

Stanisław Cierpisz, Daniel Kowol**

WPŁYW ZAKŁÓCEŃ PROCESU WZBOGACANIA WĘGLA W OSADZARCE NA ZMIANY GĘSTOŚCI ROZDZIAŁU — BADANIA LABORATORYJNE

1. Wstęp

Zasadniczym elementem pomiarowym stosowanym do pomiaru położenia strefy rozdziału wzbogacanego materiału w osadzarkach jest czujnik pływakowy.

Podstawowym zadaniem pływaka jest jak najdokładniejszy pomiar położenia warstwy o zadanej gęstości rozdziału celem otrzymywania produktów wzbogacania o pożądanych parametrach ilościowo-jakościowych. W zależności od rozwiązań konstrukcyjnych osadzarek oraz stosowanych układów sterowania odbiorem produktów wzbogacania w przemysłowych urządzeniach wykorzystywane są pływaki o różnych cechach geometrycznych. Z literatury wynika [1, 2, 4–6], że w procesie rozdziału ww. cechy mają istotny wpływ na skuteczność rozdziału.

Jednym z podstawowych zakłóceń w procesie osadzarkowego wzbogacania, mającym wpływ na efektywność rozdziału, jest zmienność charakterystyki nadawy [3]. Zachodzące zmiany mogą dotyczyć ilości nadawy, charakterystyki wzbogacalności oraz składu ziarnowego. Powyższe fluktuacje wywołują zmiany położenia pływaka w stosunku do położenia warstwy rozdzielczej i w efekcie mogą powodować zmniejszenie efektywności rozdziału.

Oprócz wpływu fluktuacji nadawy należy również zwrócić uwagę na inne zakłócenia, którym mogą podlegać pływaki i ich ewentualny wpływ na dokładność procesu rozdziału. Wymienić tutaj można np. stochastyczny charakter oddziaływania materiału łóża osadzarki i pływaka podczas jego ruchu w trakcie kolejnych cykli pulsacji lub zmienne opory tarcia mechanicznego układu prowadzenia pływaka

Niniejszy artykuł zawiera wyniki badań laboratoryjnych, których celem było określenie wpływu wybranych zakłóceń na zmiany gęstości rozdziału w zależności od cech geometrycznych pływaka.

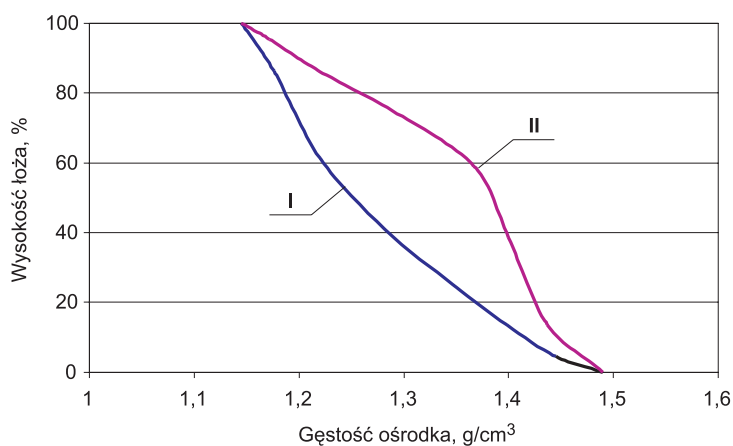
* Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska, Gliwice

2. Badania laboratoryjne

Doświadczenia przeprowadzono na stanowisku osadzarki laboratoryjnej. W doświadczeniach wykorzystano 2 materiały (nadawy) o uziarnieniu 16 ± 6 mm będące mieszaniną ziaren koncentratowych o gęstości $< 1,5$ g/cm³ oraz ziaren przerostowych o gęstości $1,5\pm 1,8$ g/cm³. Wyniki analiz rozwarstwowionego łoża zamieszczono w tabeli 1 oraz w formie graficznej na rysunku 1.

TABELA 1
Analiza gęstościowa rozwarstwowionego łoża

Nadawa 1		Nadawa 2	
Wysokość łoża, %	Gęstość ośrodka, g/cm ³	Wysokość łoża, %	Gęstość ośrodka, g/cm ³
100	1,145	100	1,145
86,3	1,176	95,4	1,172
61,3	1,220	86,3	1,219
40,9	1,282	75	1,289
25	1,347	59,1	1,367
13,6	1,398	38,6	1,400
4,5	1,445	13,6	1,437
0	1,490	0	1,490



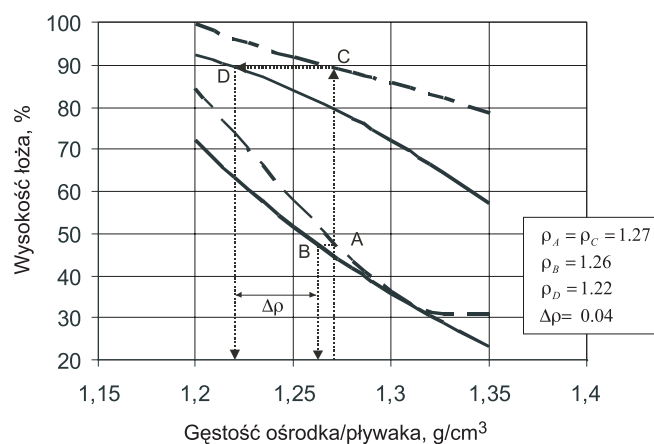
Rys. 1. Analiza gęstościowa rozwarstwowionego łoża:
I — Nadawa 1, II — Nadawa 2

Badaniom poddano pływaki doświadczalne o zróżnicowanych cechach geometrycznych, które ze względu na kształt, i wysokość nazwano:

- pływak pierścieniowy (wysokość pływaka równa 7,3% grubości łoża),
- pływak prostokątny 30 (wysokość pływaka równa 30% grubości łoża),
- pływak prostokątny 50,
- pływak prostokątny 70,
- pływak trójkątny 50,
- pływak trójkątny 70.

2.1. Zmiana składu densymetrycznego nadawy

Doświadczenia polegały na pomiarze położenia pływaka w łożu osadzarki, przy stopniowym zwiększaniu jego gęstości (dociążaniu). Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wyznaczono gęstości warstw rozdzielczych położonych na wysokości środka geometrycznego pływaków w zależności od dobranej gęstości pływaka oraz dla dwóch różnych charakterystyk wzbogacalności węgla surowego. Sposób określania gęstości warstwy rozdzielczej przedstawiono przykładowo dla pływaka prostokątnego o wysokości 30% łoża na rysunku 2.



Rys. 2. Wyznaczenie gęstości warstwy rozdzielczej w zależności od gęstości pływaka i charakterystyki nadawy

Linie ciągłe pokazują rozkład gęstości ośrodka wzdłuż wysokości łoża dla dwóch typów nadawy, a linie przerywane wyznaczają odpowiadające im położenia środka pływaka. Zmiana mierzonej gęstości warstwy ośrodka wynosi $\Delta\rho$.

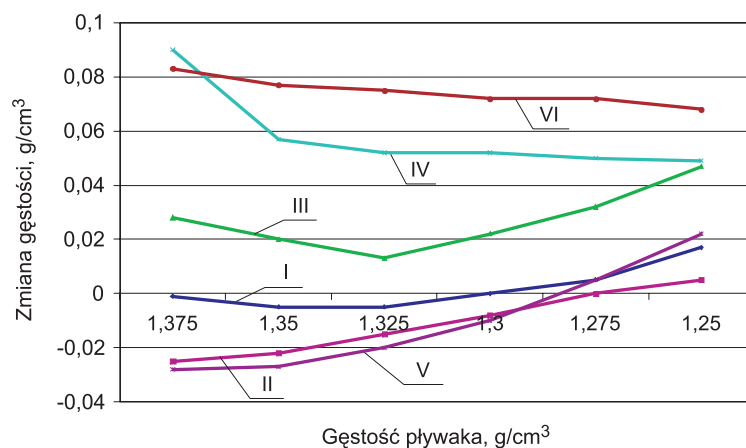
W oparciu o wyznaczoną zależność pomiędzy gęstością ziaren nadaw doświadczalnych a gęstością ośrodka (mieszaniny ziaren i wody) wynoszącą $\rho_{frak} = 1,667 \rho_{osr} - 0,833$

uzyskane zmiany gęstości rozdziału $\Delta\rho_r$ przedstawiono w odniesieniu do gęstości ziaren. W tabeli 2 przedstawiono wybrane wartości zmian gęstości rozdziału uzyskane przy zastosowaniu analizowanych pływaków doświadczalnych.

Różnica gęstości warstwy rozdzielczej zmienia się wraz ze zmianą wysokości pływaka doświadczalnego. Wniosek ten jest podobny do wniosku z analizy przedstawionej w [1], opartej o uproszczony (nie fizyczny) model ośrodka jako cieczy jednorodnej o zmiennej gęstości. Najmniejsze zmiany powstały przy zastosowaniu pływaka pierścieniowego. Największe — przy wykorzystaniu pływaków najwyższych — prostokątny 70 i trójkątny 70.

TABELA 2
Wybrane wartości zmian gęstości rozdziału

Plywak	Gęstość rozdziału	Gęstość pływaka (g/cm ³)					
		1,375	1,35	1,325	1,3	1,275	1,25
Plywak pierścieniowy	ρ_1 , g/cm ³	1,314	1,299	1,284	1,266	1,248	1,226
	ρ_2 , g/cm ³	1,313	1,296	1,281	1,266	1,251	1,236
	$\Delta\rho_r$, g/cm ³	-0,001	-0,005	-0,005	0,000	+0,005	+0,017
Plywak prostokątny 30	ρ_1 , g/cm ³	1,381	1,365	1,349	1,334	1,318	1,304
	ρ_2 , g/cm ³	1,366	1,352	1,340	1,329	1,318	1,307
	$\Delta\rho_r$, g/cm ³	-0,025	-0,022	-0,015	-0,008	0,000	+0,005
Plywak prostokątny 50	ρ_1 , g/cm ³	1,308	1,295	1,280	1,264	1,245	1,222
	ρ_2 , g/cm ³	1,325	1,307	1,288	1,277	1,264	1,250
	$\Delta\rho_r$, g/cm ³	+0,028	+0,020	+0,013	+0,022	+0,032	+0,047
Plywak prostokątny 70	ρ_1 , g/cm ³	1,311	1,297	1,283	1,267	1,251	1,233
	ρ_2 , g/cm ³	1,365	1,331	1,314	1,298	1,281	1,262
	$\Delta\rho_r$, g/cm ³	+0,090	+0,057	+0,052	+0,052	+0,050	+0,049
Plywak trójkątny 50	ρ_1 , g/cm ³	1,346	1,327	1,307	1,286	1,262	1,236
	ρ_2 , g/cm ³	1,329	1,311	1,295	1,280	1,265	1,249
	$\Delta\rho_r$, g/cm ³	-0,028	-0,027	-0,020	-0,010	+0,005	+0,022
Plywak trójkątny 70	ρ_1 , g/cm ³	1,303	1,289	1,272	1,256	1,239	1,222
	ρ_2 , g/cm ³	1,353	1,335	1,317	1,299	1,282	1,263
	$\Delta\rho_r$, g/cm ³	+0,083	+0,077	+0,075	+0,072	+0,072	+0,068



Rys. 3. Zmiany gęstości rozdziału w zależności od gęstości pływaka: I — Pływak pierścieniowy; II — Pływak prostokątny 30; III — Pływak prostokątny 50; IV — Pływak prostokątny 70; V — Pływak trójkątny 50; VI — Pływak trójkątny 70

2.2. Stochastyczne fluktuacje położenia pływaka

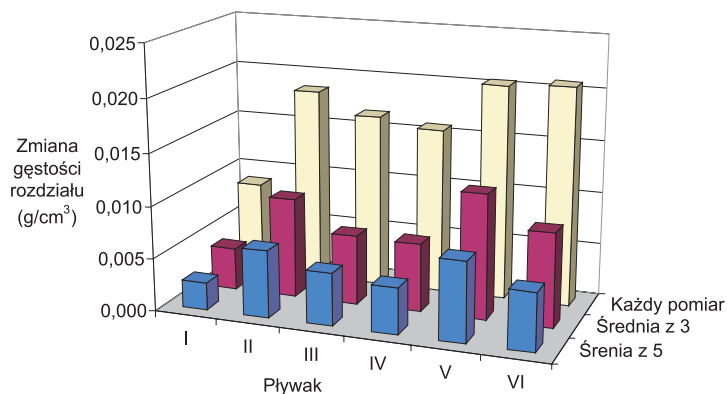
Położenie pływaka o stałej gęstości (np. w stanie zwartym łoża o stałym rozkładzie gęstości) może fluktuować w kolejnych cyklach pulsacji na skutek stochastycznego charakteru wpływu oporów tarcia pływaka i ośrodka. Wyniki pomiarów tych fluktuacji wraz z ich uśrednionymi wartościami dla 3 i 5 cykli zestawiono w tabeli 3 oraz przedstawiono na rysunku 4.

Fluktuacje te przedstawiono w postaci procentowych zmian dolnego położenia pływaka w stosunku do całości łoża (przyjętego jako 100%).

TABELA 3

Wpływ cech geometrycznych pływaka na stabilność pomiaru

Pływak	Zmiany położenia %			Zmiany gęstości rozdziału, g/cm ³		
	każdy pomiar	średnia z 3	średnia z 5	każdy pomiar	średnia z 3	średnia z 5
Pływak pierścieniowy	1,51	0,70	0,45	0,009	0,004	0,003
Pływak prostokątny 30	3,21	1,65	1,11	0,018	0,009	0,006
Pływak prostokątny 50	2,88	1,15	0,87	0,017	0,007	0,005
Pływak prostokątny 70	2,73	1,13	0,76	0,016	0,007	0,004
Pływak trójkątny 50	3,55	2,06	1,32	0,020	0,012	0,008
Pływak trójkątny 70	3,61	1,55	0,95	0,021	0,009	0,005



Rys. 4. Zmiany gęstości rozdziału powodowane fluktuacjami położenia pływaka:
 I — Pływak pierścieniowy; II — Pływak prostokątny 30; III — Pływak prostokątny 50;
 IV — Pływak prostokątny 70; V — Pływak trójkątny 50; VI — Pływak trójkątny 70

Obliczono średnie fluktuacje położenia pływaków doświadczalnych dla punktów pomiarowych w których wszystkie pływaki przemieszczały się w przybliżonych warunkach (pełne zanurzenie w materiale). Wielkości zmian położenia pływaków przeliczono na teoretyczne zmiany gęstości rozdziału. Zmiany gęstości rozdziału obliczono przy założeniu, że gęstość warstw łoża zmienia się w sposób liniowy.

Najmniejszym fluktuacjom położenia w trakcie pomiaru warstwy, powodując w efekcie najmniejsze zmiany gęstości rozdziału, podlegał pływak pierścieniowy. Należy jednak zaznaczyć, że jego kształt i podstawa odbiegała w znaczący sposób od cech geometrycznych pozostałych pływaków.

Analiza wyników uzyskanych przy wykorzystaniu pływaków o takiej samej podstawie wykazała, że wraz ze wzrostem wysokości pływaka zmniejszał się zakres zmian jego położenia dla określonej zadanej warstwy pomiarowej co skutkowało mniejszymi zmianami gęstości rozdziału.

Stwierdzono również, że trójkątny przekrój podłużny pływaków powodował większe zakłócenia pomiaru w stosunku do pływaków o przekroju prostokątnym.

Wyniki zamieszczone w tabeli 3 pokazują, że ewentualne zmiany gęstości rozdziału powodowane fluktuacją położenia pływaka można zniwelować poprzez filtrację sygnałów pomiarowych.

2.3. Bezwładność pływaka

Terminem „bezwładność pływaka” określona została zdolność powrotu pływaka pomiarowego do pierwotnego położenia w łożu po jego wyprowadzeniu ze stanu dynamicznej równowagi siłami zewnętrznymi.

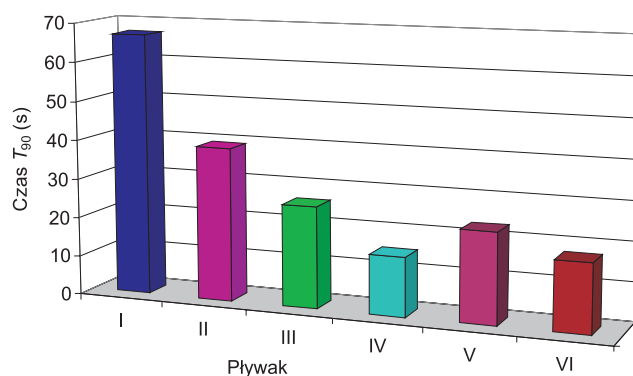
W doświadczeniach analizowano prędkość przemieszczania się pływaków do pozycji wyjściowej, po ręcznym sprowadzeniu ich na poziom pokładu sitowego.

Stwierdzono, że wraz ze wzrostem wysokości pływaka potrzebny czas powrotu do stanu równowagi ulega skróceniu. Nie stwierdzono istotnych różnic przy porównywaniu pływaków różniących się kształtem.

Uzyskane wyniki doświadczeń dla pływaków przedstawiono w tabeli 4 i na rysunku 5 w postaci zmierzonych czasów T_{90} (czas po którym pływak osiąga 90% położenia pierwotnego) i obliczonych stałych czasowych T przebiegu zmiany położenia.

TABELA 4
Wpływ kształtu i wysokości pływaka na jego bezwładność

Pływak	T_{90} (s)	T (s)
Pływak pierścieniowy	66,9	29,1
Pływak prostokątny 30	39,2	17,0
Pływak prostokątny 50	26,0	11,3
Pływak prostokątny 70	15,1	6,6
Pływak trójkątny 50	23,2	10,1
Pływak trójkątny 70	17,6	7,7



Rys. 5. Zależność T_{90} od cech geometrycznych pływaka: I — Pływak pierścieniowy; II — Pływak prostokątny 30; III — Pływak prostokątny 50; IV — Pływak prostokątny 70; V — Pływak trójkątny 50; VI — Pływak trójkątny 70

3. Wnioski

Badania przeprowadzone na osadzarce laboratoryjnej potwierdzają uzyskane wcześniej wyniki teoretyczne, że gęstość warstwy rozdzielczej wyznaczona położeniem pływaka zmienia się w zależności od zmian charakterystyki wzbogacalności węgla surowego co w efekcie

powoduje zmiany ilościowo-jakościowe produktów wzbogacania. Wielkość zmian gęstości rozdziału powodowana zmiennością charakterystyki wzbogacalności węgla rośnie wraz ze wzrostem wysokości pływaka. Zakres zmian jest istotny i wynosi od $-0,03$ do $0,08 \text{ g/cm}^3$ w zależności od kształtu pływaka.

W trakcie procesu pomiaru warstwy rozdzielczej, przy założonych stałych warunkach procesu, wskazania czujnika pływakowego podlegają zakłóceniom, które mogą skutkować zmianami gęstości rozdziału. Wraz ze wzrostem wysokości pływaka zmniejszał się zakres zmian jego położenia dla określonej zadanej warstwy pomiarowej co skutkowało mniejszymi zmianami gęstości rozdziału. (wyjątek stanowiły wyniki doświadczeń z wykorzystaniem pływaka pierścieniowego). Fluktuacje położenia pływaka są niewielkie i wynoszą ok. $0,02 \text{ g/cm}^3$. Wpływ tych fluktuacji można zmniejszać przez odpowiednią filtrację sygnału pomiarowego.

Bezładność pływaka wyrażona przez stałą czasową na zmiany jego położenia wskutek np. zmiany parametrów łoża lub zmiany zadanej gęstości pływaka jest tym większa im mniejsze są rozmiary pływaka i wynosi od ok. 7 do 30 s.

LITERATURA

- [1] *Cierpisz S., Hejduk A., Kowol D.*: Symulacyjne badania wpływu kształtu pływaka na fluktuacje gęstości rozdziału w osadzarce. MiAG, Katowice 6/437, 2007
- [2] *Cierpisz S., Kowol D.*: Charakterystyki pływaka jako elementu pomiarowego w osadzarce. Materiały IX Konferencji KOMEKO, Szczyrk, 2008
- [3] *Głowiak S.*: Wpływ zmian charakterystyki nadawy na jakość produktów wzbogacania. Materiały X Konferencji Automatyzacji Procesów Przeróbki Kopalni, Szczyrk, 2004
- [4] *Kowol D.*: Badania zakłóceń pomiaru gęstości rozdziału w zależności od cech geometrycznych pływaka. Materiały X Konferencji Automatyzacji Procesów Przeróbki Kopalni, Szczyrk, czerwca 2007
- [5] *Nawrocki J.*: Budowa i eksploatacja osadzarek. Skrypty uczelniane Politechniki Śląskiej nr 408, Gliwice, 1973
- [6] *Zapala Wl.*: Wybrane problemy pomiaru gęstości warstw wzbogacanego materiału w łożu osadzarki przy pomocy pływaka. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 156, 1987