



Wartości zerowe aktywności flotacyjnej i granicznego kąta zwilżania węgla w funkcji ich krytycznego napięcia powierzchniowego zwilżania

Zero values of flotation response and contact angle of coals in the function of their critical surface tension of wetting

Jerzy SABLİK¹⁾

¹⁾ Prof. dr hab.; Główny Instytut Górnictwa, Zakład Oceny Jakości i Wzbogacania Kopalini;
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; Dr hab. inż., prof. Pol. Śl. Andrzej ŚLĄCZKA

Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań i obliczeń wartości zerowych flotowalności naturalnej (F_n), flotowalności standardowej ($F_s = \text{uzysk } \varepsilon$) oraz granicznego kąta zwilżania (θ) w funkcji krytycznego napięcia powierzchniowego zwilżania węgla. Stwierdzono, że wartości te są prawie takie same i wynoszą odpowiednio $\gamma_{c(F_n=0)} = 57,90 \text{ mJ/m}^2$, $\gamma_{c(\varepsilon=0)} = 55,73 \text{ mJ/m}^2$ oraz $\gamma_{c(\theta=0)} = 57,87 \text{ mJ/m}^2$. Kiedy krytyczne napięcie powierzchniowe zwilżania węgla ma wartość $\gamma_{c(\theta=0)} = 57,87 \text{ mJ/m}^2$ całkowicie zanika hydrofobowość powierzchni węgla oraz jego aktywność flotacyjna. Wartość $\gamma_{c(\theta=0)}$ można uznać jako cechę charakterystyczną stanu energetycznego powierzchni węgla, przy której następuje całkowity zanik hydrofobowości. Ziarna, których powierzchnie mają napięcie powierzchniowe zwilżania (γ_c) równe lub większe od napięcia powierzchniowego zerowego kąta zwilżania $\gamma_{c(\theta=0)}$ są hydrofilowe, a udział takich ziaren w danej populacji zależy od stopnia zmetamorfizowania węgla i wraz ze wzrostem tego stopnia maleje.

Summary

The results of investigations and calculations of zero values of the natural flotability (F_n), standard flotability ($F_s = \text{recovery } \varepsilon$), and contact angle (θ) of coal in the function of the critical surface tension of wetting were presented. It was found that these values are almost the same and amount to $\gamma_{c(F_n=0)} = 57.90 \text{ mJ/m}^2$, $\gamma_{c(\varepsilon=0)} = 55.73 \text{ mJ/m}^2$, and $\gamma_{c(\theta=0)} = 57.87 \text{ mJ/m}^2$ respectively. When the critical surface tension of wetting has the value $\gamma_{c(\theta=0)} = 57.87 \text{ mJ/m}^2$, then entirely decays the hydrophobicity of the surface of coal and its flotation response. The value $\gamma_{c(\theta=0)}$ can be acknowledged as a characteristic feature of the energetic state of the coal surface, at which the entire hydrophobicity decay follows. The particles, the surfaces of which have the surface tension of wetting (γ_c) equal or higher than the surface tension of the zero contact angle $\gamma_{c(\theta=0)}$, are hydrophilic ones; the share of such particles in the given population depends on the rank of coal and decreases together with the growth of this rank.

1. Wprowadzenie

Flotacja jest jednym z najważniejszych sposobów koncentrowania składników użytecznych z wydobywanych kopalni. Dotyczy to także urobku węglowego w części obejmującej najdrobniejsze ziarna. Właściwością decydującą o możliwości stosowania flotacji do oczyszczania mułu węglowego ze składników mineralnych popiołotwórczych jest hydrofobowość powierzchni ziaren węglowych, a jednocześnie hydrofilowość ziaren mineralnych. Najbardziej adekwatną miarą hydrofobowości powierzchni jest graniczny kąt zwilżania. Powierzchnie są w mniejszym lub większym stopniu hydrofobowe jeżeli graniczny kąt zwilżania jest większy od zera stopni. Jeżeli graniczny kąt zwilżania równy jest zero stopni powierzchnie są hydrofilowe.

Miarą hydrofobowości powierzchni węgla może być również napięcie powierzchniowe zwilżania ciał stałych. Wartość tego parametru dla ciał niskoener-

1. Introduction

Flotation is one of the most important methods of concentration of useful components of minerals being mined. This concerns also coal output in the part comprising the finest particles. The property deciding about the possibility to use flotation in order to purify coal slime from ash generating mineral components is the hydrophobicity of coal particle surfaces, and simultaneously the hydrophilicity of mineral particles. The most adequate measure of surface hydrophobicity is the contact angle. The surfaces are hydrophobic to a lower or higher extent, if the contact angle is higher than zero degrees. If the contact angle is equal to zero degrees, the surfaces are hydrophilic.

A measure of coal surface hydrophobicity can be also the surface tension of wetting of solids. The value of this parameter for low-energy bodies, including coal, can be determined using the film

getycznych, w tym węgla, wyznaczyć można metodą frakcjonowanej flotacji powierzchniowej [Fuerstenau et al. 1991, Diao i Fuerstenau 1991]. Znajomość tego parametru nie pozwala jednak wyznaczyć wartości, przy której hydrofobowość powierzchni zanika całkowicie. Dopiero badania empirycznej zależności między granicznym kątem zwilżania θ a krytycznym napięciem powierzchniowym zwilżania γ_c wykazały, że hydrofobowość powierzchni węgla zanika całkowicie kiedy wartość $\gamma_c[\gamma_{c(\theta=0)}]$ wynosi w przybliżeniu 57,87 mJ/m² [Sablik 2003]. Wynika z tego, że część ziaren danej populacji, których wartości napięcia powierzchniowego zwilżania są większe od 57,87 mJ/m² nie ma właściwości hydrofobowych. W takich przypadkach graniczny kąt zwilżania większy od zera czyli hydrofobowość powierzchni można wzbudzić działaniem odpowiednio dobranych odczynników chemicznych powierzchniowo czynnych [Sablik i Wierzchowski 2004].

W niniejszym opracowaniu przedstawiono w funkcji krytycznego napięcia powierzchniowego zwilżania węgla wartości zerowe flotowalności naturalnej i flotowalności standardowej, za miarę której przyjęto uzysk substancji palnej, na tle wartości zerowej granicznego kąta zwilżania. Przedstawiono także w funkcji stopnia zmetamorfizowania węgla udział w danej populacji ziaren, których graniczne kąty zwilżania równe są zero stopni.

2. Charakterystyka badanych węgla

Przedmiotem badań były węgle kamienne subbitumiczne i bitumiczne w szerokim przedziale uwęglenia o zawartości węgla pierwiastkowego (C^{daf}) od 75,2 % do 88,6%.

Tablica 1

Krótką charakterystyka badanych węgla

Liczba porządkowa No	Zawartość węgla, C ^{daf} , % Carbon content, C ^{daf} , %	Zawartość popiołu, A ^a , % Ash content, A ^a , %
1	75,2	3,0
2	76,3	6,6
3	79,3	4,3
4	80,9	5,5
5	80,7	2,9
6	81,9	9,6
7	82,8	2,3
8	82,9	3,8
9	84,9	8,8
10	84,5	9,6
11	86,2	1,4
12	87,0	1,4
13	87,1	2,0
14	88,6	2,6

flotation method [Fuerstenau et al. 1991, Diao and Fuerstenau 1991]. However, the knowledge of this parameter does not allow to determine the value, at which the hydrophobicity of the surface decays entirely. Only investigations into the empirical relationship between the contact angle θ and the critical surface tension of wetting γ_c have shown that the hydrophobicity of the coal surface decays entirely when the value $\gamma_c[\gamma_{c(\theta=0)}]$ amounts to approximately 57.87 mJ/m² [Sablik 2003]. It results from this fact that a part of particles of the given population, whose values of the surface tension of wetting are higher than 57.87 mJ/m², have not hydrophobic properties. In such cases the contact angle higher than zero, i.e. the hydrophobicity of the surface, can be induced by the action of chemical surface active reagents suitably selected [Sablik and Wierzchowski 2004].

In the present report the zero values of the natural flotability of coals and the standard flotability the measure of which was the recovery of the combustible, in the function of the critical surface tension of wetting were presented; as the background the zero value of the contact angle was adopted. Furthermore, in the function of coal rank the share of particles of the given population was presented, the contact angles of which are equal to zero degrees.

2. Characteristics of coals tested

The subject of tests constituted subbituminous and bituminous hard coals in the wide interval of rank with carbon (C^{daf}) content from 75.2% to 88.6%.

Table 1

Short characteristic of the tested coals

Próbki węgla do badań dobierane były tak aby zawartość w nich substancji mineralnych popiołotwórczych była możliwie mała. W przypadku jednak węgla zawierających 84,5% do 84,9% węgla pierwiastkowego zawartość ta była stosunkowo duża i wynosiła odpowiednio 9,6% i 8,8%. Zbyt duża zawartość zdyspergowanych w badanym węglu substancji mineralnych może wpływać na energetyczne właściwości powierzchni tych węgla. Krótką charakterystykę badanych węgla przedstawiono w tablicy 1.

3. Metodyka oraz wyniki badań i obliczeń

Krytyczne napięcie powierzchniowe zwilżania wyznaczono metodą frakcjonowanej flotacji powierzchniowej (film flotation) opracowaną przez D.W. Fuerstenau i współpracowników [1991].

Flotowalność naturalną (F_n) badanych węgla oznaczono metodą flotacji w aparacie Hallimonda [Hallimond 1944, Laskowski 1969], a miarą aktywności flotacyjnej węgla był wychód ziaren w umownym koncentracie (%):

$$F_n = 100m_k/m_0$$

gdzie:

m_k – masa ziaren wyniesionych do umownego koncentratu,

m_0 – masa ziaren poddanych flotacji.

Aby wyznaczyć zerową wartość flotowalności naturalnej w funkcji krytycznego napięcia powierzchniowego zwilżania (γ_c) wykorzystano wyniki badań prezentowane we wcześniejszych pracach [Wierzchowski 1993, Wierzchowski Sablik 1993, Sablik 1998]. Wyniki te przedstawiono graficznie na rys. 1. Krzywą zależności $F_n = f(\bar{\gamma}_c)$ opisać można równaniem regresji:

$$F_n = 2 \cdot 10^7 \exp(-0,2903 \bar{\gamma}_c)$$

a współczynnik korelacji zmiennych wynosi $-0,92$. Wykorzystując powyższe równanie obliczyć można wartości γ_c dla przypadku kiedy flotowalność naturalna wynosić będzie zero $\{\gamma_{c(F_n=0)}\}$. Wartość ta wynosi $57,9097 \text{ mJ/m}^2$.

Flotowalność standardowa węgla wyznaczona została w warunkach podobnych do zalecanych przez międzynarodową normę ISO (Standard ISO 8858-1: Hard coal froth flotation testing – Part 1: Laboratory procedure). Metoda ta zakłada oznaczenie flotowalności wszystkich typów węgla w jednakowych warunkach doświadczalnych, a szczególnie z zastosowaniem odczynnika złożonego z kolektora apolarnego (90%) i substancji pianotwórczej polarnej (10%) w ilości 1 g/kg flotowanego węgla. Jako

The coal samples for tests were selected in such a manner that their content of ash originating mineral components was low, if possible. However, in the case of coals containing from 84.5% to 84.9% of carbon this content was relatively high and amounted to 9.6% and 8.8% respectively. A too high content of dispersed mineral substances in the coal subject to tests can influence the energetic properties of surfaces of these coals. A brief characteristics of coals tested was presented in Table 1.

3. Methodology and results of investigations and calculations

The critical surface tension of wetting was determined by use of the film flotation method developed by D.W Fuerstenau and co-workers [1991].

The natural flotability (F_n) of coals tested was determined by use of the flotation method in the Hallimond's apparatus [Hallimond 1944, Laskowski 1969], and the measure of the coal flotation response was the yield of particles in a conventional concentrate (%):

where:

m_k – mass of particles taken off to the conventional concentrate,

m_0 – mass of particles subjected to flotation.

In order to determine the zero value of the natural flotability in the function of the critical surface tension of wetting (γ_c), the findings presented in previously published works were used [Wierzchowski 1993, Wierzchowski and Sablik 1993, Sablik 1998]. These findings were presented graphically in Fig.1. The curve of the dependence $F_n = f(\bar{\gamma}_c)$ can be described by the regression equation:

and the correlation coefficient of variables amounts to -0.92 . When using the mentioned above equation we can calculate the value γ_c for the case when the natural flotability will be equal to zero $\{\gamma_{c(F_n=0)}\}$. This value amounts to 57.9097 mJ/m^2 .

The standard flotability of coals was determined in conditions being similar to those ones recommended by the ISO international standard (ISO Standard 8858-1: Hard coal froth flotation testing – Part 1: Laboratory procedure). This method assumes the flotability determination of all types of coal in identical experimental conditions, and particularly with the application of a reagent composed of an apolar collector (90%) and polar frother (10%) amounting to 1 g/kg of coal subjected to flotation. As

miarę flotowalności standardowej badanych węgli przyjęto uzysk substancji palnej w koncentracji ε :

the measure of standard flotability of coals tested, the recovery of combustible substance in the concentrate ε was adopted:

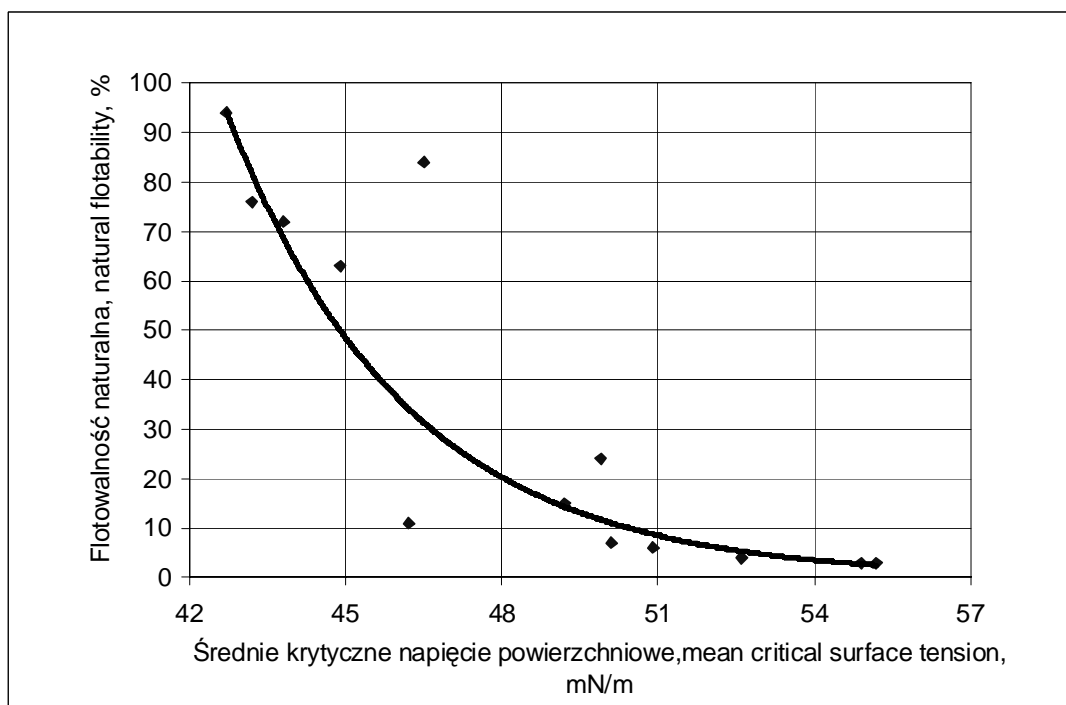
$$\varepsilon = \gamma B_K / B_N$$

gdzie:

γ – wychód koncentratu,
 B_K – zawartość substancji palnej w koncentracji,
 B_N – zawartość substancji palnej w nadawie.

where:

γ – concentrate yield,
 B_K – combustible matter content in the concentrate,
 B_N – combustible matter content in the feed.



Rys. 1
 Zależność flotowalności naturalnej węgli od ich średniego napięcia powierzchniowego zwilżania

Fig. 1
 Dependence of the natural flotation response of coals on their mean critical surface tension

Zaprezentowane we wcześniejszej pracy [Sablik 1997] wyniki badań zależności uzysku substancji palnej w koncentracji od średniego krytycznego napięcia powierzchniowego zwilżania węgli przedstawiono graficznie na rysunku 2.

Krzywą zależności $\varepsilon = f(\bar{\gamma}_c)$ można opisać równaniem regresji:

$$\varepsilon = 3 \cdot 10^9 \exp(-0,3915 \bar{\gamma}_c)$$

W tym przypadku współczynnik korelacji zmiennych wynosi $-0,95$. Obliczona z wykorzystaniem powyższego równania wartość krytycznego napięcia powierzchniowego zwilżania, dla przypadku kiedy $\varepsilon = 0 \{ \gamma_{c(\varepsilon=0)} \}$, wynosi $55,73 \text{ mJ/m}^2$.

Wartość zerowa granicznego kąta zwilżania węgli w funkcji krytycznego napięcia powierzchniowego

The findings relating to the dependence of the recovery of combustible substance in the concentrate on the mean critical surface tension of coal wetting, described in the work [Sablik 1997] published previously, were presented graphically in Fig.2.

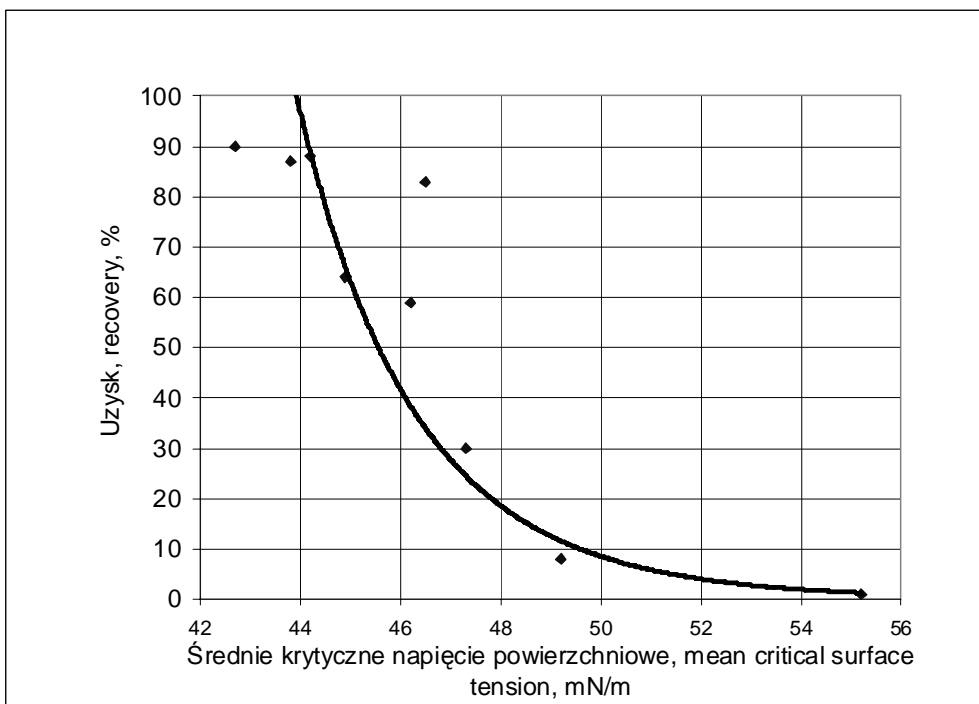
The curve of the dependence $\varepsilon = f(\bar{\gamma}_c)$ can be described by the regression equation:

In this case the correlation coefficient of variables amounts to $-0,95$. The value of the critical surface tension of wetting for the case $\varepsilon = 0 \{ \gamma_{c(\varepsilon=0)} \}$, calculated by use of the equation mentioned above, amounts to 55.73 mJ/m^2 .

The zero value of the contact angle of coals in the function of the critical surface tension of wetting

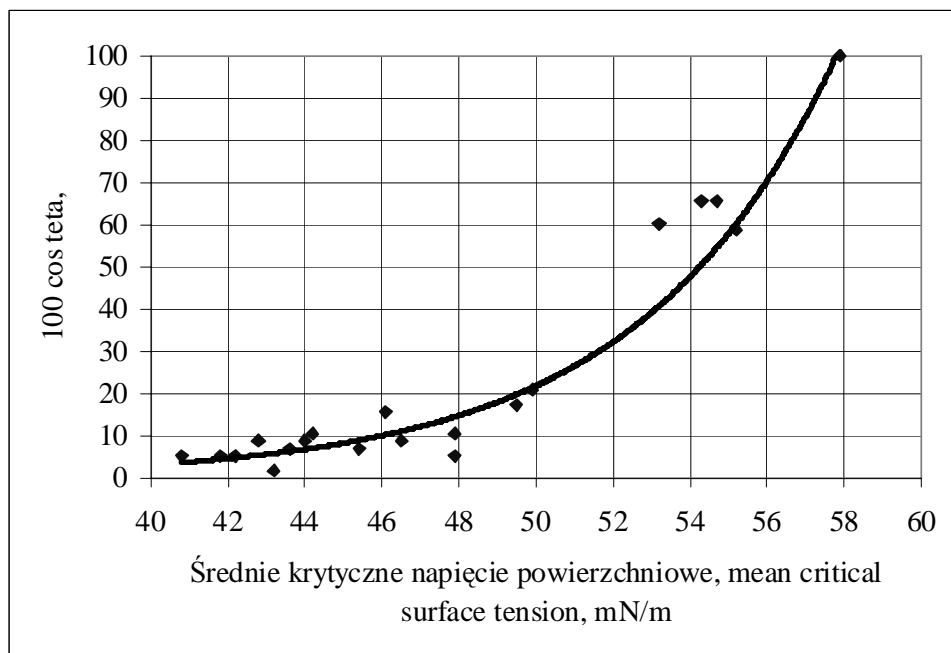
wego zwilżania wyznaczona została i opublikowana wcześniej [Sablik 2003]. Dla porównania wykres zależności $\theta = f(\bar{\gamma}_c)$ przedstawiono na rysunku 3.

was determined and published previously [Sablik 2003]. For comparison the diagram of the dependence $\theta = f(\bar{\gamma}_c)$ was presented in Fig.3.



Rys. 2
Zależność uzysku substancji palnej węgla w warunkach flotacji standardowej od ich średniego napięcia powierzchniowego zwilżania

Fig. 2
Dependence of the flotation recovery of coals in standard conditions on their mean critical surface tension



Rys. 3
Zależność między granicznym kątem zwilżania a średnim krytycznym napięciem powierzchniowym zwilżania węgla o różnym stopniu uwęglenia

Fig. 3
Dependence between contact angle and mean critical surface tension of wetting for coals of different rank

Zależność ta opisana została równaniem regresji:

$$100 \cos \theta = 0,0012 \exp 0,1959 \bar{\gamma}_c$$

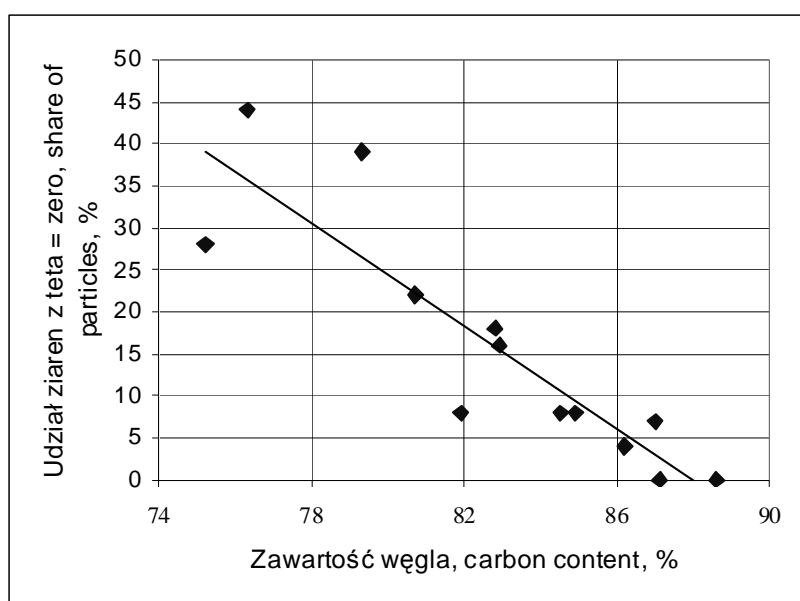
Obliczona na podstawie tego równania wartość krytycznego napięcia powierzchniowego zwilżania dla przypadku kiedy graniczny kąt zwilżania osiągnie wartość zero [$\gamma_{c(\theta=0)}$] wynosi 57,8783 mJ/m².

Wykorzystując dane doświadczalne opublikowane w pracach Wierzchowskiego [1993], Wierzchowskiego i Sablika [1993] oraz Sablika [2003] na rysunku 4 przedstawiono zależność udziału (G) w populacji ziaren najdrobniejszych, ziaren których powierzchnie wykazują zerowy graniczny kąt zwilżania od stopnia zmetamorfizowania węgla określonego zawartością węgla pierwiastkowego (C^{daf}).

This dependence was described by the regression equation:

The value of the critical surface tension of wetting, calculated on the basis of this equation for the case the contact angle achieves the zero value $\gamma_c[\gamma_{c(\theta=0)}]$, amounts to 57.8783 mJ/m².

Using the experimental data published in the works of Wierzchowski [1993], Wierzchowski and Sablik [1993], and Sablik [2003], in Fig.4 was presented the dependence of the share (G) of finest particles in the population, particles whose surfaces show a zero contact angle, on the rank of coal determined by the carbon content (C^{daf}).



Rys.4

Zależność zawartości ziaren z granicznym kątem zwilżania $\theta = 0$ w zbiorze najdrobniejszych od stopnia uwęglania

Fig. 4

Dependence of the particles content with a contact angle $\theta = 0$ in a population of finest on the rank of coal

Krzywą zależności $G = f(C^{daf})$ można zapisać równaniem regresji:

$$G = -3,0539 C^{daf} + 268,64$$

Współczynnik korelacji zmiennych wynosi w tym przypadku 0,89. Wynika z tego, że populacje ziaren najdrobniejszych będą pozbawione ziaren całkowicie hydrofilowych ($G = 0$) kiedy zawartość węgla pierwiastkowego C^{daf} w węglu wyniesie 87,96 %.

4. Omówienie wyników

Aby wyznaczyć wartości zerowe flotowalności naturalnej i standardowej oraz granicznego kąta zwilżania w funkcji krytycznego napięcia powierzchniowego

The curve of the dependence $G = f(C^{daf})$ can be recorded using the regression equation:

The correlation coefficient of variables in this case amounts to 0.89. It results from this fact that the population of the finest particles will not possess particles being entirely hydrophilic, when the carbon content in the coal will amount to 87.96%.

4. Discussion of results

In order to determine the zero values of the natural and standard flotabilities of coal as well as the contact angle in the function of the critical surface

wego zwilżania węgla wykorzystano wyniki badań wykonanych i opublikowanych wcześniej w różnych okresach czasu [1993, 1994, 1997, 1998]. Wartości zerowe wymienionych wyżej właściwości węgla wyznaczone zostały z wykorzystaniem równań regresji opisujących zależności $F_n = f(\bar{\gamma}_c)$, $\varepsilon = f(\bar{\gamma}_c)$ oraz $\theta = f(\bar{\gamma}_c)$. Dla zależności tych wartości zerowe wynoszą odpowiednio $\gamma_{c(F_n=0)} = 57,9097 \text{ mJ/m}^2$, $\gamma_{c(\varepsilon=0)} = 55,73 \text{ mJ/m}^2$ oraz $\gamma_{c(\theta=0)} = 57,8783 \text{ mJ/m}^2$. Mimo, że wartości zerowe flotowalności naturalnej i standardowej (ocenionej za pomocą uzysku substancji palnej w koncentracie) oraz granicznego kąta zwilżania oznaczone zostały różniącymi się metodami wartości zerowe tych parametrów w funkcji krytycznego napięcia powierzchniowego zwilżania są prawie jednakowe. Szczególnie dotyczy to naturalnej aktywności flotacyjnej oraz granicznego kąta zwilżania, a w przypadku flotowalności standardowej niewielka różnica wynika prawdopodobnie z niedoskonałości doświadczenia. Można jednak stwierdzić, że rząd wielkości omawianych wartości zerowych jest we wszystkich trzech przypadkach taki sam. Przedstawione wyniki dowodzą, nie tylko że kiedy graniczny kąt zwilżania osiąga wartość równą zero naturalna i standardowa aktywność flotacyjna zanika całkowicie, ale przede wszystkim że ma to miejsce kiedy napięcie powierzchniowe zwilżania, które charakteryzuje stan energetyczny powierzchni węgla, wynosi około $57,8783 \text{ mJ/m}^2$. Liczbę $\gamma_{c(\theta=0)} = 57,8783 \text{ mJ/m}^2$, stanowiącą wartość zerową granicznego kąta zwilżania w funkcji krytycznego napięcia powierzchniowego, uznać można za ważną cechę charakterystyczną powierzchni ziaren węglowych. Zasadność tego potwierdzają wyznaczone wartości zerowe aktywności flotacyjnej naturalnej i standardowej węgla.

Powierzchnie ziaren węglowych, których krytyczne napięcie powierzchniowe zwilżania jest większe od $\gamma_{c(\theta=0)}$ są hydrofilowe, a udział takich ziaren w danym zbiorze zależy od stopnia zmetamorfizowania węgla. Wraz ze wzrostem uwęglenia węgla udział ten maleje, jednak całkowity brak takich ziaren w zbiorze wystąpi kiedy zawartość węgla pierwiastkowego C^{daf} w węglu wynosi około 87,96 %. Można jednak założyć, że prawdopodobnie wartość ta zależy także od zawartości w węglu substancji mineralnych zarówno syngenetycznych jak i epigenetycznych. W przypadku węgla o małej zawartości substancji mineralnych, wartość C^{daf} przy której nie występują już ziarna o powierzchniach całkowicie hydrofilnych może być mniejsza.

5. Podsumowanie

Wartości zerowe flotowalności naturalnej i standardowej oraz granicznego kąta zwilżania w funkcji

tension of wetting, the results of investigations carried out and published previously in different periods of time [1993, 1994, 1997, 1998] were used. The zero values of the coal properties mentioned above were determined by use of regression equation describing the dependences $F_n = f(\bar{\gamma}_c)$, $\varepsilon = f(\bar{\gamma}_c)$ and $\theta = f(\bar{\gamma}_c)$. For these dependences the zero values are equal to $\gamma_{c(F_n=0)} = 57.9097 \text{ mJ/m}^2$, $\gamma_{c(\varepsilon=0)} = 55.73 \text{ mJ/m}^2$ and $\gamma_{c(\theta=0)} = 57.8783 \text{ mJ/m}^2$ respectively. In spite of the fact that the zero values of the natural flotability as well as standard flotability (assessed by means of the recovery of combustible in the concentrate) and contact angle were determined using different methods, the zero values of these parameters in the function of critical surface tension of wetting are almost the same. It can be stated, however that the order of magnitude of the discussed zero values is the same in all three cases. The presented results prove not only that when the contact angle achieves the value equal to zero, the natural as well as the standard flotation responses decay entirely, but first of all they prove that this takes place, when the surface tension of wetting, which characterizes the energetic state of the coal surface, amounts to about 57.8783 mJ/m^2 . The number $\gamma_{c(\theta=0)} = 57.8783 \text{ mJ/m}^2$, constituting the zero value of the contact angle in the function of critical surface tension, we can acknowledge as an important feature of coal particle surfaces. The legitimacy of this fact prove the determined zero values of the natural and standard flotation responses of coal.

The surfaces of coal particles, whose critical surface tension of wetting is higher than $\gamma_{c(\theta=0)}$, are hydrophilic ones; the share of such particles in the given set depends on the coal rank. Together with the growth of coal rank this share decreases, however, the total lack of such particles in the set will occur, when the content of carbon C^{daf} in the coal amounts to about 87.96 %. However, we can assume that probably this value depends also on the content of mineral matter in the coal, both syngenetic and epigenetic ones. In the case of coals with low content of mineral substances, the value C^{daf} , at which particles with entirely hydrophilic surfaces do not occur, can be lower.

5. Summary

The zero values of natural and standard flotabilities and the contact angle in the function of

krytycznego napięcia powierzchniowego zwilżania są niemal identyczne. Wynika z tego, że liczba $\gamma_{c(\theta=0)} = 57,8783 \text{ mJ/m}^2$ jest wielkością charakterystyczną dla stanu energetycznego powierzchni drobnych ziaren węglowych. Ziarna węgla których krytyczne napięcie powierzchniowe zwilżania jest większe od liczby $\gamma_{c(\theta=0)}$ są całkowicie hydrofilowe i nie wykazują aktywności flotacyjnej. Udział ziaren hydrofilowych w danym zbiorze zależy od stopnia zmetamorfizowania węgla, mierzonego zawartością w nim węgla pierwiastkowego i wraz ze wzrostem tego stopnia maleje.

the critical surface tension of wetting are almost identical. It results from this fact that the number $\gamma_{c(\theta=0)} = 57,8783 \text{ mJ/m}^2$ is a characteristic magnitude for the energetic state of surfaces of fine coal particles. The coal particles, whose critical surface tension of wetting is higher than the number $\gamma_{c(\theta=0)}$, are entirely hydrophilic and do not indicate flotation response. The share of hydrophilic particles in the given set depends on the coal rank, measured by the content of carbon in coal, and it decreases along with the growth of this rank.

Literatura — References

1. Diao J., Fuerstenau D.W. 1991: *Characterization of the wettability of solid particles by film flotation., Part II: Theoretical analysis., Colloids and Surfaces., 60.*
2. 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.*
3. Laskowski J. 1969: *Chemia fizyczna w procesach przeróbki mechanicznej kopalni, wyd. Śląsk, Katowice.*
4. Hallimond A. F. 1944: *Laboratory apparatus for flotation tests, Min. Mag 70, 87 - 91.*
5. Sablik J. 1997 *Flotowalność mułków węglowych jako funkcja krytycznej energii powierzchniowej zwilżania węgla, Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii 31, 235 - 240.*
6. Sablik J.: 1998 *Flotacja węgla kamiennych. Wyd. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.*
7. Sablik J. 2003: *Zależność między granicznym kątem zwilżania a średnim krytycznym napięciem powierzchniowym zwilżania węgla o różnym stopniu zmetamorfizowania. Inżynieria Mineralna, nr 2 (7).*
8. Sablik J., Wierzchowski K., 2004: *Wpływ odczynników technologicznych na wartości granicznych kątów zwilżania węgla w zbiorze ziaren mułowych. Górnictwo i Geoinżynieria, Wyd. Specjalne, AGH Kraków (w druku).*
9. Wierzchowski K. 1993 *Praca doktorska GIG Katowice.*
10. Wierzchowski K., Sablik J. 1993: *Energia powierzchniowa ziarn w mułach węgla o różnym stopniu zmetamorfizowania. Prace naukowe GIG No 775 Katowice.*