



Zależność między granicznym kątem zwilżania a średnim napięciem powierzchniowym zwilżania węgla o różnym stopniu zmetamorfizowania

The relationship between contact angle and mean critical surface tension of coals of different rank

Jerzy SABLIK¹⁾

¹⁾ Prof. dr hab.; Główny Instytut Górnictwa, Zakład Oceny Jakości i Wzbogacania Kopaliny; Pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice; tel. (+48-12) 259-22-85, fax: (+48-32) 259-65-33, e-mail: jsablik@gig.katowice.pl

RECENZENCI: Prof. dr. eng. Sanda KRAUSZ; prof. dr hab. inż. Jan DRZYMAŁA

Streszczenie

Badano empiryczne zależności między granicznym kątem zwilżania powierzchni węgla θ a średnim napięciem powierzchniowym zwilżania $\bar{\gamma}_c$. Aby uzyskać odpowiednie dane badano 20 próbek węgla kamiennych o różnym stopniu zmetamorfizowania. Stwierdzono zależność funkcyjną między badanymi parametrami, którą ilościowo opisano równaniem regresji. Wykorzystując wartości $\bar{\gamma}_c$ i niejednorodności energetycznej w zbiorze ziaren σ_x badanych węgla oraz wyżej wymienione równanie określono przedziały wartości, w których mogą się mieścić graniczne kąty zwilżania w zbiorze ziaren danego węgla. Wyznaczono także wartość napięcia powierzchniowego zwilżania $\gamma_{(\theta=0)}$, powyżej której kąt zwilżania powierzchni węgla wynosi zero. Dla badanych węgla wartość ta wynosi 57,838 mJ/m². Wykorzystując krzywe rozkładu energii powierzchniowej w zbiorze ziaren, określono udział w danym zbiorze ziaren o kącie zwilżania równym zero.

Summary

Empirical relationships between the contact angle of coal surface θ and the mean critical surface tension of wetting $\bar{\gamma}_c$ were investigated. In order to obtain suitable data, 20 hard coal samples of different rank were tested. The functional relationship between investigated parameters was stated, described quantitatively by means of a regression equation. Using the $\bar{\gamma}_c$ and energetic nonhomogeneity values in the set of particles σ_x of tested coals as well as the above mentioned equation, the intervals of values were determined, in which the contact angles in the set of grains of the given coal can be contained. Moreover, the value of surface tension of wetting $\gamma_{(\theta=0)}$, above which the contact angle of coal surface is equal to zero, was calculated. For tested coals this value amounts to 57.838 mJ/m². Using curves of surface energy distribution in the set of particles, the share of particles with contact angle equal to zero in the given set was determined.

1. Wprowadzenie

Właściwości technologiczne bardzo drobnych ziaren węgla o różnym stopniu zmetamorfizowania uwarunkowane są w decydującym stopniu charakterystyką energetyczną ich powierzchni. Znajomość właściwości powierzchniowych najdrobniejszych ziaren umożliwia prognozowanie ich aktywności w takich procesach jak flotacja, aglomeracja, filtracja, sedymentacja i inne. Aby uzyskać informacje o stanie energetycznym powierzchni ziaren węgla wykorzystuje się takie metody badawcze jak stosowany najczęściej, ale obarczony trudnymi do uniknięcia wadami, pomiar granicznego kąta zwilżania [Eliaszewicz 1941, Sablik 1980, Sablik i Makula 1984], pomiar ciepła zwilżania [Petuchow i Popowa 1975, Popowa i Petuchow 1976], pomiar energii adsorpcji [Pregorlinskaja i Zubkova 1976], pomiar potencjału elektrokinetycznego [Jesop i Stretton 1969, Fuerstenau i Pradip 1990], a ostatnio także opracowaną w latach osiemdziesiątych ubiegłego stulecia metodę frakcjonowanej flotacji powierzchniowej [Fuerstenau et al. 1990, 1991, Diao i Fuerstenau

1. Introduction

The technological properties of superfine coal particles of different rank are conditioned to an essential degree by the energetic characteristics of their surfaces. The knowledge of surface properties of superfine particles enables to predict their activities in such processes as flotation, agglomeration, filtration, sedimentation, and others. In order to obtain information about the energetic state of coal particle surfaces, such testing methods are used as the contact angle measurement (applied most frequently, but subject to faults being difficult to avoid) [Eliaszewicz 1941, Sablik 1980, Sablik and Makula 1984], wetting heat measurement [Petuchow and Popowa 1975, Popowa and Petuchow 1976], adsorption energy measurement [Pregorlinskaja and Zubkova 1976], electrokinetic potential measurement [Jesop i Stretton 1969, Fuerstenau and Pradip 1990], and recently also the film flotation method [Fuerstenau et al. 1990, 1991, Diao and Fuerstenau 1991], developed in the eighties of the past century. The use of the last method enables to obtain most

1991]. Stosowanie tej ostatniej metody umożliwia uzyskiwanie najpełniejszych informacji o stanie energetycznym powierzchni ziaren w danym zbiorze, a także o zmianach energetycznych właściwości powierzchniowych po zwilżeniu ich powierzchni odczynnikami technologicznymi [Sablik i Wierzchowski 1994, 1995, 2001]. Badane były także i określone zależności między granicznymi kątami zwilżania a napięciem powierzchniowym zwilżania. Wyprowadzone w wyniku tego równanie [Neumann i Good 1972, Neumann et al. 1974,], było doskonałe [Fuerstenau et al. 1990, Li i Neumann 1992] i wykorzystywane do określania niejednorodności powierzchni węgla [Laskowski et al. 2002].

Przedstawiono wyniki kolejnych badań i rozważań nad zależnością między granicznymi kątami zwilżania węgla o różnym stopniu uwęglenia a średnim krytycznym napięciem powierzchniowym zwilżania tych węgla z wykorzystaniem rezultatów bezpośrednich pomiarów obu tych parametrów na dwudziestu próbkach węgla.

2. Charakterystyka badanych węgla

Charakterystykę badanych węgla przedstawiono w tablicy 1. Przedmiotem badań były węgle o różnym stopniu uwęglenia, o zawartości węgla pierwiastkowego (C^{daf}) od 77,46% do 89,60%, to jest węgle kamienne subbitumiczne i bitumiczne. Próbkę węgla dobierane były tak aby zawartość w nich minerałów popiołotwórczych była minimalna, występują jednak różnice zawartości popiołu w badanych próbkach węgla, których ze względu na właściwości materiału do badań pobieranych z różnych pokładów węgla w różnych kopalniach nie można było uniknąć. W tablicy 1 zamieszczono także wyniki pomiarów granicznych kątów zwilżania badanych węgla, średniego krytycznego napięcia powierzchniowego i niejednorodności energetycznej powierzchni w zbiorze ziaren tych węgla.

3. Metodyka badań

Zawartość węgla pierwiastkowego (C^{daf}) oraz zawartość popiołu w poszczególnych próbkach węgla oznaczono zgodnie z obowiązującymi normami.

Graniczne kąty zwilżania (postępujące) wyznaczono stosując metodę pomiaru ciśnienia kapilarnego w przegrodach z drobnych ziaren badanych węgla [Bartell i Jenings 1934, Sablik i Makula 1984]. Wyznaczenie granicznego kąta zwilżania metodą pomiaru ciśnienia kapilarnego umożliwiło otrzymanie uśrednionej wartości tego kąta, uzależnionej od powierzchniowych właściwości energetycznych wszystkich ziaren w danym zbiorze. Uznać to można za korzystne z punktu widzenia celu badań, który realizowano.

complete information about the energetic state of particle surfaces in the given set and also about changes concerning surface energetic properties after wetting the particle surfaces by means of technological reagents [Sablik and Wierzchowski 1994, 1995, 2001]. Furthermore, there were investigated and determined relationships between contact angles and surface tension of wetting. An equation [Neumann and Good 1972, Neumann et al. 1974] derived as a result of this process was improved [Fuerstenau et al. 1990, Li and Neumann 1992] and used to determine coal surface nonhomogeneity [Laskowski et al. 2002].

The effects of subsequent investigations and considerations regarding the relationship between the contact angles of coals of different rank and the mean critical surface tension of these coals were presented. Direct measurement results of both these parameters with reference to twenty coal samples were used.

2. Characteristics of tested coals

The characteristics of tested coals was presented in Table 1. The subject of investigations constituted coals of different rank, with carbon content (C^{daf}) ranging from 77.46 per cent to 89.60 per cent, i.e. subbituminous and bituminous hard coals. Coal samples were selected using a method that assures the minimum level of content of minerals creating ashes. There occur, however, differences regarding the ash content in the tested coal samples, which because of the properties of materials for tests originating from different coal seams in different mines could not be avoided. In Table 1 there were also presented the measurement results of contact angles, mean critical surface tension of wetting, and surface energetic nonhomogeneity in the set of particles of these coals.

3. Experimental

The carbon (C^{daf}) content and ash content in individual coal samples were determined in conformity with obligatory standards.

The contact angles (advancing) were determined using the method of capillary pressure measurement in fine particle divisions of tested coals [Bartell and Jenings 1934, Sablik and Makula 1984]. The determination of the contact angle of wetting by means of the capillary pressure measurement method enabled to obtain the averaging value of this angle, dependent on the surface energetic properties of all particles in the given set. This can be recognized as favourable from the viewpoint of realised objective of investigations.

Tablica 1
Charakterystyka i wybrane właściwości badanych węgla

Table 1
Characteristic and selected properties of the tested coal samples

Lp No	Zawartość węgla, Carbon content, C^{daf} , [%]	Zawartość popiołu, Ash content, A^a , [%]	Graniczny kąt zwilżania Contact angle, θ , [deg]	Średnie krytyczne napięcie powierzchniowe zwilżania, wg (1) Mean critical surface tension, $\bar{\gamma}_c$, [mJ/m ²]	Niejednorodność energetyczna, wg (2) Energetic nonhomogeneity, $\sigma_{\gamma c}$, [mJ/m ²]
1	78,48	6,41	49	54,7	12,1
2	77,46	3,42	54	55,2	11,9
3	79,19	6,28	49	54,3	7,3
4	80,90	6,60	53	53,2	11,9
5	82,80	2,30	78	49,9	8,0
6	81,91	9,70	81	46,1	8,9
7	80,70	4,72	80	49,5	7,3
8	82,23	7,70	84	47,9	7,6
9	84,76	5,26	85	46,5	7,5
10	86,47	2,36	87	47,9	10,2
11	84,45	12,63	85	44,0	6,7
12	84,50	3,80	84	44,2	6,7
13	85,00	4,61	85	42,8	6,1
14	85,80	3,80	86	45,4	5,9
15	87,10	2,30	87	42,2	5,6
16	87,36	3,28	88	43,2	6,9
17	87,10	2,40	87	42,2	6,0
18	87,11	4,20	86	43,6	5,9
19	88,73	2,61	87	41,8	5,4
20	89,60	8,10	87	40,8	8,1

Krytyczne napięcie powierzchniowe zwilżania wyznaczono metodą frakcjonowanej flotacji powierzchniowej (film flotation) opracowaną przez D.W. Fuerstenau'a i współpracowników [Fuerstenau et al. 1990, 1991, Diao i Fuerstenau 1991]. Sposób wyznaczania krytycznego napięcia powierzchniowego zwilżania ciał niskoenergetycznych metodą Fuerstenaua opisano także w pracach Sablika i Wierzchowskiego [Sablik 1998, Sablik i Wierzchowski 2001]. Wartości średniego krytycznego napięcia powierzchniowego zwilżania obliczono z zależności:

The critical surface tension of wetting was determined by means of the film flotation method developed by D.W. Fuerstenau and co-workers [Fuerstenau et al. 1990, 1991, Diao and Fuerstenau 1991]. The determination manner of critical surface tension of wetting relating to low-energetic bodies by means of the Fuerstenau's method was also described in the works of Sablik and Wierzchowski [Sablik 1998, Sablik and Wierzchowski 2001]. The values of the mean critical surface tension of wetting were calculated from the relationship:

$$\bar{\gamma}_c = \int_{\gamma_{c \min}}^{\gamma_{c \max}} \gamma_c f(\gamma_c) d\gamma_c \quad (1)$$

a wartości niejednorodności energetycznej w zbiorze ziaren z zależności:

and the values of energetic nonhomogeneity in the set of particles from the relationship:

$$\sigma_{\gamma c} = \sqrt{\int_{\gamma_{c \min}}^{\gamma_{c \max}} (\gamma_c - \bar{\gamma}_c)^2 f(\gamma_c) d\gamma_c} \quad (2)$$

gdzie:

- γ_c — krytyczne napięcie powierzchniowe zwilżania ziaren,
- $f(\gamma_c)$ — funkcja gęstości (histogram) krytycznego napięcia powierzchniowego zwilżania

4. Wyniki badań

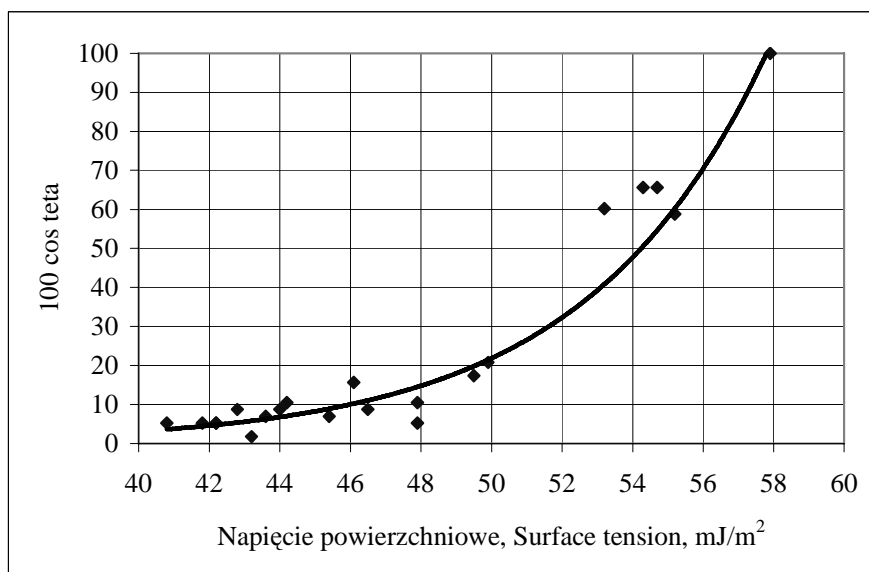
Wyniki badań przedstawiono w tablicy 1 i na rysunku 1. Jak to już wcześniej wykazano [Eliaszewicz 1941, Sablik i Makula 1984] graniczne kąty zwilżania węgla kamiennego zależą od stopnia jego zmetamorfizowania i wraz ze wzrostem tego stopnia rosną. Graniczny kąt zwilżania dla badanych najniżej uwęglonych węgla wynosił 49 stopni, a dla węgla najwyżej uwęglonych 87–88 stopni. Także wcześniej stwierdzono, że wraz ze wzrostem uwęglenia maleje średnie krytyczne napięcie powierzchniowe zwilżania [Wierzchowski i Sablik 1993] podobnie jak i niejednorodność energetyczna powierzchni w danym zbiorze drobnych ziaren. W badanym przypadku wartości krytycznego napięcia powierzchniowego zwilżania mieściły się w przedziale 55,2 mJ/m² (w przypadku węgla najniżej uwęglonych) do 40,8 (w przypadku węgla najwyżej uwęglonych).

where:

- γ_c — critical surface tension of wetting
- $f(\gamma_c)$ — density function (histogram) of critical surface tension of wetting

4. Results

The results of investigations were presented in Table 1 and Figure 1. As it was indicated before [Eliaszewicz 1941, Sablik and Makula 1984], the contact angle of hard coal depends on its rank and increases along with the growth of this rank. The contact angle for tested coals of the lower rank was equal to 49 deg, and for coals of the highest rank to 87–88 deg. It has been also stated before that along with the increase of rank decreases the mean critical surface tension of wetting [Wierzchowski and Sablik 1993], similarly as the energetic nonhomogeneity of surface in the given set of fine particles. In the investigated case the values of the critical surface tension of wetting were contained within the interval from 55.2 mJ/m² (in the case of coals of the lowest rank) to 40.8 mJ/m² (in the case of coals of the highest rank).



Rys. 1

Zależność między granicznym kątem zwilżania a średnim krytycznym napięciem powierzchniowym zwilżania węgla o różnym stopniu zmetamorfizowania.

Fig. 1

Dependence between contact angle and mean critical surface tension of wetting for coals of different rank

Na rysunku 1 przedstawiono wykres zależności $\cos \theta = f(\gamma_c)$. Równanie regresji krzywej, dla której współczynnik korelacji jest największy i wynosi 0,90 jest równaniem wykładniczym, zapisać można w postaci:

In Figure 1 the diagram of the relationship $\cos \theta = f(\gamma_c)$ was presented. The regression equation of the curve, for which the correlation coefficient is the highest one and amounts to 0.90, is an exponential equation. It can be written in the form:

$$100 \cos \theta = 0.0012 \exp 0.1959 \bar{\gamma}_c \quad (3)$$

gdzie:

- θ — graniczny kąt zwilżania
 $\bar{\gamma}_c$ — średnie napięcie powierzchniowe zwilżania

Na wykresie zaznaczono także ekstrapolowaną wartość $\bar{\gamma}_c$ dla przypadku kiedy $\cos \theta = 1$. Wartość ta wynosi około 57,8387 mJ/m². Empiryczne równanie (3) opisuje w sposób ilościowy zależność między granicznym kątem zwilżania a średnim napięciem powierzchniowym zwilżania węgla kamiennych o różnym stopniu zmetamorfizowania.

Wykorzystując dane dotyczące średniego napięcia powierzchniowego zwilżania $\bar{\gamma}_c$ i niejednorodności energetycznej powierzchni ziaren badanych węgla w zbiorze $\sigma_{\gamma c}$, (tablica 1) oraz równanie (3) obliczono minimalne (dla przypadku $\bar{\gamma}_c + \sigma_{\gamma c}$) i maksymalne (dla przypadku $\bar{\gamma}_c - \sigma_{\gamma c}$) graniczne kąty zwilżania ograniczające przedziały wartości tych kątów, którymi mogą charakteryzować się powierzchnie ziaren węglowych w danym zbiorze. Wartości te zestawiono w tablicy 2.

where:

- θ — contact angle
 $\bar{\gamma}_c$ — mean critical surface tension of wetting

In the diagram was also marked the extrapolated value $\bar{\gamma}_c$ for the case, when $\cos \theta = 1$. This value amounts to about 57.8387 mJ/m². Empirically this equation describes in a quantitative mode the relationship between the contact angle and mean critical surface tension of wetting of hard coals with different rank.

Using data concerning the mean surface tension of wetting $\bar{\gamma}_c$ and energetic surface nonhomogeneity of tested coal particles in the set $\sigma_{\gamma c}$, (Table 1), and the equation (3), one has calculated the minimum (for the case $\bar{\gamma}_c + \sigma_{\gamma c}$) and maximum (for the case $\bar{\gamma}_c - \sigma_{\gamma c}$) contact angles limiting the value intervals of these angles, by which the surfaces of coal particles in the given set can be characterized. These values were specified in Table 2.

Tablica 2

Graniczne kąty zwilżania w zbiorze drobnych ziaren węgla uwarunkowane niejednorodnością energetyczną ich powierzchni obliczone z wykorzystaniem równania (3)

Table 2

Contact angles of surfaces in a set of little coal particles conditioned by energetic nonhomogeneity of these surfaces and calculated using equation (3)

Lp. jak w tab. 1 No as in Tab. 1	$\bar{\gamma}_c + \sigma_{\gamma c}$ mJ/m ²	Minimalny graniczny kąt zwilżania, The smallest contact angle deg	$\bar{\gamma}_c - \sigma_{\gamma c}$ mJ/m ²	Maksymalny graniczny kąt zwilżania, The greatest contact angle deg
1	66,8	0	42,6	86
2	67,1	0	43,3	86
3	61,6	0	47,0	82
4	65,1	0	41,3	87
5	57,9	0	41,9	87
6	55,0	53	37,2	89
7	56,8	57	42,2	87
8	55,5	49	40,3	88
9	54,0	60	39,0	88
10	58,1	0	37,7	88
11	50,7	75	37,3	88
12	50,9	74	37,5	88
13	48,9	79	36,7	89
14	51,3	73	39,5	88
15	47,8	81	36,6	89
16	50,1	77	36,3	89
17	48,2	81	36,2	89
18	49,5	78	37,7	88
19	47,2	82	36,4	89
20	48,9	79	32,7	89

5. Omówienie wyników badań

Próby analitycznego określenia zależności między granicznym kątem zwilżania powierzchni węgla a krytycznym napięciem powierzchniowym tej powierzchni napotykają na trudności. Uzyskane na drodze badań empirycznych wyniki umożliwiły wyznaczenie równania regresji charakteryzującego tę zależność ze stosunkowo wysokim współczynnikiem korelacji. Zarówno równanie (3) jak i wyniki badań zamieszczone w tablicy 1 umożliwiły przeprowadzenie rozważań o właściwościach powierzchniowych węgla kamiennych. Zamieszczone w tablicy 2 wyniki obliczeń wartości granicznych kątów zwilżania z wykorzystaniem wartości średniego krytycznego napięcia powierzchniowego zwilżania $\bar{\gamma}_c$ i niejednorodności energetycznej powierzchni ziaren w zbiorze σ_{γ_c} pozwalają stwierdzić, że wartości granicznych kątów zwilżania podobnie jak napięcie powierzchniowe zwilżania mieszczą się w określonym przedziale, przy czym jego wielkość jest większa w przypadku węgla niżej uwęglonych i mniejsza w przypadku węgla wyżej uwęglonych. W przypadku węgla kamiennych najniżej uwęglonych wartości te mogą się mieścić w przedziale 0–87 stopni, węgla wyżej uwęglonych od około 50–89 stopni, a w przypadku węgla kamiennych najwyższej zmetamorfizowanych przedział ten zawiera się w stosunkowo wąskich granicach od około 80–89 stopni.

Ekstrapolacja krzywej (rys. 1) do wartości rzędnej równej $100 \cos$ oznacza, że $\cos \theta = 1$, a $\theta = 0$ stopni. Zachodzi to kiedy wartość γ_c jest równa $57,838 \text{ mJ/m}^2$ lub większa. Ziarna w takim przypadku nie są w najmniejszym stopniu hydrofobowe i na przykład nie wykazują flotowalności naturalnej. Wartość napięcia powierzchniowego zwilżania równą $57,838 \text{ mJ/m}^2$ nazwać można napięciem powierzchniowym zwilżania zerowego granicznego kąta zwilżania i oznaczyć $\gamma_{c(\theta=0)}$. Można przyjąć, że dla innego niż badany w tym opracowaniu zestaw węgla kamiennych subbitumicznych i bitumicznych wartość $\gamma_{c(\theta=0)}$ może być nieznacznie różna, jednak można założyć, że wartość ta będzie się wahała wokół 58 mJ/m^2 .

Na rys. 2 przedstawiono krzywą rozkładu energii powierzchniowej w zbiorze ziaren jednego z węgla subbitumicznych. Zaznaczono wychód ziaren, których γ_c jest większe od $\gamma_{c(\theta=0)}$ ($58,838 \text{ mJ/m}^2$). Udział takich ziaren, w tym przypadku, wynosi około 8%. Wraz ze wzrostem uwęglenia węgla liczba ziaren, których wartość γ_c jest większa od $\gamma_{c(\theta=0)}$ maleje, a w przypadku najwyższej uwęglonych węgla kamiennych ziarna takie nie występują. W przypadkach niektórych węgla subbitumicznych, których krzywe rozkładu energii powierzchniowej w zbiorze najdrobniejszych ziaren przedstawiono w pracy [Wierchowski i Sablik 1993], udział ziaren o napięciu powierzch-

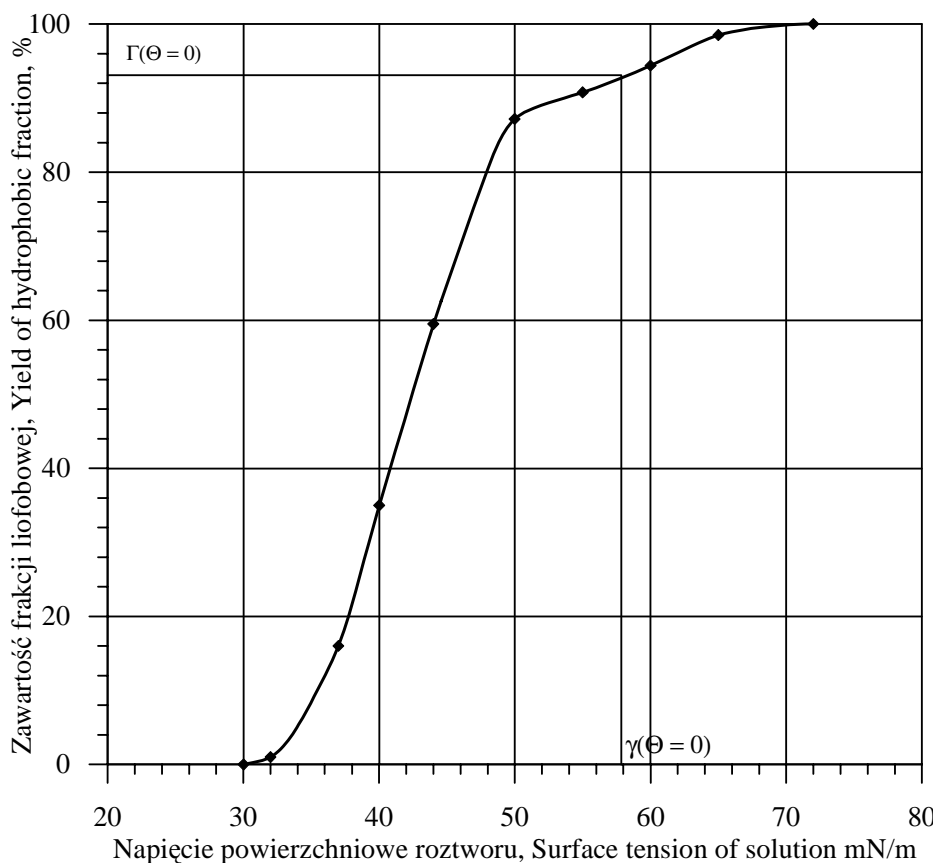
5. Discussion

The trials of analytical determination of the relationship between the contact angle of coal surface and critical surface tension of this surface are subject to difficulties. Results obtained by means of empirical investigations enabled to determine the regression equation characterizing this relationship with a relatively high correlation coefficient. Both the equation (3) and the investigation results represented in Table 1 enabled to perform considerations about the surface properties of hard coals. The represented in Table 2 calculation results of contact angle values with the use of the value of mean critical surface tension of wetting $\bar{\gamma}_c$ and energetic nonhomogeneity of particle surface in the set σ_{γ_c} allow to ascertain that the contact angle values, similarly as the surface tension of wetting, are contained in the determined interval. Its magnitude is higher in the case of lower rank, and lower in the case of coals of higher rank. In the case of hard coals of the lowest rank these values can be contained within the interval 0–87 deg, coals of higher rank from about 50 to 89 deg, and in the case of hard coals of the highest rank, this interval is contained in relatively narrow limits ranging between 80 and 89 deg.

The curve extrapolation (Fig. 1) to the value of ordinate equal to $100 \cos$ means that $\cos \theta = 1$, and $\theta = 0$. This takes place when already the value γ_c is equal to 57.838 mJ/m^2 or more. Such particles are not hydrophobic at all and, for example, do not show natural flotability. The value of the critical surface tension of wetting equal to 57.838 mJ/m^2 can be called the surface tension of wetting of zero contact angle and marked as $\gamma_{c(\theta=0)}$. It can be assumed that for a set of bituminous and subbituminous hard coals differing from these investigated in this study, the value $\gamma_{c(\theta=0)}$ can be insignificantly different; however, one can assume that this value will oscillate around 58 mJ/m^2 .

In Fig. 2 the curve of surface energy distribution in the particle set of one of subbituminous coals was presented. The share of particles with γ_c higher than $\gamma_{c(\theta=0)}$ (58.838 mJ/m^2) was marked. The share of such particles in this case amounts to about 8 per cent. Along with the growth of coal rank decreases the number of particles with value γ_c higher than $\gamma_{c(\theta=0)}$, and in the case of hard coals of the highest rank such particles do not occur. In cases of some subbituminous coals, of which the curves of surface energy distribution in the set of most fine particles were presented in the work [Wierchowski and Sablik 1993], the share of particles with surface tension of wetting higher than $\gamma_{c(\theta=0)}$ can exceed 30 per cent.

niowym zwilżania większym od $\gamma_{c(\theta=0)}$ może być większy od 30 %.



Rys. 2
Skumulowana krzywa rozkładu napięcia powierzchniowego zwilżania węgla subbitumicznego i udział ziaren $[\Gamma_{(\theta=0)}]$ o zerowym kącie zwilżania $[\gamma_{c(\theta=0)}]$ w zbiorze ziaren

Fig. 2
Cumulated distribution curve of critical surface tension of wetting of a subbituminous coal and the share of particles $[\Gamma_{(\theta=0)}]$ with a zero contact angle $[\gamma_{c(\theta=0)}]$ in a particles population

6. Podsumowanie

Przeprowadzone badania umożliwiły ilościową charakterystykę zależności między granicznymi kątami zwilżania powierzchni a napięciem powierzchniowym zwilżania węgla o różnym stopniu zmetamorfizowania. Równanie regresji opisujące tę zależność umożliwia wyznaczenie przedziałów, w których wystąpić mogą wartości granicznych kątów zwilżania w zbiorze ziaren, a wielkość tych przedziałów zależy od stopnia zmetamorfizowania węgla. Równanie to pozwala także wyznaczyć wartość napięcia powierzchniowego zwilżania zerowego granicznego kąta zwilżania $\gamma_{c(\theta=0)}$, kiedy $\cos \theta = 1$. Wartość ta wynosi w przypadku badanych węgla 57,838 mJ/m². Wykorzystanie krzywych rozkładu energii powierzchniowej w danym zbiorze ziaren oraz wartości $\gamma_{c(\theta=0)}$ umożliwia określenie udziału w tym zbiorze ziaren węgla, których powierzchnie mają graniczny kąt zwilżania równy zero.

6. Summary

The performed investigations enabled to obtain a quantitative characteristics of relationships between contact angles and surface tension of wetting of coals with different rank. The regression equation describing this relationship enables to determine intervals, in which the values of contact angles in the set of particles can occur. The magnitude of this intervals depends on the coal rank. This equation allows also to determine the value of the surface tension of wetting of the zero contact angle $\gamma_{c(\theta=0)}$, when $\cos \theta = 1$. This value in the case of tested coals amounts to 57.838 mJ/m². The use of curves of surface energy distribution in the given set of particles as well as value $\gamma_{c(\theta=0)}$ enables to determine in this set the share of coal particles, the surfaces of which have the contact angle equal to zero.

Literatura — References

1. Bartell F.E., Jenings H.Y. 1934: Adhesion tension of liquids against strongly hydrophobic solids. *Journal of Physical Chemistry* T. 38 nr 4, s. 495.
2. Diao J., Fuerstenau D.W. 1991: Characterization of the wettability of solid particles by film flotation., Part II: Theoretical analysis., *Colloids and Surfaces.*, 60.
3. Eliazewicz M. G. 1941: Krajevye ugli smacivanija kak kriterij flotacionnoj sposobnosti uglej. *Trudy Doneckogo Industrialnogo Instituta.*
4. Fuerstenau L.W., Pradip 1980: Zjawiska elektrokinetyczne w układach flotacyjnych. *Fizyko-chemiczne Problemy Mineralurgii* nr 12.
5. Fuerstenau D.W., Diao J., Hanson J.S. 1990.: Estimation of the Distribution of Surface Sites and Contact Angles on Coal Particles from Film Flotation Data., *Energy and Fuels.*, 4, 34.
6. Fuerstenau D.W., J. Diao, M. C. Williams M.C. 1991: Characterization of the wettability of solid particles by film flotation., Part I: Experimental investigation., *Colloids and Surfaces.*, 60.
7. Jesop R.R., J. L. Stretton L.L. 1969: Electrokinetic measurement on coal and a criterion for its hydrophobicity., *Fuel*, v. 48.
8. Laskowski J.S., Holuszko M., Drelich J., Pawlik M. 2002: Fundamental and engineering aspects of coal surface heterogeneity. XIV ICPC and Exhibition, South African Institute of Mining and Metallurgy.
9. Neumann A.W., Good R.J. 1972: *J. Colloid Interface Sci.* 38, 341–358.
10. Neumann A.W., Good R.J., Hope C.J., Sejpal M.. 1974: *J. Colloid Interface Sci.* 49, 291–304.
11. Li D., Neumann A.W. 1992: Contact angles on hydrophobic solid surfaces and their interpretation. *J. Colloid Interface Sci.* 148 pp.190–200.
12. Petuchov V.N., Popowa L.A. 1975: Ocena flotacionnoj aktivnosti uglej metodom teplot smacivanija. *Chimia Tverdogo Topliva* nr 1.
13. Popowa L.A., Petuchov V.N. 1976: Issledovanije floturijemosti uglej rozlicznych stadii metomorfizma putem zamera teplovykh efektov smacivanija. *Chimia Tverdogo Topliva* nr 1.
14. Pregorlinskaja R.V., Zubkova V.N. 1978: Vlijanie metomorfizma kamiennykh uglej na izmienenienie energii adsorpcji. *F. Chimia Tverdogo Topliva* nr 5.
15. Sablik J. 1980: Flotowalność polskich węgla kamiennych jako funkcja stopnia ich uwęglenia. *Prace GIG, seria dodatkowa, Katowice.*
16. Sablik J., Makula K. 1984: Wyznaczanie granicznego kąta zwilżania węgla poprzez pomiar ciśnienia kapilarnego. *Aparatura Naukowa i Dydaktyczna* nr 6.
17. Sablik J., Wierzchowski K. 1993: Effect of a polar wetting agent on the adhesion of air bubbles to various types of coal. *J. Adhesion Sci. Technol.*, Vol. 7, No 5, 435–439.
18. Sablik J., Wierzchowski K., 1994: The Effect of Pre-wetting With Flotation Reagents on the Surface Energy of Coals, *Coal Preparation*, Vol. 15, 25–34.
19. Sablik J., Wierzchowski K. 1995: The film flotation method applied to determine surface energy of coal wetted with flotation agents. *Archives of Mining Sciences* Vol. 40, 111–120.
20. Sablik J.: 1998 *Flotacja węgla kamiennych*. Wyd. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
21. Sablik J., Wierzchowski K. 2001: Characteristic of hard coals surface properties using film flotation. *Inżynieria Mineralna* II 2(4).
22. Wierzchowski K., Sablik J. 1991: Wartości krytyczne swobodnej energii powierzchni polskich węgla kamiennych określone metodą "film flotation". *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii* 24, s. 173–178.
23. Wierzchowski K., Sablik J. 1993: Energia powierzchniowa ziarn w mułach węgla o różnym stopniu zmetamorfizowania. *Prace naukowe GIG, No 775, Katowice.*