

Marek Lenartowicz\*

## ZALEŻNOŚĆ NAPIĘCIA POWIERZCHNIOWEGO ZWILŻANIA OD ZAWARTOŚCI POPIOŁU W ZBIORZE BARDZO DROBNYCH ZIAREN WĘGLOWYCH\*\*

---

### 1. Wprowadzenie

Flotacja jest jednym z podstawowych procesów wzbogacania bardzo drobnych ziaren węglowych. O możliwości zastosowania flotacji do wzbogacania węgla w głównej mierze decydują właściwości powierzchniowe ziaren węglowych, a szczególnie energetyczna charakterystyka powierzchni (hydrofobowość powierzchni). Hydrofobowość powierzchni charakteryzuje się między innymi za pomocą pomiarów granicznego kąta zwilżania [6, 7] i metody frakcjonowanej flotacji powierzchniowej (FFP, *film flotation*) [1, 2]. Metoda FFP umożliwia ilościową charakterystykę powierzchni niskoenergetycznych ciał stałych oraz określenie niejednorodności energetycznej w zbiorze danych ziaren ciała stałego.

W wcześniejszych pracach wykazano ścisły związek między aktywnością flotacyjną węgla a wartościami jego krytycznego napięcia powierzchniowego zwilżania [12]. W pracy Lenartowicza i Sablika [3] wykazano, że występuje zależność między aktywnością flotacyjną węgla oznaczoną metodą Della a napięciem powierzchniowym zwilżania wyznaczonym metodą FFP. Wzrostowi napięcia powierzchniowego zwilżania towarzyszy zmniejszanie się aktywności flotacyjnej węgla.

W artykule przedstawiono w funkcji zawartości popiołu wartości średniego krytycznego napięcia powierzchniowego zwilżania w zbiorze bardzo drobnych ziaren węglowych.

### 2. Charakterystyka badanych węgla

Charakterystykę badanych węgla przedstawiono w tabeli 1. Przedmiotem badań były cztery węgle kamienne o różnym stopniu zmetamorfizowania, o zawartości węgla pierwiastkowego  $C^{daf}$  od 80,50 do 86,90%. Próbkę węgla pobierano w postaci zawiesin nadawy do

---

\* Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice

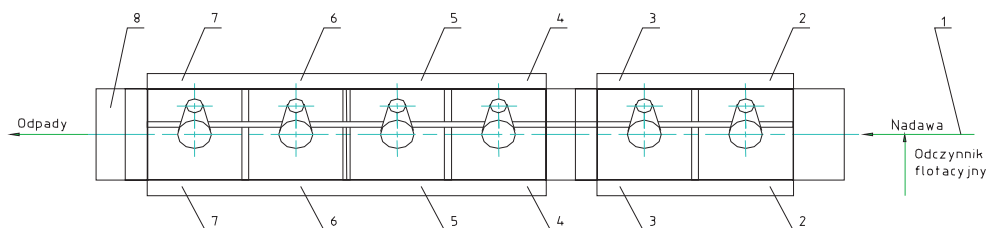
\*\* Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006–2007 jako projekt badawczy

procesu flotacji oraz produktów wzbogacania, które pobierano z kolejnych przedziałów wirnikowych przemysłowej maszyny flotacyjnej (rys. 1) [5].

TABELA 1

**Charakterystyka węgla użytego do badań wraz z wynikami badań**

Zawartość węgla Cdaf, %	Produkt	Zawartość popiołu Aa, %	Średnie krytyczne napięcie powierzchniowe zwilżania $\bar{\gamma}_c$ , mJ/m <sup>2</sup>
80,50	Nadawa	33,87	62,40
	Koncentrat I	8,55	42,42
	Koncentrat II	10,47	43,78
	Koncentrat III	16,02	47,26
	Koncentrat IV	17,25	48,58
	Koncentrat V	18,06	48,32
	Koncentrat VI	18,22	49,50
82,20	Nadawa	20,70	59,54
	Koncentrat I	8,30	42,24
	Koncentrat II	10,11	43,04
	Koncentrat III	10,02	42,30
	Koncentrat IV	14,26	47,64
	Koncentrat V	14,95	48,58
	Koncentrat VI	15,13	48,84
85,10	Nadawa	28,26	60,18
	Koncentrat I	8,27	40,98
	Koncentrat II	8,94	41,16
	Koncentrat III	9,21	42,92
	Koncentrat IV	13,78	42,96
	Koncentrat V	14,53	44,56
	Koncentrat VI	15,70	44,86
86,90	Nadawa	15,88	48,90
	Koncentrat I	4,92	40,74
	Koncentrat II	4,94	40,86
	Koncentrat III	5,63	40,90
	Koncentrat IV	7,11	41,76
	Koncentrat V	8,20	42,06
	Koncentrat VI	8,92	42,62
	Koncentrat VII	9,41	46,40
	Koncentrat VIII	9,81	47,46



**Rys. 1.** Schemat maszyny IZ z miejscami pobrania próbek:  
 1 — miejsce pobrania nadawy, 2 — miejsce pobrania koncentratu I, 3 — miejsce pobrania koncentratu II, 4 — miejsce pobrania koncentratu III, 5 — miejsce pobrania koncentratu IV, 6 — miejsce pobrania koncentratu V, 7 — miejsce pobrania koncentratu VI, 8 — miejsce pobrania odpadów

### 3. Metodyka badań

Zawartość węgla pierwiastkowego  $C^{daf}$  a także zawartość popiołu w badanych próbkach węgla oznaczono zgodnie z obowiązującymi normami.

Średnie krytyczne napięcie powierzchniowe zwilżania wyznaczono za pomocą metody frakcjonowanej flotacji powierzchniowej [1, 2]. Sposób przeprowadzania frakcjonowanej flotacji powierzchniowej (FFP) został przedstawiony w pracach [4, 5, 8, 11]. Wartości średniego krytycznego napięcia powierzchniowego zwilżania ziaren węgla obliczano według równania [1]

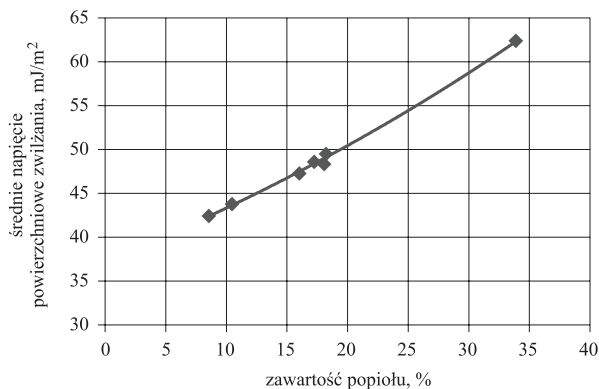
$$\bar{\gamma} = \int_{\gamma_{c \min}}^{\gamma_{c \max}} \gamma_c f(\gamma_c) d\gamma_c \quad (1)$$

gdzie:

- $\gamma_c$  — napięcie powierzchniowe zwilżania,
- $\gamma_{c \min}$  — napięcie powierzchniowe roztworu zwilżającego wszystkie ziarna,
- $\gamma_{c \max}$  — napięcie powierzchniowe roztworu nie zwilżającego żadnych ziaren,
- $\bar{\gamma}_c$  — średnie krytyczne napięcie powierzchniowe zwilżania ziaren,
- $f(\gamma_c)$  — funkcja gęstości (histogram) napięcia powierzchniowego zwilżania ziaren.

### 4. Wyniki badań i ich omówienie

W tabeli 1 zestawiono wyniki obliczeń napięcia powierzchniowego zwilżania według równania 1 oraz zawartość popiołu w poszczególnych produktach. Na rysunkach 2 do 5 przedstawiono wykres zależności  $\bar{\gamma}_c = f(A^a)$  dla węgla gazowo-płomiennego typu 32.1, gazowego typu 33, gazowo-koksowego typu 34.2 i ortokoksowego typu 35.1.



**Rys. 2.** Zależność napięcia powierzchniowego zwilżania ziaren węgla gazowo-płomiennego typu 32.1 od zawartości popiołu

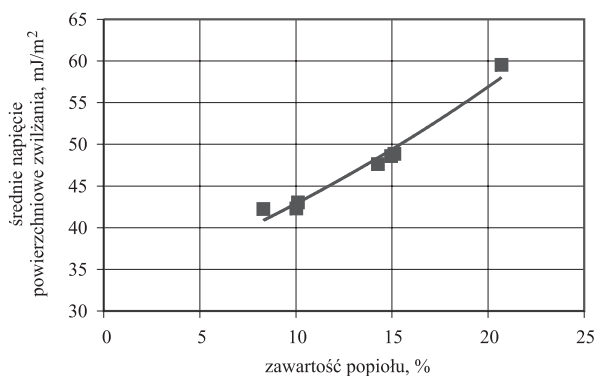
Dla węgla typu 32.1 (rys. 2) równanie regresji krzywej, dla której współczynnik korelacji wynosi 0,99 jest równaniem wykładniczym, można zapisać

$$\bar{\gamma}_c = 37,2112 \exp 0,0152A^a \quad (2)$$

gdzie: —

$\bar{\gamma}_c$  — średnie napięcie powierzchniowe zwilżania,

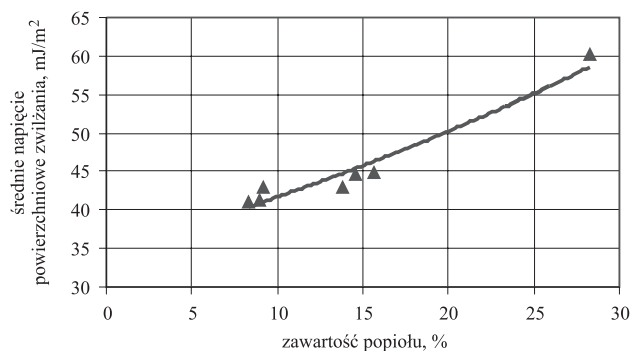
$A^a$  — zawartość popiołu.



**Rys. 3.** Zależność napięcia powierzchniowego zwilżania ziaren węgla gazowego typu 33 od zawartości popiołu

W przypadku węgla gazowego typu 33 (rys. 3) równanie regresji krzywej, dla której współczynnik korelacji wynosi 0,98 jest równaniem wykładniczym, można zapisać

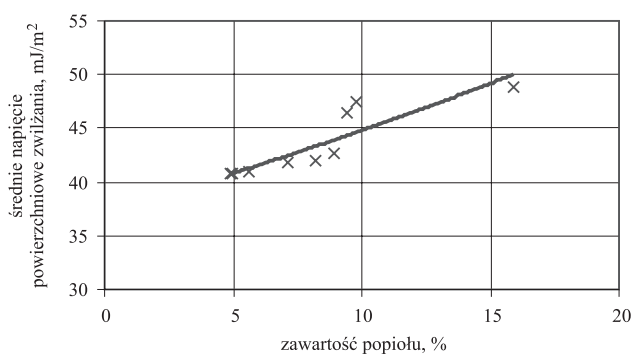
$$\bar{\gamma}_c = 32,3076 \exp 0,0283A^a \quad (3)$$



**Rys. 4.** Zależność napięcia powierzchniowego zwilżania ziaren węgla gazowo-kokсового typu 34.2 od zawartości popiołu

Na rysunku 4 przedstawiono wykres zależności  $\bar{\gamma}_c = f(A^a)$  dla węgla gazowo-kokсового typu 34.2. Równanie regresji krzywej, dla której współczynnik korelacji wynosi 0,96 jest równaniem wykładniczym, można zapisać

$$\bar{\gamma}_c = 34,6188 \exp 0,0186A^a \quad (4)$$



**Rys. 5.** Zależność napięcia powierzchniowego zwilżania ziaren węgla ortokokсового typu 35.1 od zawartości popiołu

W przypadku węgla ortokokсового typu 35.1 (rys. 5) równanie regresji krzywej, dla której współczynnik korelacji wynosi 0,89 jest równaniem wykładniczym, można zapisać

$$\bar{\gamma}_c = 37,1902 \exp 0,0186A^a \quad (5)$$

Równania (2)–(5) w sposób ilościowy opisują zależność między napięciem powierzchniowym zwilżania ziaren węgla o różnym stopniu zmetamorfizowania a zawartością popiołu.

Uzyskane wyniki badań umożliwiły wyznaczenie równań regresji charakteryzujących zależność napięcia powierzchniowego zwilżania ziaren od zawartości popiołu węgla o różnym stopniu uwęglenia, ze stosunkowo wysokimi współczynnikami korelacji. Równania (2)–(5) oraz wyniki badań zestawione w tabeli 1 umożliwiły przeprowadzenie rozważań na temat zależności pomiędzy właściwościami powierzchniowymi ziaren (napięciem powierzchniowym zwilżania) a zawartością popiołu w tych ziarnach. Zamieszczone w tabeli 1 wyniki obliczeń napięcia powierzchniowego zwilżania danych grup ziaren oraz wyniki oznaczeń zawartości popiołu w tych grupach pozwalają stwierdzić, że niezależnie od stopnia zmetamorfizowania węgla istnieje taka zależność, że jeżeli wzrasta zawartość popiołu w danej grupie ziaren, to równocześnie napięcie powierzchniowe zwilżania jest także większe.

## 5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania i analiza wyników badań umożliwiły ilościową charakterystykę zależności między średnimi napięciami powierzchniowymi zwilżania węgla o różnym stopniu uwęglenia a zawartością popiołu. Równania regresji opisujące tę zależność umożliwiają wyznaczenie napięcia powierzchniowego zwilżania grupy ziaren przy znanej zawartości popiołu w tej grupie. Zależność ta może również być wykorzystana podczas analizy pracy maszyn flotacyjnych [13].

### LITERATURA

- [1] *Diao I., Fuerstenau D.W.*: Characterisation of the wettability of solid particles by film flotation. Part II: Theoretical analysis. *Colloids and Surfaces*, 60, 1991, 145–160
- [2] *Fuerstenau D.W., Diao I., Williams M.C.*: Characterisation of the wettability of solid particles by film flotation. Part I: Experimental investigation. *Colloids and Surfaces*, 60, 1991, 127–144
- [3] *Lenartowicz M., Sablik J.*: Napięcie powierzchniowe zwilżania ziarn węglowych z frakcji wydzielonych w procesie flotacji metodą Della. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 17, 2001, 143–151
- [4] *Lenartowicz M., Sablik J.*: Rozkład napięcia powierzchniowego zwilżania ziaren węglowych w produktach wzbogacania maszyny flotacyjnej typu IZ. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo*, 266, 2005
- [5] *Lenartowicz M., Sablik J.*: The hydrophilic particles in washing products of trough pneumo-mechanical flotation machine. 10<sup>th</sup> Conference on Environment and Mineral Processing, Ostrava 2006
- [6] *Sablik J.*: Flotowalność polskich węgla kamiennych jako funkcja stopnia ich uwęglenia. Katowice, Prace Głównego Instytutu Górnictwa, Seria Dodatkowa, 1980
- [7] *Sablik J., Makula K.*: Wyznaczanie granicznego kąta zwilżania węgla poprzez pomiar ciśnienia kapilarnego. *Aparatura Naukowa i Dydaktyczna*, 6, 1984
- [8] *Sablik J.*: Flotacja węgla kamiennych. Katowice, Wyd. GIG, 1998
- [9] *Sablik J.*: Zależność między granicznym kątem zwilżania a średnim krytycznym napięciem powierzchniowym zwilżania węgla o różnym stopniu zmetamorfizowania. *Inżynieria Mineralna*, 2(7), 2003
- [10] *Sablik J.*: Fizykochemiczne właściwości powierzchniowe węgla najdrobniej uziarnionych. *Przegląd Górniczy*, 9, 2005
- [11] *Sablik J., Wierzchowski K.*: Evaluation of the influence of flotation reagents on the hydrophobicity of coal using the film flotation method. *Fuel*, 71, 4, 1992, 474–475
- [12] *Sablik J., Wierzchowski K.*: The effect of pre-wetting with flotation reagents on the surface energy of coals. *Coal Preparation*, vol. 15, 1994, 25–34
- [13] *Sablik J., Wierzchowski K.*: Wpływ odczynników technologicznych na wartości granicznych kątów zwilżania węgla w zbiorze ziarn mułowych. *Górnictwo i Geoinżynieria*, Wyd. Specjalne, AGH Kraków, 2004