

Aldona KRAWCZYKOWSKA, Damian KRAWCZYKOWSKI, Alicja NOWAK  
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

## ZAGĘSZCZANIE DROBNO UZIARNIONYCH ZAWIESIN ILASTYCH POZYSKIWANYCH W PROCESIE KOMPLEKSOWEGO ZAGOSPODAROWANIA PIASKÓW SZKLARSKICH

**Streszczenie.** W procesie przeróbki piasków szklarskich i formierskich powstają znaczne ilości drobno uziarnionych zawiesin ilastych, których głównym składnikiem jest kaolinit. Przez wiele lat zawiesiny te traktowano jako odpady i kierowano do osadników ziemnych. Względy ekologiczne i ekonomiczne przemawiają za koniecznością zagospodarowania zarówno surowca dotychczas zgromadzonego, jak i pochodzącego z bieżącej produkcji. Warunkiem wykorzystania tego materiału, np. w przemyśle ceramicznym, jest jego wzbogacenie.

Istotnym problemem technologicznym jest proces odwadniania produktów wzbogacania. Mała prędkość sedymentacji ziarn skrajnie drobnych powoduje konieczność budowy osadników o dużych powierzchniach, co nie zawsze jest ekonomicznie uzasadnione.

W referacie przedstawiono wyniki testów sedymentacyjnych próbek zawiesin ilastych pobranych z osadników ziemnych w jednym z zakładów przeróbki piasków szklarskich i formierskich. Pokazano przykładowe krzywe sedymentacji i wyznaczone z nich prędkości opadania zawiesin o różnych zawartościach fazy stałej i różnym uziarnieniu z zastosowaniem wybranych odczynników flokulacyjnych i bez ich użycia. Wyniki badań sedymentacji próbek zawiesin posłużyły również do obliczenia powierzchni zagęszczacza promieniowego.

## THE THICKENING OF FINE-GRAINED CLAY SUSPENSIONS GIVEN BY COMPLEX PROCESS OF GLASS-MAKING SAND MANAGEMENT

**Summary.** Thickening of fine grained clay suspensions is the important technological problem in clay raw materials processing plants. The low velocity of very fine grains sedimentation cause the necessity of large area settling tanks constructing, what is not always economically justified. The results of sedimentation tests for clay suspensions samples of solid phase granulation below 40  $\mu\text{m}$  are presented in the paper. The authors presented the examples of sedimentation curves with calculated values of settling velocities for suspensions of various solid phase contents with or without various flocculating agents additions. The results of sedimentation tests were also the base to calculation of radial thickener surface.

## 1. Wprowadzenie

W procesie przeróbki piasków szklarskich, a także piasków odlewniczych, zasadniczą rolę odgrywa klasyfikacja przepływowa, prowadzona obecnie głównie w polu działania siły odśrodkowej i umożliwiająca otrzymywanie produktów o zgodnym z normą uziarnieniu. Uziarnienie to w przypadku piasków szklarskich winno zawierać się w granicach 0,1÷0,5 mm. Ziarna większe od 0,5 mm wykorzystywane są zazwyczaj do produkcji żwirków filtracyjnych. Zawiesina o niewielkiej zawartości fazy stałej, którą stanowi substancja ilasta – głównie kaolinit – oraz drobne (< 0,1 5mm) ziarna kwarcu po ewentualnym, dodatkowym wydzieleniu drobnodziarnistego piasku, np. w zagęszczaczach lamelowych, kierowana jest do osadników ziemnych.

Zarówno względy ekologiczne, jak i ekonomiczne przemawiają za koniecznością zagospodarowania surowca ilastego, który, traktowany kiedyś jako odpad (ścieki technologiczne), został już zgromadzony w osadnikach w ciągu wieloletniej działalności zakładów produkujących piaski szklarskie. Wykorzystanie go np. w przemyśle ceramicznym napotyka na trudności z uwagi na jego niestabilne właściwości zmieniające się w zależności od miejsca zalegania w osadniku. Warunkiem zagospodarowania tego materiału jest jego wzbogacenie.

Konieczność realizacji zasad racjonalnego wykorzystywania zasobów surowców mineralnych powoduje, że większość zakładów przeróbki piasków szklarskich i formierskich podejmuje takie działanie.

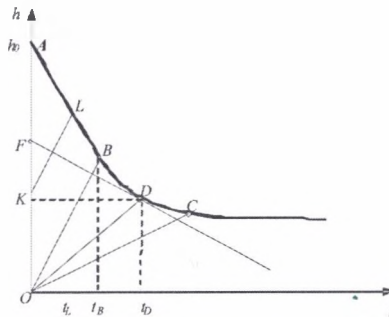
Koncentraty surowców ilastych pozyskuje się zazwyczaj w wyniku prowadzenia procesu klasyfikacji przepływowej w hydrocyklonach. Liczba stopni klasyfikacji uzależniona jest od wymaganego uziarnienia produktów końcowych. W efekcie, w przelewie ostatniego stopnia rozdziału otrzymuje się zawiesinę o niskiej zawartości fazy stałej i drobnym lub bardzo drobnym uziarnieniu. Zagęszczanie takich zawiesin jest istotnym problemem technologicznym. Często popełnianym błędem jest prowadzenie procesu klasyfikacji przy wysokich zawartościach fazy stałej w nadawie hydrocyklonów dla otrzymania podwyższonej gęstości nadawy procesu zagęszczania. Celowe jest więc prowadzenie badań nad doбором warunków sedymentacji zawiesin ilastych o zróżnicowanym składzie ziarnowym i mineralnym, określenie optymalnego zagęszczenia początkowego zawiesiny, wybranie rodzaju i dodatku najefektywniej działającego odczynnika flokulacyjnego.

Analiza procesu sedymentacji zawiesin polidispersyjnych opiera się na obserwacji zjawisk zachodzących przy osadzaniu prowadzonym na skalę laboratoryjną. Aby wyznaczyć

eksperymentalną wartość prędkości sedymentacji, należy wykonać pomiary przesuwania się granicy mętności w czasie i sporządzić wykres tej zależności tzw. krzywą sedymentacji.

## 2. Krzywa sedymentacji

Typową krzywą sedymentacji zawiesiny o koncentracji objętościowej fazy stałej  $\Theta_0$  przedstawiono na rysunku 1. Można zauważyć, że przedstawiona na nim krzywa sedymentacji składa się z dwóch odcinków prostoliniowych połączonych łukiem. Pierwszy odcinek odpowiada sedymentacji w strefie opadania kolektywnego (stała prędkość przesuwania się granicy mętności), drugi – sedymentacji w strefie przejściowej (wyraźne zmniejszenie się prędkości przesuwania się granicy mętności), a trzeci – sedymentacji w strefie kompresji. Jak widać, dla czasu krótszego od  $t_B$  występuje osadzanie zawiesiny o stałym stężeniu  $\Theta_0$ .



Rys. 1. Krzywa sedymentacji  
Fig. 1. Sedimentation curve

Charakterystyczną wielkością wykorzystywaną do opisu opadania kolektywnego jest jednostkowy strumień objętości ciała stałego

$$\dot{v}_s = \frac{V_s}{A}, \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s}) \quad (1)$$

gdzie:

$V_s$  – objętościowe natężenie przepływu fazy stałej,  $\text{m}^3/\text{s}$ ,

$A$  – powierzchnia sedymentacji,  $\text{m}^2$ ,

który dla strefy opadania kolektywnego w naczyniu sedymentacyjnym wynosi:

$$\dot{v}_s = \Theta \cdot w_z(\Theta) \quad (2)$$

gdzie:

$\Theta$  – koncentracja objętościowa fazy stałej w zawieszynie,  $m^3$  fazy stałej/ $m^3$  zawieszyny,

$w_z$  – prędkość opadania kolektywnego zawieszyny o stężeniu  $\Theta$ .

Przyjmując, że prędkość opadania kolektywnego jest równa prędkości przemieszczania się granicy podziałowej (strefy mętności), Coe i Clevenger zaproponowali uzyskiwanie zależności opisanej równaniem (2) przez wykonanie szeregu doświadczeń w naczyniu sedymentacyjnym przy różnych stężeniach zawieszyny.

Inny sposób interpretacji krzywej sedymentacji przedstawił Kynch. Zgodnie z metodą Kyncha zależność jednostkowego strumienia objętości ciała stałego od stężenia zawieszyny uzyskuje się na podstawie tylko jednego testu okresowego (jednej krzywej sedymentacji).

Oznaczając przez  $h$  wysokość dowolnego przekroju poprzecznego, różnicę jednostkowych strumieni objętości ciała stałego dla  $h$  i  $(h + dh)$  w czasie  $dt$  można zapisać jako:

$$\left[ \dot{v}_s(h + dh) - \dot{v}_s(h) \right] dt = \partial \dot{v}_s dt = dt dh \frac{\partial \dot{v}_s}{\partial h} \quad (3)$$

Uwzględniając założenia, że:

- $\dot{v}_s$  jest jedynie funkcją stężenia  $\Theta$ ,
- stężenie ciała stałego ( $\Theta$ ) jest funkcją wysokości  $h$  i czasu  $t$

oraz warunek stałości koncentracji objętościowej fazy stałej w strefie opadania kolektywnego uzyskuje się zależność:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} - \frac{d \dot{v}_s}{d \Theta} \left[ - \frac{\partial \Theta}{\partial t} - \frac{dh}{dt} \right] = 0 \quad (4)$$

Po uproszczeniu otrzymuje się równanie prędkości przemieszczania się fali stałego stężenia ciała stałego w osadzie od dna ku granicy podziałowej

$$- \frac{d \dot{v}_s}{d \Theta} = \frac{dh}{dt} = w_f \quad (5)$$

Od dna naczynia zaczyna się rozprzestrzeniać fala stężenia większego od  $\Theta_0$ . Granica podziałowa opada ze stałą prędkością (odcinek  $AB$ ) dopóty, dopóki nie dotrze do niej fala stężenia. Na rysunku 1 przedstawiono przebieg fali (linia  $OB$ ) oraz linie równoległe do niej (np.  $KL$ ), dla których zgodnie z równaniem (5):

$$w_f = \frac{dh}{dt} \quad (6)$$

Linia  $KL$  przedstawia przemieszczanie się fali, której czoło w czasie  $t = 0$  znajduje się w położeniu  $K$ . Punkt  $L$  określa czas, po którym czoło fali osiągnie granicę podziałową oraz położenie tej granicy. Linie łączące punkt  $O$  z punktami na krzywej sedymentacji między punktami  $B$  i  $C$ , są to tzw. linie stałego stężenia w zakresie  $\Theta_0 \div \Theta_{max}$ . Linia  $OC$  oznacza stężenie maksymalne (nie uwzględnia się kompresji osadu).

Po upływie czasu  $t_D$  przemieszczająca się od dna naczynia fala o stężeniu  $\Theta_D$  osiągnie punkt  $D$ , odpowiadający granicy podziałowej. Wszystkie cząstki zawiesiny musiały w tym czasie przejść przez czoło fali, zatem

$$\Theta_D (w_f + w_z) t_D = \Theta_0 h_0 \quad (7)$$

Przyjmując, że nachylenie linii  $ALB$  wyznacza prędkość opadania kolektywnego

$$w_z(\Theta) = -\frac{dh}{dt}, \quad (8)$$

skąd

$$w_z(\Theta_D) t_D = h_F - h_D, \quad (9)$$

a

$$h_F = [w_z(\Theta_D) + w_f] t_D, \quad (10)$$

otrzymuje się ostatecznie:

$$\Theta_D = \Theta_0 \frac{h_0}{h_F} \quad (11)$$

Kreśląc zatem styczne do krzywej sedymentacji na odcinku  $BC$ , można z ich nachylenia wyznaczyć prędkość opadania dla dowolnego stężenia w zakresie  $\Theta_0 \div \Theta_{max}$ , natomiast odpowiadające jej stężenie można wyznaczyć z równania (11) [1, 3].

### 3. Cel i zakres badań

Celem prowadzonych badań było określenie warunków sedymentacji próbek zawiesin ilastych pochodzących z osadników ziemnych jednego z zakładów przeróbki piasków szklarskich i formierskich. Istotne było wyznaczenie prędkości sedymentacji zawiesin o zróżnicowanym uziarnieniu i składzie mineralnym, różnym zagęszczeniu początkowym z zastosowaniem odpowiednich ilości efektywnie działających odczynników flokulacyjnych

oraz określenie możliwego do osiągnięcia zagęszczenia końcowego pozwalającego na optymalne prowadzenie procesu filtracji. Wyniki badań miały również posłużyć do oceny wielkości osadnika wymaganego do zagęszczania.

Realizując założony cel pracy, wykonano testy sedymentacyjne próbek zawiesin o różnej zawartości fazy stałej i zróżnicowanym jej składzie ziarnowym i mineralnym. Skład ziarnowy fazy stałej wybranych próbek badanych zawiesin podano w tabeli 1.

Tabela 1

Skład ziarnowy fazy stałej próbek zawiesiny

$d$ [ $\mu\text{m}$ ]		< 1	< 2	< 3	< 5	< 7	< 10	< 15	< 20	< 30	< 40
		nr próbki									
1	$\phi_1(d)$ , %	15	27	41	60	70	78	86	93	99	100
2	$\phi_2(d)$ , %	21	40	55	73	85	97	100			

W analizowanych próbkach fazą dominującą jest kaolinit o stosunkowo wysokim stopniu uporządkowania struktury. Taki skład mineralny pozwolił na oznaczenie zawartości kaolinitu i kwarcu. Inne minerały nie mogą być oznaczane ze względu na brak możliwości uzyskania zadowalających wzorców. Ich zawartość należy traktować jako uzupełnienie do 100 procent.

W tabeli 2 przedstawiono wyniki ilościowego oznaczenia podstawowych składników mineralnych wybranych próbek. Wszystkie zawartości minerałów podano w procentach wagowych z błędem względnym ok. 10%.

Tabela 2

Skład mineralny próbek

Próbka	Kwarc	Kaolinit
1	20	70
2	10	85

Testy sedymentacyjne bez zastosowania flokulantów, czyli tzw. próby „0”, prowadzone były dla szerokiej gamy procentowej masowej zawartości fazy stałej w zawieszynie ( $\alpha = 1, 5, 10, 15, 20\%$ ).

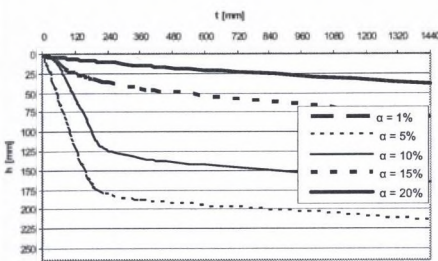
W celu zintensyfikowania procesu sedymentacji zastosowano trzy rodzaje anionowych odczynników flokulacyjnych typu Magnafloc: 919, 3230, 4240. Przygotowywano 0,05% roztwory odczynników. Po wymieszaniu zawiesiny w cylindrze dozowano odpowiednią ilość odczynnika, tak aby zapewnić założone dawki, np. 50, 100, 150, 200 g odczynnika na 1 Mg fazy stałej w zawieszynie.

Wyniki pomiarów przemieszczania się granicy mętności w trakcie sedymentacji zawiesin w różnych warunkach posłużyły do wykreślenia krzywych sedymentacji.

## 4. Wyniki badań

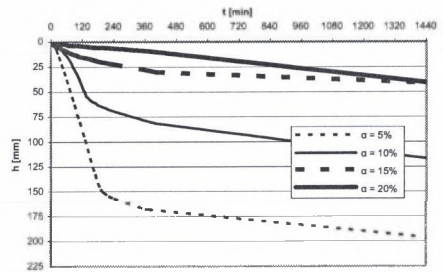
Przykładowe wykresy krzywych sedymentacji pokazano na rysunkach 2 ÷ 7.

Można zauważyć, że krzywe te mają typowy kształt, czyli składają się z dwóch odcinków prostoliniowych połączonych łukiem. Prędkość sedymentacji zawiesin można więc wyznaczyć z pierwszego odcinka krzywych, dzieląc drogę, jaką przebyła granica mętności, przez czas, w jakim ta droga została pokonana. Tym samym, im bardziej stromy pierwszy



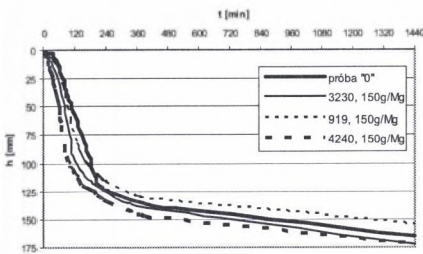
Rys. 2. Krzywe sedymentacji zawiesin o różnych zawartościach fazy stałej bez dodatku flokulantów – próbka nr 1

Fig. 2. Sedimentation curves for suspensions of various solid phase contents without flocculants addition – sample 1



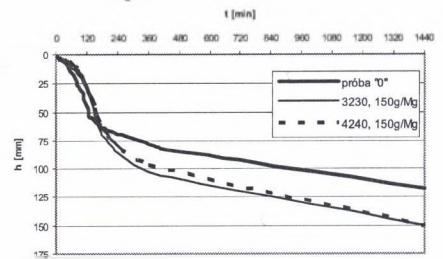
Rys. 3. Krzywe sedymentacji zawiesin o różnych zawartościach fazy stałej bez dodatku flokulantów – próbka nr 2

Fig. 3. Sedimentation curves for suspensions of various solid phase contents without flocculants addition – sample 2



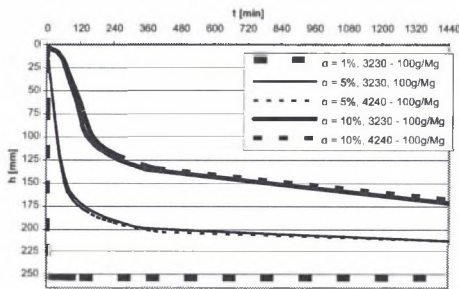
Rys. 4. Krzywe sedymentacji zawiesin o zawartości fazy stałej  $\alpha=10\%$  z dodatkiem flokulantów – próbka nr 1

Fig. 4. Sedimentation curves for suspensions of solid phase content  $\alpha=10\%$  with flocculants addition – sample 1



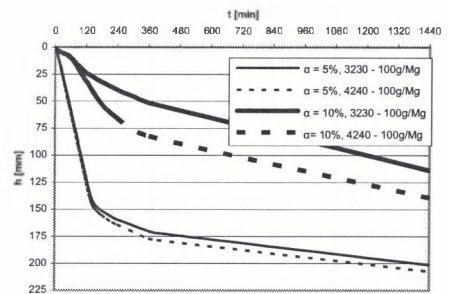
Rys. 5. Krzywe sedymentacji zawiesin o zawartości fazy stałej  $\alpha=10\%$  z dodatkiem flokulantów – próbka nr 2

Fig. 5. Sedimentation curves for suspensions of solid phase content  $\alpha=10\%$  with flocculants addition – sample 2



Rys. 6. Krzywe sedymentacji zawiesin o różnych zawartościach fazy z dodatkiem różnych odczynników flokulacyjnych – próbka nr 1

Fig. 6. Sedimentation curves for suspensions of various solid phase contents with various flocculating agents addition – sample 1



Rys. 7. Krzywe sedymentacji zawiesin o różnych zawartościach fazy z dodatkiem różnych odczynników flokulacyjnych – próbka nr 2

Fig. 7. Sedimentation curves for suspensions of various solid phase contents with various flocculating agents addition – sample 2

odcinek krzywej, tym większa prędkość sedymentacji. Zestawienie prędkości sedymentacji zawiesin podano w tabeli 3, a na rysunkach 8 i 9 przedstawiono przykładowe wykresy zależności prędkości sedymentacji zawiesin od zawartości fazy stałej i jej uziarnienia oraz dodatku odczynnika flokulacyjnego.

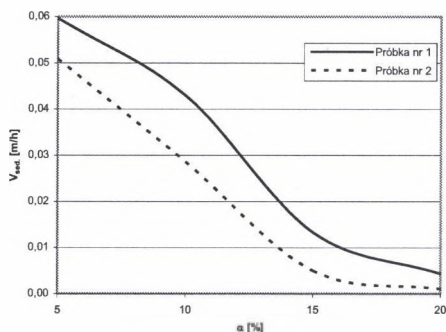
Analizując przedstawione na rysunkach 2 i 3 wykresy krzywych sedymentacji zawiesin o różnej zawartości fazy stałej (bez dodatku odczynników flokulacyjnych), można zaobserwować wyraźną zależność prędkości sedymentacji od zawartości fazy stałej w zawieszynie. W każdym przypadku najszybciej sedymentują zawieszyny o najmniejszej zawartości fazy stałej. Porównując prędkości sedymentacji zawiesin o różnym uziarnieniu zauważa się też, że większą prędkością opadania charakteryzuje się zawieszyna o mniejszej zawartości ziarn skrajnie drobnych.

Przedstawione na rysunkach 4 ÷ 7 krzywe sedymentacji zawiesin z dodatkiem różnych ilości odczynników flokulacyjnych Magnafloc 919, 3230, 4240 pozwalają zauważyć, że dodatek flokulanta powoduje zwiększenie prędkości sedymentacji, przy czym efekt działania odczynnika zaznacza się głównie przy niższych zawartościach fazy stałej w zawieszynie. Analizując te wykresy można również stwierdzić, że najwyższą skutecznością charakteryzuje się odczynnik Magnafloc 4240, najniższą Magnafloc 919, jednak zaobserwowane różnice w prędkościach sedymentacji zawiesin z dodatkiem takich samych ilości wymienionych odczynników nie mają istotnego znaczenia. Większa dawka odczynnika jedynie nieznacznie zwiększa prędkość sedymentacji.



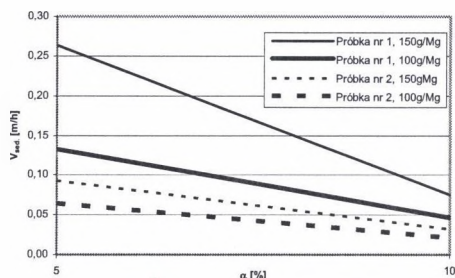
Tabela 3  
Prędkości sedymentacji

Zawiesina	$\alpha$ [%]	$\beta$ [g/l]	Rodzaj i ilość odczynnika	$v_{sed.}$ [m/h]	
1	1	10	"0"	0,6938	
			"3230"	50g/M	2,3400
				100g/Mg	8,8800
	5	52	"0"	0,0597	
			"3230"	100g/Mg	0,1287
				150g/Mg	0,1875
			"919"	100g/Mg	0,1441
				150g/Mg	0,1818
			"4240"	100g/Mg	0,1326
	150g/Mg	0,2636			
	10	107	"0"	0,0430	
			"3230"	100g/Mg	0,0553
				150g/Mg	0,0690
			"919"	100g/Mg	0,0227
150g/Mg				0,0527	
"4240"			100g/Mg	0,0464	
	150g/Mg	0,0750			
15	165	"0"	0,0133		
		"3230"	150g/Mg	0,0090	
20	229	"0"	0,0044		
		"3230"	200g/Mg	0,0015	
2	5	52	"0"	0,0558	
			"3230"	100g/Mg	0,0697
				150g/Mg	0,1009
				200g/Mg	0,1031
			"4240"	100g/Mg	0,0748
				150g/Mg	0,0764
	200g/Mg	0,0965			
	10	107	"0"	0,0316	
			"3230"	100g/Mg	0,0339
				150g/Mg	0,0368
				200g/Mg	0,0472
			"4240"	100g/Mg	0,0333
				150g/Mg	0,0430
	200g/Mg	0,0440			
15	165	"0"	0,0032		
20	229	"0"	0,0011		



Rys. 8. Wykresy zależności prędkości sedymentacji od zawartości fazy stałej i uziarnienia zawiesiny – bez dodatku flokulanta

Fig. 8. The plots of sedimentation velocity dependence on solid phase contents and suspension granulation – without flocculant addition



Rys. 9. Wykresy zależności prędkości sedymentacji od zawartości fazy stałej i uziarnienia zawiesiny – z dodatkiem flokulanta 4240

Fig. 9. The plots of sedimentation velocity dependence on solid phase contents and suspension granulation – with 4240 flocculant addition

Porównanie pokazanych na rysunkach krzywych sedymentacji zawiesin z różnym dodatkiem odczynników flokulacyjnych pozwala także potwierdzić wcześniejsze spostrzeżenie, że na prędkość sedymentacji najwyraźniej zaznacza się wpływ zawartości fazy stałej.

Testy sedymentacyjne umożliwiają określenie zagęszczenia zawiesiny po dowolnym czasie jej osadzania. Wyznaczono więc zagęszczenie poszczególnych próbek zawiesin, sedymentujących w różnych warunkach, po upływie czasu  $t = 2, 3, 6, 24$  godz. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 4. Podano tu zarówno wartości  $\alpha$  [%], jak i  $\beta$  [g/dm<sup>3</sup>].

Tabela 4

Zestawienie zagęszczeń  $\alpha$  [%] i  $\beta$  [g/dm<sup>3</sup>] po różnym czasie prowadzenia procesu sedymentacji z zastosowaniem różnych odczynników flokulacyjnych

Zawiesina	$\alpha$ [%]	Rodzaj i ilość odczynnika	$\beta_{2h}$	$\alpha_{2h}$	$\beta_{3h}$	$\alpha_{3h}$	$\beta_{6h}$	$\alpha_{6h}$	$\beta_{24h}$	$\alpha_{24h}$		
1	1	„0”	148	13,5	160	14,6	217	19,1	217	19,1		
		„3230”	50g/Mg	194	17,3	194	17,3	194	17,3	205	18,2	
			100g/Mg	185	16,6	185	16,6	194	17,3	205	18,2	
	5	„0”	97	9,1	148	13,5	185	16,6	276	23,5		
		„3230”	100g/Mg	152	13,9	174	15,7	218	19,2	281	23,9	
			150g/Mg	188	16,8	216	19,0	256	22,0	300	25,2	
		„919”	100g/Mg	171	15,4	197	17,5	239	20,8	295	24,9	
			150g/Mg	180	16,2	204	18,1	239	20,8	274	23,4	
		„4240”	100g/Mg	158	14,4	183	16,4	225	19,7	279	23,7	
	150g/Mg		217	19,1	244	21,2	276	23,5	297	25,0		
	10	„0”	136	12,5	170	15,4	213	18,8	279	23,7		
		„3230”	100g/Mg	150	13,7	182	16,3	215	18,9	295	24,9	
			150g/Mg	167	15,1	189	16,9	222	19,5	300	25,2	
		„919”	100g/Mg	112	10,5	121	11,2	180	16,2	251	21,7	
			150g/Mg	151	13,8	178	16,0	211	18,6	258	22,2	
		„4240”	100g/Mg	139	12,8	176	15,8	210	18,5	299	25,2	
	150g/Mg		185	16,6	207	18,3	245	21,2	319	26,6		
	15	„0”	182	16,3	187	16,7	198	17,6	236	20,5		
		„3230”	150g/Mg	181	16,2	187	16,7	204	18,1	269	23,0	
	20	„0”	235	20,5	237	20,6	243	21,1	266	22,8		
		„3230”	200g/Mg	232	20,2	234	20,4	237	20,6	264	22,6	
	2	5	„0”	79	7,5	113	10,5	145	13,3	208	18,4	
			„3230”	100g/Mg	97	9,1	125	11,6	151	13,8	234	20,4
				150g/Mg	100	9,4	128	11,8	158	14,4	238	20,7
200g/Mg				153	14,0	176	15,8	216	19,0	277	23,6	
„919”			100g/Mg	111	10,4	136	12,5	164	14,9	240	20,8	
			150g/Mg	114	10,6	130	12,0	155	14,1	228	19,9	
		200g/Mg	145	13,3	165	14,9	206	18,2	267	22,9		
10		„0”	129	11,9	141	13,0	153	14,0	192	17,1		
		„3230”	100g/Mg	118	11,0	122	11,3	133	12,3	189	16,9	
			150g/Mg	120	11,2	145	13,3	175	15,8	250	21,6	
			200g/Mg	125	11,6	151	13,8	182	16,3	261	22,4	
		„4240”	100g/Mg	122	11,3	134	12,3	156	14,2	227	19,9	
			150g/Mg	120	11,2	141	13,0	168	15,2	244	21,2	
200g/Mg			161	14,6	179	16,1	212	18,7	286	24,2		
15		„0”	175	15,8	178	16,0	185	16,6	196	17,4		
		„919”	150g/Mg	175	15,8	177	15,9	185	16,6	217	19,1	
20		„0”	233	20,3	234	20,4	237	20,6	271	23,1		

Z analizy danych zamieszczonych w tabeli 4 wynika, że dodatek odczynnika flokulacyjnego powoduje wzrost ostatecznego zagęszczenia zawiesiny, zwłaszcza przy krótszym czasie sedymentacji (np. 2 godz.). Przyrost masy osadu jest większy przy mniejszych początkowych zawartościach fazy stałej w zawieszynie. Najwyższą skutecznością

zagęszczenia po 2 godzinach sedymentacji z dodatkiem odczynnika 4240 w ilości 150g/Mg charakteryzuje się zawiesina 1 o grubszym uziarnieniu i zawartości fazy stałej  $\alpha = 5\%$  ( $\alpha_{2h} \approx 19\%$ ).

Graniczne zagęszczenia zawiesin po 24 godzinach sedymentacji z odczynnikiem Magnafloc 4240 wynoszą około 25%.

## 5. Obliczanie powierzchni osadnika

Otrzymane w wyniku prowadzenia testów sedymentacyjnych wartości prędkości osadzania zawiesin i ich zagęszczeń po różnych czasach sedymentacji umożliwiają obliczenie powierzchni  $A$ , a tym samym średnicy  $D$  osadników Dorra. Powierzchnie te wyznaczono dwiema metodami.

W pierwszym przypadku (I) wykorzystano wzór:

$$A_I = \left( 2 - \frac{\beta_n - \beta_p}{\beta_w - \beta_p} \right) \cdot \frac{V}{v_{sed}} \quad (12)$$

gdzie:

$A$  – wielkość powierzchni osadnika,  $m^2$ ,

$\beta_n$  – zagęszczenie nadawy – przyjęto  $\beta_n = 107 \text{ g/dm}^3$ , ( $\alpha = 10\%$ ),

$\beta_p$  – zagęszczenie przelewu – przyjęto  $\beta_p = 0 \text{ g/dm}^3$ ,

$\beta_w$  – zagęszczenie wylewu – przyjęto  $\beta_w = 370 \text{ g/dm}^3$ , ( $\alpha = 30\%$ ),

$V$  – objętościowe natężenie przepływu – przyjęto  $V = 100 \text{ m}^3/\text{h}$ ,

$v_{sed}$  – prędkość sedymentacji (z doświadczeń),  $m/h$ .

W drugim przypadku (II) wykorzystano metodę obliczeń zaproponowaną przez Coe i Clevengera, która polega na wyznaczeniu w naczyniu sedymentacyjnym prędkości zawiesiny  $w_c$  dla zawiesin o różnym stężeniu i obliczeniu odpowiadających im wartości jednostkowego strumienia objętościowego ciała stałego  $\dot{v}_s$ . Stężenie zawiesiny, dla której wartość  $\dot{v}_s$  jest najmniejsza, autorzy metody nazywają stężeniem krytycznym  $\Theta_{kr}$ , a odpowiadający mu strumień ciała stałego – strumieniem krytycznym  $\dot{v}_{s,kr}$ . Poprawnie zaprojektowany osadnik musi więc mieć taką powierzchnię, aby przepływający strumień ciała stałego był mniejszy od krytycznego [3].

Powierzchnię osadnika oblicza się z następującego wzoru:

$$A_{II} = \frac{V_s}{U_{s\ kr}} \quad (13)$$

gdzie:

$$U_s = \frac{w_z}{\frac{1}{\Theta_0} - \frac{1}{\Theta_w}}$$

$\Theta_0$  – początkowa koncentracja objętościowa fazy stałej w zawiesinie,  $m^3$  fazy stałej/ $m^3$  zawiesiny,

$\Theta_w$  – wymagana koncentracja objętościowa fazy stałej w osadzie,  $m^3$  fazy stałej/ $m^3$  zawiesiny.

Powierzchnię osadnika dla zawiesiny 1 – bez flokulanta (próba „0”) oraz z dodatkiem odczynnika flokulacyjnego, przy którym proces sedymentacji przebiegał najszybciej – obliczono dwiema opisanymi wyżej metodami, a wyniki przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5

Zestawienie danych obliczeniowych i wielkości powierzchni osadników

$\alpha$ , %	5	10	15	20	30
$\Theta$	0,0195	0,0402	0,0624	0,0862	<b>0,1392 = <math>\Theta_2</math></b>
$w_z$ , m/h	0,0597	0,0430	0,0133	0,0044	—
$U_s$ , $m^3/m^2 \cdot h$	0,001352	0,002434	0,001506	<b>0,000996 = <math>U_{s\ kr}</math></b>	—
$w_z$ flok, m/h	0,2636	0,069	0,01	—	—
$U_s$ flok, $m^3/m^2 \cdot h$	0,005968	0,003906	<b>0,001131 = <math>U_{s\ kr}</math></b>	—	—
$A_I$	<b>3979m<sup>2</sup></b> , (D = 71,2m)				
$A_{I\ flok}$	<b>2479m<sup>2</sup></b> , (D = 56,2m)				
$A_{II}$	<b>4035m<sup>2</sup></b> , (D = 71,7m)				
$A_{II\ flok}$	<b>3946m<sup>2</sup></b> , (D = 70,9m)				

## 6. Wnioski

Wyniki badań pozwalają na sformułowanie następujących uwag końcowych:

- Analiza krzywych sedymentacji próbek zawiesin pobranych z osadników ziemnych jednego z zakładów produkujących piaski szklarskie i formierskie potwierdza ogólnie znane zależności prędkości sedymentacji od początkowej zawartości fazy stałej w zawiesinie i jej składu ziarnowego. Zawiesiny o mniejszej zawartości fazy stałej sedymentują szybciej niż zawiesiny o wyższych gęstościach. Prędkość opadania fazy stałej zawiesiny nie zmienia się proporcjonalnie do jej zagęszczenia początkowego. Zmiany prędkości sedymentacji są większe niż zmiany zagęszczenia. Zawiesina 1 zawierająca mniejsze ilości ziarn skrajnie drobnych sedymentuje szybciej od zawiesiny

2. Błędem jest więc prowadzenie klasyfikacji przepływowej zawiesin ilastych przy podwyższonych gęstościach dla uzyskania wyższej zawartości fazy stałej w przelewie kierowanym do procesu zagęszczania. Wyższa gęstość rozdzielanej zawiesiny powoduje obniżenie ostrości klasyfikacji, a otrzymywany przelew sedymentuje z mniejszą prędkością.

- Dodatek odczynników flokulacyjnych intensyfikuje proces sedymentacji pobranych próbek zawiesin w niewielkim stopniu. Najwyższą skuteczność działania wykazuje Magnafloc 4240 przy sedymentacji zawiesin o zagęszczeniu  $\sim 50\text{g/dm}^3$  i dodatku tego odczynnika w ilości  $150\text{g/Mg}$  fazy stałej. Ta ilość zastosowanego odczynnika pozwala w tym przypadku na uzyskanie większego od 20% zagęszczenia osadu po 3 godzinach sedymentacji, co jest zadowalającym wynikiem i umożliwia prowadzenie efektywnego procesu filtracji.

Przy sedymentacji zawiesin o wyższych zagęszczeniach efektywność działania zastosowanych odczynników jest podobna niezależnie od rodzaju i ilości zastosowanego flokulanta. Tak więc zwiększanie ilości dozowanego odczynnika flokulacyjnego dla uzyskania wyższych prędkości sedymentacji i większego zagęszczenia osadu nie jest celowe, nieznacznie poprawia proces sedymentacji, zwiększa się ilość odczynnika w wodzie obiegowej (co dodatkowo pogarsza wyniki klasyfikacji), wzrasta koszt wzbogacania.

- Prowadzenie procesu sedymentacji badanych, drobno uziarnionych zawiesin ilastych w zagęszczaczu Dorra wymaga konstrukcji urządzeń o średnicach większych od 70 m (przy kierowaniu do nich zawiesin o zawartości fazy stałej  $\alpha \approx 10\%$  i natężeniu przepływu  $\sim 100\text{ m}^3/\text{h}$ ). Nie jest to uzasadnione ekonomicznie. W miejsce osadników Dorra o tak dużych średnicach można zastosować osadniki okresowe, w których po odpowiednio długim czasie sedymentacji (np. 24, a nawet 30 godzin) uzyskuje się zadowalające – wymagane dla dalszego etapu odwadniania (filtracji) – zagęszczenie osadu ( $\alpha > 20\%$ ), nawet bez dodatku odczynnika flokulacyjnego.

## LITERATURA

1. Bandrowski J., Merta H., Ziolo J.: Sedymentacja zawiesin. Zasady i projektowanie. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1995.

2. Blaschke Z.: Odwadnianie produktów wzbogacania i utylizacja odpadów przeróbki surowców mineralnych. Skrypt uczelniany AGH nr 590, Kraków 1977.
3. Koch R., Noworyta A.: Procesy mechaniczne w inżynierii chemicznej. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1992.

Recenzent: Dr hab.inż. Andrzej Ślącza  
Profesor Politechniki Śląskiej

### Abstract

In glass-making and moulding sands processing, the significant amounts of fine grained clay suspensions are being created, which main component is kaolinite. During many years these clays were treated as wastes and were directed to decanters. Ecological and economic reasons are the cause of both stored and currently produced materials management necessity. The condition of using this material, as for example in ceramic industry, is its enrichment process.

The clay raw materials concentrates are usually the effect of multistage hydraulic classification. The number of classification levels depends on desired granulation of final product. In result, in overflow of the last separation stage, the suspension of low fine or very fine solid phase content is obtained. Dewatering of fine grained clay suspensions is the important technological problem in clay raw materials processing plants. The low velocity of very fine grains sedimentation cause the necessity of large area settling tanks constructing, what is not always economically justified. The results of sedimentation tests for clay suspensions samples, taken from decanters of one of glass-making and moulding sands processing plants, of solid phase granulation below  $40\mu\text{m}$  and below  $15\mu\text{m}$  are presented in the paper. The authors presented the examples of sedimentation curves with calculated values of settling velocities for suspensions of various solid phase contents with or without various flocculating agents additions. The Magnafloc 919, 3230, 4240 reagents were used. The results of sedimentation tests were also the base to calculation of radial thickener surface.

The not very significant differences in work efficiency of used flocculating reagents were observed, particularly by suspensions thickening of higher initial solid phase contents. The propriety of using of very fine grinded loamy suspensions of periodical decanter in place of more expensive thickeners Dorr of high diameters.