 0,6\%$) as well as higher quality ones: $GCV > 24$ MJ/kg and $R_r > 0,6\%$). The lower limit is designated by the moisture content $W^a = 75\%$ ($>75\%$ of moisture in peat) and the upper one is hydrogen content $H^{daf} = 0,8\%$ ($0,8\% H^{daf}$ in metaanthracites/semigraphites).

The petrographic composition is designated by (% vol.) contribution of macerals of vitrinite (Vt), liptinite (L) and inertinite (I) group. The percentage of particular macerals groups depends

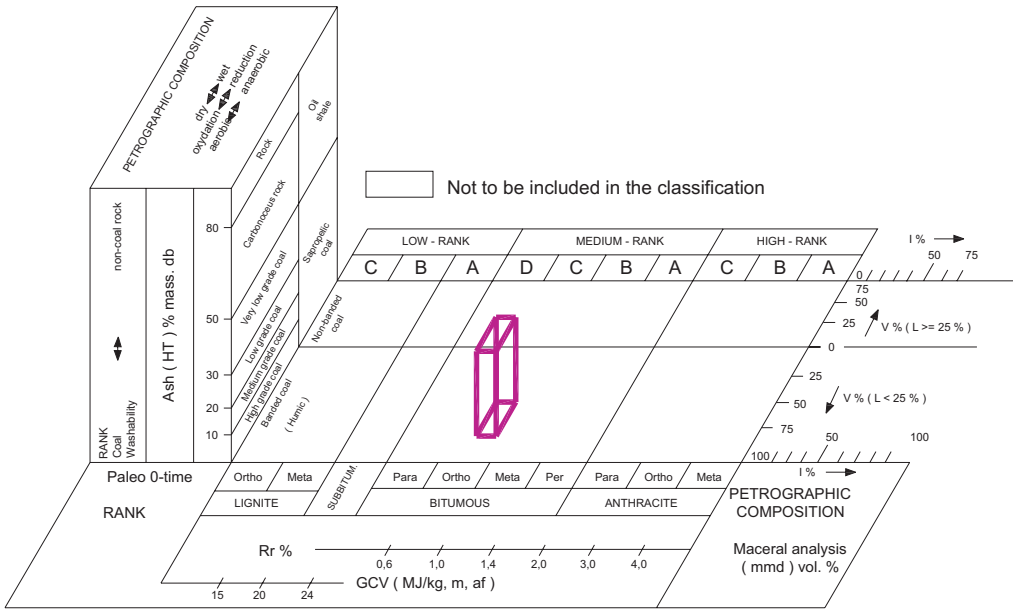


Fig. 1. Coal of the investigated area in view of ECE Genève Coal Classification

on the presence of lithotypes (for example in bright coal vitrinite is concentrated and inertinite is in fiber coal, whereas coals with liptinite content of 25% vol. L^{mmf} are classified as sapropel).

The degree of contamination is determined by ash content A^d , % mass, whereas in humus deposits coals with high purity may be distinguished ($<10\% A^d$), medium purity (10–20% A^d), low purity (20–30% A^d), very low purity (30–50% A^d) and carbonaceous shales (50–80% A^d), whereas sapropel coals contain 50% A^d ($>50\%$ are sapropel shales). Such principles of coal quality estimation make it possible to claim that in the analyzed humus coal deposit occurs, of medium coal rank (orthobituminous C) with the purity degree in the range from low to high (see Tab. 1), the graphic representation of which is presented in coal quality maps show in Fig. 2.

3.2. Estimation of coal quality in a deposit according International Coal Codification System, ECE – Genève

The ranges of coal quality parameters in the investigated seam (minimal, maximal and medium) derived from laboratory analyses are compiled in Tab. 1, whereas the results of coal quality estimation in accordance with ECE – Genève with nine parameters assigned to fourteen digital code numbers are compiled in Tab. 2.

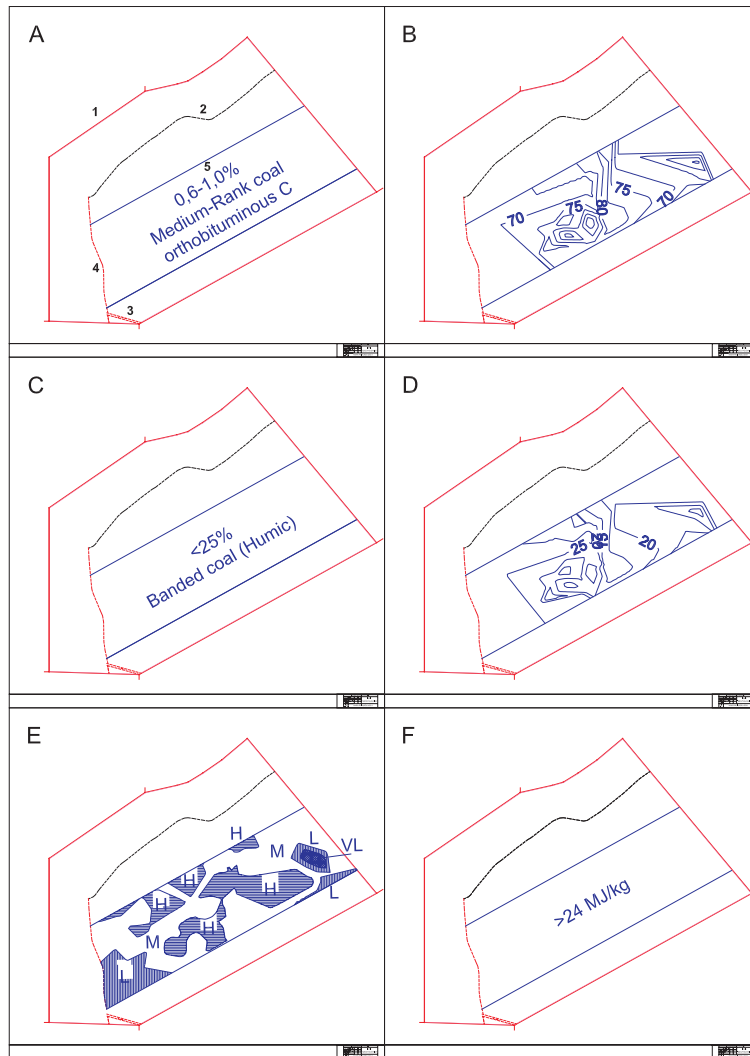


Fig. 2. Maps of coal quality changes in accordance with ECE – International Coal Codification System – Geneve (Tab. 3); A – random reflectance of vitrinite R_r , %; B – percentage of macerals of vitrinite group V_r^{mmf} , %; C – percentage of macerals of liptinite group L^{mmf} , %; D – percentage of maceral of inertinite group I^{mmf} , %; E – ash content A^d , % (*H* – high grade coal, *M* – medium grade coal, *L* – low grade coal, *VL* – very low grade coal); F – gross calorific value GCV^{daf} , MJ/kg; 1 – boundary of the mining area; 2 – coal seam outcrop, 3 – fault; 4 – thrust; 5 – interpolation area

Coal quality parameters in the investigated deposit determined on the grounds of laboratory analyses performed in accordance with the discussed classification

	Minimal	Maximal	Medium
V^{daf} , %	32,3	43,9	36,6
RI , -	19	93	62
b , %	-35	192	36
SI , -	1,5	8,5	6,5
GCV^{daf} , MJ/kg	34,3	46,0	37,6
Coal type	32.2	34.2	-
R_r , %	0,81	0,95	0,88
I^{mmf} , % vol.	10	32	21
L^{mmf} , % vol.	3	12	6
A^d , %	2,3	31,1	10,3
S_t^d , %	0,4	2,4	0,9
Digital code of coal in accordance with ECE	08 0 1 1 1 32 02 04 34	09 0 3 3 8 42 31 24 39	08 0 2 2 6 36 10 09 37
V_t^{mmf} , % vol.	57	86	72
Humus coal. middle coal rank (orthobituminous C) with purity degree in the range from low to high			

The maps of coal quality parameters of analyzed seam, according to ECE Coal Codification System, done on the base of data from Tab. 1 and 2, show Fig. 3.

The greatest advantage of ECE Coal Codification System is the opportunity of continuous representation of changes in coal quality, which facilitates the digital representation of the process of coal quality estimation.

TABLE 2

Ranges of coal quality parameters in accordance with International Coal Codification System, ECE – Genève, with distinguished area of investigation

Random reflectance of vitrinite	Reflectogram characteristics			Inertinite content		Liptinite content		Swelling Index		Volatile matter content		Ash content		Total sulphur content		Gross calorific value	
	R_r [%]	s [-]	Number of gaps	4	I [% obj.]	5	L [% obj.]	6	SI [-]	7, 8 [% mas.]	V_{daf} [% mas.]	9, 10 [% mas.]	A^d [% mas.]	11, 12 [% mas.]	S_t^d [% mas.]	13, 14	Q_s^{daf} [MJ/kg]
02	0,20-0,29	0	≤0,1	0	0-10	0			0-½	48	>48	00	0-1	00	0,0-0,1	21	<22
03	0,30-0,39	1	>0,1≤0,2	1	10-20	1	>0-5	1	1-1½	46	46-48	01	1-2	01	0,1-0,2	22	22-23
04	0,40-0,49	2	>0,2	2	20-30	2	5-10	2	2-2½	44	44-46	02	2-3	02	0,2-0,3	23	23-24
05	0,50-0,59	3	>0,2	3	30-40	3	10-15	3	3-3½	42	42-44	03	3-4	03	0,3-0,4	24	24-25
06	0,60-0,69	4	>0,2	4	40-50	4	15-20	4	4-4½	40	40-42	04	4-5	04	0,4-0,5	25	25-26
07	0,70-0,79	5	>0,2	5	50-60	5	20-25	5	5-5½	38	38-40	05	5-6	05	0,5-0,6	26	26-27
08	0,80-0,89			6	60-70	6	25-30	6	6-6½	36	36-38	06	6-7	06	0,6-0,7	27	27-28
09	0,90-0,99			7	70-80	7	30-35	7	7-7½	34	34-36	07	7-8	07	0,7-0,8	28	28-29
10	1,00-1,09			8	80-90	8	35-40	8	8-8½	32	32-34	08	8-9	08	0,8-0,9	29	29-30
11	1,10-1,19			9	>90	9	>40	9	9	30	30-32	09	9-10	09	0,9-1,0	30	30-31
12	1,20-1,29									28	28-30	10	10-11	10	1,0-1,1	31	31-32
13	1,30-1,39									26	26-28	11	11-12	11	1,1-1,2	32	32-33
14	1,40-1,49									24	24-26	12	12-13	12	1,2-1,3	33	33-34
15	1,50-1,59									22	22-24	13	13-14	13	1,3-1,4	34	34-35
16	1,60-1,69									20	20-22	14	14-15	14	1,4-1,5	35	35-36
17	1,70-1,79									18	18-20	15	15-16	15	1,5-1,6	36	36-37
18	1,80-1,89									16	16-18	16	16-17	16	1,6-1,7	37	37-38
19	1,90-1,99									14	14-16	17	17-18	17	1,7-1,8	38	38-39
20	2,00-2,09									12	12-14	18	18-19	18	1,8-1,9	39	>39
21	2,10-2,19									10	10-12	19	19-20	19	1,9-2,0		
22	2,20-2,29									09	9-10	20	20-21	20	2,0-2,1		
23	2,30-2,39									08	8-9			21	2,1-2,2		
24	2,40-2,49									07	7-8			22	2,2-2,3		
25	2,50-2,59									06	6-7			23	2,3-2,4		
...										05	5-6			24	2,4-2,5		
30	3,00-3,09									04	4-5			25	2,5-2,6		
...										03	3-4			26	2,6-2,7		
40	4,00-4,09									02	2-3			27	2,7-2,8		
...										01	1-2			28	2,8-2,9		
50	>5,00													29	2,9-3,0		
														30	3,0-3,1		

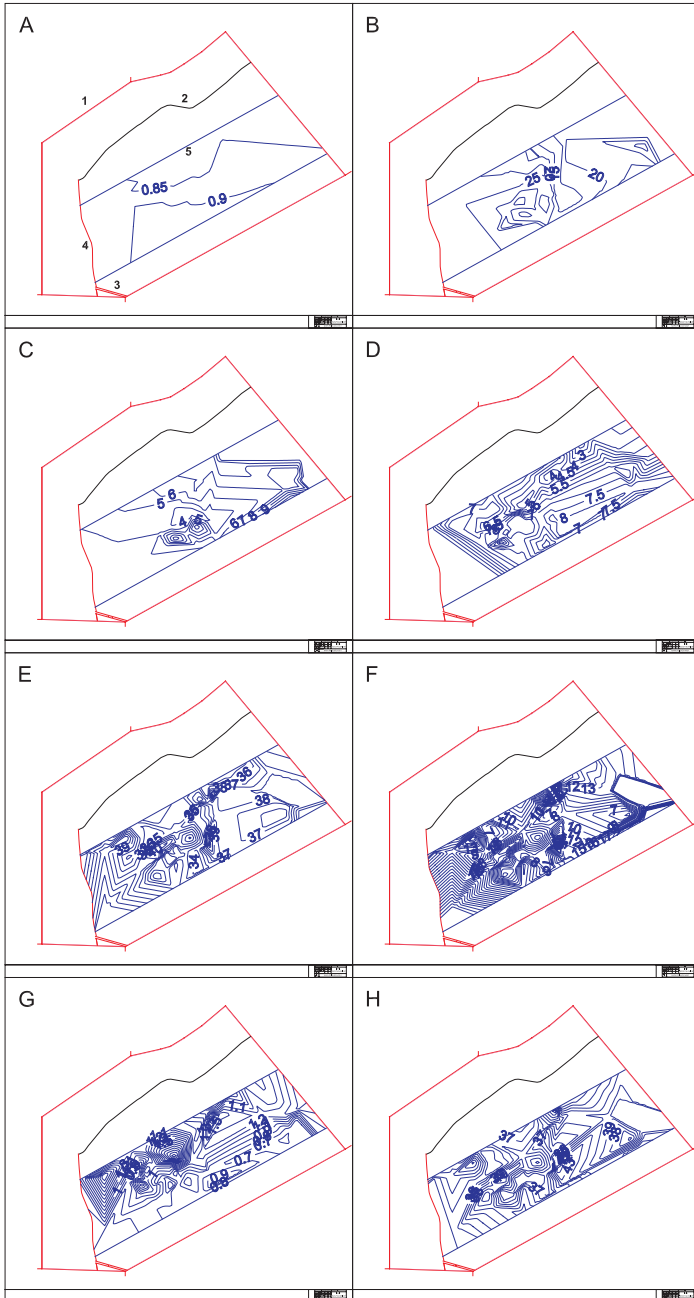


Fig. 3. Maps of coal quality parameters in accordance with ECE – Genève System devised on the bases of the data compiled in Tab. 1 and 2. A – random reflectance of vitrinite R_r , %; B – percentage of macerals of inertinite group I^{mmf} , %; C – percentage of macerals of liptinite group L^{mmf} , %; D – Swelling Index SI , -; E – volatile matter content V^{daf} , %; F – ash content A^d , %; G – total sulfur content S^d , %; H – gross calorific value GCV^{daf} , MJ/kg; other denotations in accordance with Fig. 2

3.3. Estimation of coal quality in accordance with the Polish Standard PN-82/G-97002

The classification of hard coal types is shown in Fig. 3, whereas the differentiation into volatile matter content and Roga Index RI in Fig. 4.

TABLE 3

Technological types of hard coal in accordance with PN-82/G-97002 with distinguished area of coal investigation

Coal type		Volatile matter content V^{daf}	Roga Index RI	Dilatation b	Swelling Index SI	Gross Calorific Value GCV^{daf}	
Name	tag	%	-	%	-	MJ/kg	
Flame coal	31.1	>28	≤ 5			≤ 31	
	31.2					>31	
Gas-flame coal	32.1		>5 – 20				
	32.2		>20 – 40				
Gas coal	33		>40 – 55				
Gas-coking coal	34.1		>55			No dilatation or <0	
	34.2					≥ 0	
Ortho-coking coal	35.1		>26 – 31			>30	
	35.2A ¹⁾		>20 – 26				>7,5
	35.2B ¹⁾						$\leq 7,5$
Meta-coking coal	36	>14 – 20	>45	>0			
Semi-coking coal	37.1	>20 – 28	≥ 5				
	37.2	>14 – 20					
Short-flame coal	38	>14 – 28	<5				
Anthracite coal	41	>10 – 14					
Antracite	42	≥ 3 – 10					
Meta-anthracite	43	<3					

Notice: In free spaces the determination of parameters is not required.

¹⁾ A supplementing parameter of 35.2 coal type the content of inertinite, which in coal type 35.2A should not exceed 30%.

As seen from the data presented in Fig. 3 and Fig. 4 the volatile matter content is the only parameter that distinguishes all hard coal types in accordance with the Polish Standards. Likewise, Roga Index RI , for 41 to 43 types is default as 0. The dilatation, Swelling Index SI and the inertinite content are used for coking coal differentiations and gross calorific value GCV only for the lowest coal ranks in view of energy production.

The differentiation of the lowest coal types 33, 34, 35, 36 and 37 is according to PN not precise enough to testify: „partial overlap of the fields” and their occurrence posing options of unequivocal coal type detected deposit (Fig. 4).

The coal ranks in the discussed seam in accordance with PN are represented in 32.2, 34.1 and 34.2 types, meaning the occurrence of power and coking coal.

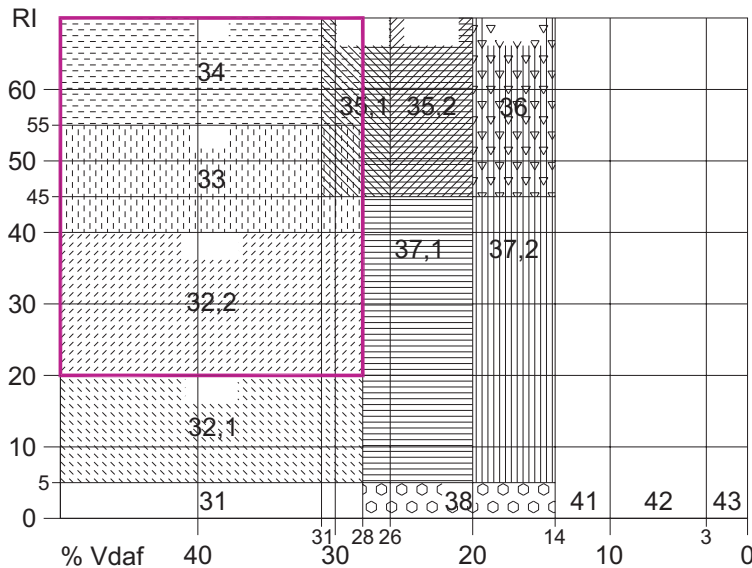


Fig. 4. The variability in coal quality classification according to PN (Probierz, 1998; Gabzdyl et al., 1994) with distinguished investigated coal area

This indicates the occurrence of power coal as well as coking coal. Basing on the data presented in Tab. 1 and Tab. 3, maps of particular coal parameters were plotted in a given deposit (Fig. 5). The plotted boundary quality isolines are in accordance with coal quality types after PN and data from Tab. 3 and Fig. 4. The superposition of the maps of particular quality parameters (Fig. 5 A, B, C, D, E) facilitated the plotting of the map of coal types (Fig. 5 F).

As seen in Fig. 5 coal type 33 was not determined on the base of single laboratory analysis. While designing the standard, PN authors did not consider the possibility of coals 32 occurrence right next to coals 34.

3.4. The importance of petrography studies in coal quality estimation

The Polish Standard, apart from ambiguity in coal classification, exposes one drawback involving the absence of coal petrography studies. This concerns, first and foremost, the determination of random reflectance of vitrinite and the absence of this information does not enable precise determination of the coal rank, which is the first-class coal determination parameter. Its use, as well as the reflectogramme makes it possible to differentiate coal blends from homogeneous coals (Fig. 6). The absence of knowledge of reflectance parameters may lead to substantial errors in the accuracy of coal estimation parameters, both in the area of particular seams (lateral changes) as well as in the deposit, in geological cross-sections (vertical changes).

The knowledge of coal reflectance may still be insufficient for accurate coal quality estimation. There are coals of almost identical reflectance, yet differing in volatile matter content

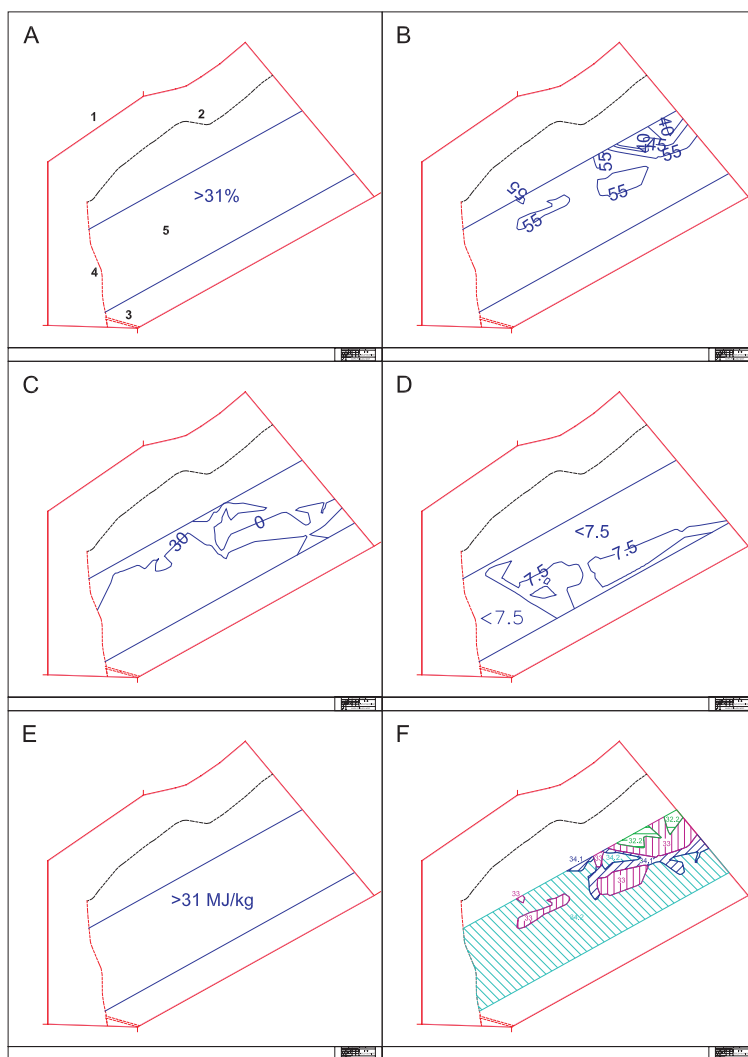


Fig. 5. Maps of coal quality parameters and coal types in accordance with PN; A – volatile matter content V^{daf} , %; B – Roga Index RI , -; C – dilatation b , %; D – Swelling Index SI , -; E – gross calorific value GCV^{daf} , MJ/kg; F – map of coal technology types (32.2 and 33 – power coal 34.1 and 34.2 – coking coal); other denotations – see Fig. 2

depending on essential differences in their petrographic composition. The macerals of inertinite group are characterized by the lack of coking properties or low coking properties and low volatile content. Thus, the predominance of inertinite macerals exerts an impact on volatile matter content in coal (sample A, Fig. 7), whereas the predominance of the vitrinite group in the volumetric sample exerts a positive impact on the coking properties and some improvement of volatile content (sample B, Fig. 7).

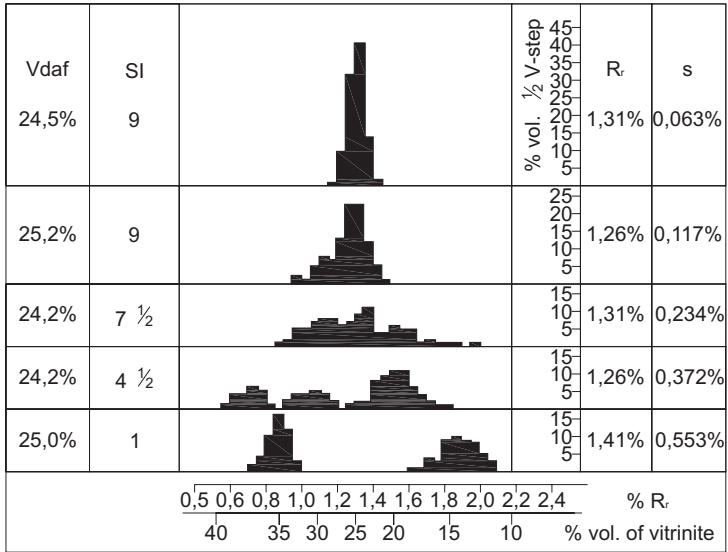


Fig. 6. Compilation of quality parameters of selected coal blends (according Stach et al., 1982; altered and simplified)

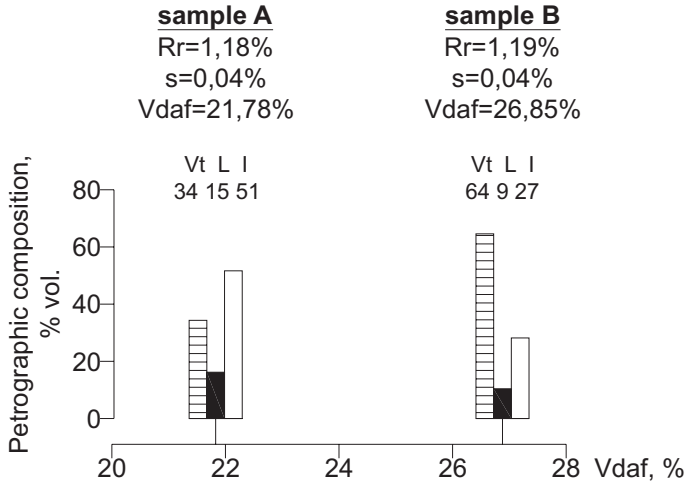


Fig. 7. Compilation of the petrographic composition and volatile matters content in two samples with similar random reflectance of vitrinite value (Probiez, 1998; Gabzdyl & Probiez, 1986)

Petrographic studies do not always include the volumetric percentage of particular macerals groups. In some cases it is not sufficient to determine the morphological properties, including the colour and contrast differences, as well as in determining fluorescence and shades, i.e. petrographic quality studies. The most useful observations for such studies are differences in macerals

of vitrinite and liptinite groups. In low rank coals it is easier to detect the difference between liptinite macerals, for example: sporinite, cutinite (Fig. 8 A, B). With the increase of coal rank, the differences in the contrast gradually disappear, and in anthracites cutinitic pseudo-morphoses may even show bigger reflectance in comparison with vitrinite. The presence of macerals may be easily indicated by observations of intersecting (Fig. 8 C, D).

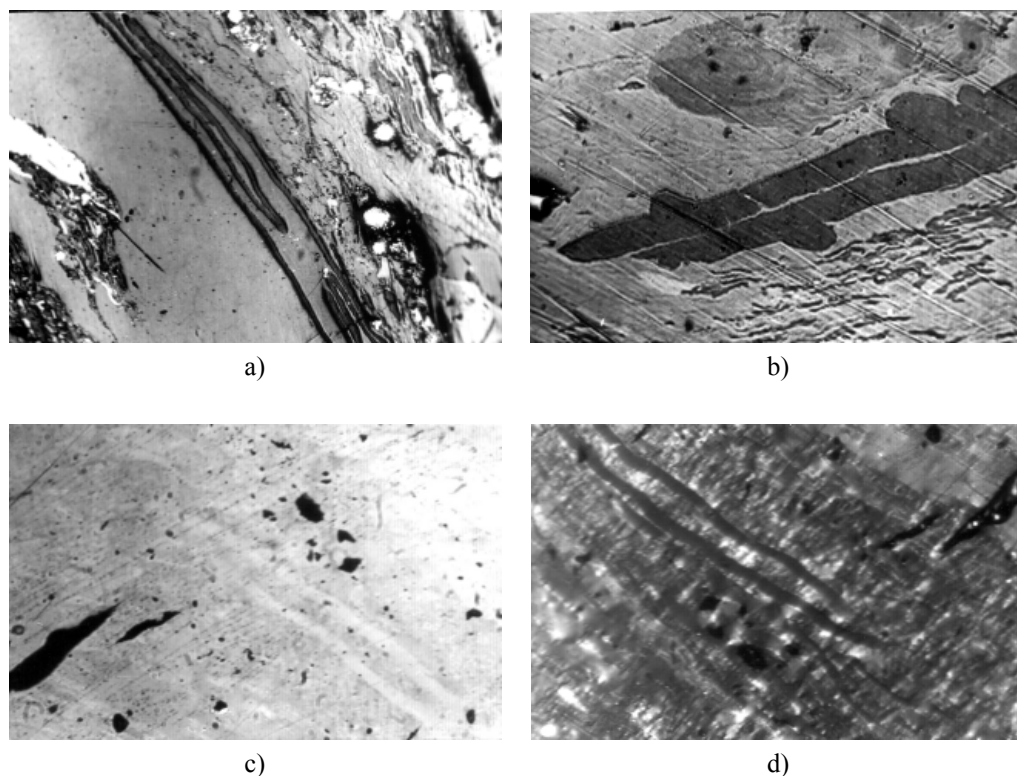


Fig. 8. Differences in the contrast between liptinite and vitrinite macerals: A – elongated cutinite (dark and thin) clearly contrasting with the adjacent collotelinite (coking coal $R_r = 1.02\%$, seam 404/1 of Borynia coal mine); B – elongated micro spore (in the middle part of the photograph $R_r = 0.96\%$, seam 357/1 of Pniówek coal mine); C – diagonally elongated pseudomorphosis of cutinite with higher reflectance value than vitrinite mass (anthracite $R_r = 3.39\%$, seam 504/2 of Moszczenica coal mine); D – the same photograph at the intersection NX, anisotropy allow to show cutinite shapes

4. Conclusion

The use of specific parameters (their values and, consecutively, the codes required for coal characterization in accordance with ECE – Genève System enables precise determination of coal properties. Yet, the perception of the obtained results is not easy to convey, but is facilitated by IT-assisted digital representation of coal quality estimation.

The application of information technologies seems to be essential for quality assessment and estimation of currently extracted coal, which, for economic reasons, is very important to coal companies, especially to those that plan to extract coking coals in view of their great demand on international markets.

The application of AutoCAD and Surfer makes it possible to estimate coal quality with the required accuracy. Thanks to combined potential of the two software a multi-option process of coal quality estimation is achieved enabling the choice of the optimal method, i.e. the most representative and burdened with smallest errors.

The comparison of coal quality estimation methods in a deposit on the grounds of ECE – Genève Codification System and the Polish Standard: PN-82/G-97002 revealed some essentials differences, concerning, first and foremost, the obtained results. According to the Polish Standard, the most important coal quality determinant is the designation of coal type (which may result in the discussed inconveniences, inaccuracies and unforeseen results). This could be suitable, if, the ranges of coal quality parameters were used consistently. The use of coal type is relatively easy and practically applicable, unfortunately, the abundance of coal variety occurring in different deposits located in various countries of the world does not facilitate such simple description. Many years of extensive coal studies point out to the dependence of PN standard parameters on the petrographic composition. The absence of using coal quality estimation methods such as random reflectance of vitrinite, the demarcation of maceral groups, lower the accuracy of coal quality estimation in accordance with the Polish Standard. Thus, other international standards should be applied. The scope of the paper is to indicate that the Polish Standard PN-82/G-97002 characterizing hard coal types does not facilitate precise estimation of coal quality parameters in a deposit.

The standard is mainly based on the volatile matter content - dependent on the petrographic composition, but disregarding international commonly applied indices that make it possible to determine coal rank and random reflectance of vitrinite, as well as the petrographic composition.

References

- Gabzdyl W. et al., 2003. *Występowanie i rozmieszczenie typów technologicznych węgla, określone na kolejnych etapach rozpoznawania złóż, na przykładzie KWK Szczygłowice i KWK Pniówek w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Górnictwo, z. 257, 193-206.
- Gabzdyl W., Hanak B., Probiez K., 1994. *Zmienność jakości węgla kamiennego w pokładach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. VIII Konferencja z cyklu: „Zagadnienia surowców energetycznych w gospodarce krajowej” pt. „Wpływ jakości węgla na jego racjonalne użytkowanie i ochronę środowiska”, Kraków, Polska, 1-12.
- Gabzdyl W., Probiez K., 1986. *Pozycja węgla z południowej części Rybnickiego Okręgu Węglowego (typy 34–42) w klasyfikacji genetyczno-przemysłowej*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Górnictwo, z. 149, 487-499.
- Gabzdyl W., Probiez K., Marcisz M., 2004. *Dokładność rozpoznania geologicznego złoża a możliwość selektywnej eksploatacji pokładów węgla*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Górnictwo, z. 260, 69-79.
- Probiez K. (red.) et al., 2003. *Monitoring jakości węgla kamiennego od złoża poprzez procesy eksploatacji i przeróbki do produktu handlowego*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Probiez K. (red.) et al., 2006. *Monitoring petrologiczny jakości węgla kamiennego (pokłady węgla – procesy przerobcze – produkt handlowy)*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Probiez K., 1998. *Uwagi do ilościowej i jakościowej weryfikacji bazy zasobowej w kopalniach węgla GZW*. Prace Naukowe GIG, seria: Konferencje, nr 24, 95-105.

- Probierz K., Lewandowska M., 2003. *Warunki termiczne masywu skalnego w północno-zachodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego a możliwości generowania węglowodorów*. Archives of Mining Sciences, vol. 48, no. 1, p. 3-35.
- Probierz K., Lewandowska M., Marcisz M., 2007. *Recognize of possibilities of coking coals occurrence on the basis of petrographical analysis*. 16th Conference on Engineering Geology, Bochum, Niemcy, 405-412.
- Probierz K., Łozińska M., Kaliski M., 2006. *Charakterystyka jakości surowca do produkcji cementu ze złoża „Folwark” w kredowej niecce opolskiej (zachodnia część Górnego Śląska, Polska)*. Archives of Mining Sciences, vol. 51, no. 1, p. 55-57.
- Probierz K., Marcisz M., 2000. *Zastosowanie kombinacji programów AutoCAD i Surfer do konstrukcji map jakości węgla*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Górnictwo, z. 246, 439-450.
- Probierz K., Marcisz M., 2004a. *Metoda konstrukcji cyfrowych map geologicznych*. 13. semináře Moderní matematické metody v inženýrství (3mi), Dolní Lomná, Republika Czeska, 143-149.
- Probierz K., Marcisz M., 2004b. *Zastosowanie kombinacji programów AutoCAD i Surfer do konstrukcji map górniczo-geologicznych*. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, seria: Wykłady, nr 27, 149-159.
- Probierz K., Marcisz M., 2007a. *Nowe szanse i możliwości wykorzystania programów AutoCAD i Surfer do konstrukcji map górniczo-geologicznych – ich znaczenie w procesie kontroli jakości węgla i planowania produkcji kopalni*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, t. 23, 259-195.
- Probierz K., Marcisz M., 2007b. *The digital mining-geology maps*. 16th Conference on Engineering Geology, Bochum, Niemcy, 191-195.
- Probierz K., Marcisz M., 2009. *Szacowanie jakości węgla w złożu według Polskiej Normy i Międzynarodowego Systemu Kodyfikacji Węgla z użyciem programów Surfer i AutoCAD*. Przegląd Górniczy, nr 3-4, 19-24.
- Stach E. et al., 1982. *Stach's Textbook of Coal Petrology*. Gebrüder Borntraeger, Berlin – Stuttgart.

Received: 02 July 2010