

Eugeniusz GRZELAK*

KLASYFIKACJA HYDRAULICZNA DROBNYCH CZĄSTEK I ZAWIESIN

W referacie przedstawiono teoretyczne podstawy klasyfikacji w klasyfikatorach pionowych, poziomych, hydrocyklonach i klarownikach płytkowych wraz z konstrukcją zestawów, rezultatami klasyfikacji piasków budowlanych i klarowania wody. Stwierdzono, że zbudowane węzły klasyfikacji zapewniają rozdział na granicach podziałowych 0,063; 0,50 i 1,0 mm, a klarownik płytkowy na granicy 15 mikrometrów.

1. WSTĘP

Klasyfikacja ziarnowa w strumieniu jest jedną z podstawowych operacji technologicznych w przeróbce surowców mineralnych. Obejmuje zakres od kilku mikrometrów do około 2,0 mm.

W klasyfikacji hydraulicznej wykorzystuje się siłę ciężkości cząstki ciała stałego i opór ośrodka - najczęściej wody. Dla zwiększenia różnicy pomiędzy siłą ciężkości cząstek a oddziaływaniem oporu ośrodka stosuje się dodatkowo zawirowanie zawiesiny.

W ostatnich latach coraz szersze zastosowanie w przeróbce surowców mineralnych znajdują klarowniki płytkowe. Stosuje się je do klarowania wody zawierającej cząstki o wymiarach nie przekraczających kilkudziesięciu mikrometrów. Ich działanie oparte jest na tej samej zasadzie co klasyfikatorów poziomych, z tym, że dla zintensyfikowania procesu osadzania części stałych komora osadcza jest wypełniona płytkami, stąd nazwa klarowniki płytkowe.

2. TEORETYCZNE PODSTAWY KLASYFIKACJI HYDRAULICZNEJ

W przypadku klasyfikacji w strumieniu wznoszącym w zakresie ważności prawa Stokesa prędkość unoszenia cząstki określa równanie

$$v_u = \frac{d^2(\gamma - \rho)g}{18\mu} \quad (1)$$

stąd średnicę podziałową d_p określa zależność [9]

$$d_p = \sqrt{\frac{18\mu v_u}{(\gamma - \rho)g}}, \text{ cm} \quad (2)$$

* Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego - Warszawa

gdzie

- μ - lepkość cieczy, g/cm·s /cP/,
 v_u - prędkość przepływu /unoszenia/ cieczy, cm/s,
 γ - gęstość ciała stałego, g/cm³,
 ρ - gęstość cieczy, g/cm³,
 g - przyspieszenie ziemskie, cm/s².

W strumieniu poziomym granicę podziałową d_p określa zależność [9]

$$d_p = \sqrt{\frac{18\mu Q}{(\gamma - \rho)g}}, \quad \text{cm} \quad (3)$$

gdzie Q - przepustowość strumienia zawiesiny, cm³/s

F - powierzchnia komory klasyfikacji, cm².

W przypadku hydrocyklonu występuje siła odśrodkowa oddziałująca na zawieszinę i wówczas granicę podziałową d_p określa zależność [2]

$$d_p = \frac{18\mu R v_u}{v^2(\gamma - \rho)}, \quad \text{cm} \quad (4)$$

gdzie v - prędkość wirującego strumienia, cm/s,

R - promień obrotu cząstki, cm.

Podane zależności charakteryzują proces wydzielania jednej cząstki o kształcie kulistym w stałym przepływie strumienia. W rzeczywistości na dokładność podziału i jej granicę wpływa szereg czynników, takich jak kształt cząstek, ich koncentracja w zawieszinie, położenie cząstki w strumieniu i inne.

W klarownikach płytkowych zwiększenie przepustowości osiąga się przez zmniejszenie drogi opadania, a zatem i czasu opadania. Komora sedymentacyjna jest wypełniona pakietami płytek nachylanych pod kątem 55-60° do poziomu /rys. 1/.

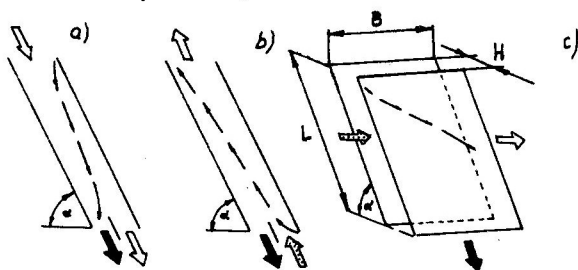


Fig.1. Flow of suspension in lamellar separators
 a-co-current; b-counter-current; c-cross-current
 Rys.1. Przepływ zawiesiny w klasyfikatorach płytkowych
 a-współprądowy; b-przeciwprądowy; c-poprzecznoprądowy

Odległość między płytkami nie powinna być mniejsza niż 25 mm. Przy takim rozmieszczeniu płytek powierzchnia rzutowana klarownika płytkowego jest 20-krotnie większa od powierzchni komory bez płytek [8].

Przepływ zawiesziny między płytkami może być współprądowy, przeciwproudowy lub poprzecznoprądowy do kierunku opadania cząstek /rys.1/.

W przypadku przepływu współprądowego prędkość unoszenia cząstki określa zależność

$$v_{uv} = \frac{v}{\frac{L}{H} \cos \alpha + \sin \alpha} \quad (5)$$

Przy przepływie przeciwproudowym prędkość unoszenia cząstki

$$v_{up} = \frac{v}{\frac{L}{H} \cos \alpha - \sin \alpha} \quad (6)$$

Przy przepływie poprzecznoprądowym prędkość unoszenia cząstki

$$v_{ub} = \frac{v}{\frac{B}{H} \cos \alpha} \quad (7)$$

gdzie $v_{u(v, p, b)}$ - prędkość unoszenia cząstki przy podanych wyżej przepływach, cm/s,

v - średnia prędkość przepływu strumienia, cm/s,

L - długość płytki, cm,

H - odległość między płytkami, cm,

B - długość pakietu płytek, cm.

Doświadczenia z klarownikami płytkowymi wykazały, że pracują one dobrze przy prędkościach unoszenia pojedynczych ziarn $v_u = 0,15$ mm/s i wyższych. Odpowiada to dolnej granicy podziałowej $13 \mu\text{m}$ w odniesieniu do ziarna o gęstości $2,60 \text{ g/cm}^3$, opadającego w wodzie [1], [4].

Najmniej wrażliwe na zaburzenia przepływu, i tym samym procesu klarowania, są klarowniki z płytkami poprzecznoprądowymi [6], [8].

3. WYNIKI KLASYFIKACJI HYDRAULICZNEJ

Rezultatem prac badawczych prowadzonych w byłym Centralnym Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Przemysłu kruszyw Budowlanych /obecnie Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego/ jest opracowanie zestawów do klasyfikacji piasków i klarowania wody.

Podstawowymi urządzeniami są klasyfikatory faliste o podstawowych granicach podziałowych $d_p = 0,5 \text{ mm}$ i $1,0 \text{ mm}$, hydrocyklon $\varnothing 500 \text{ mm}$ o kącie wierchołkowym 30° oraz klarownik płytkowy o wymiarach zewnętrznych $3000 \times 3000 \times 500 \text{ mm}$. Klasyfikatory faliste są typu współprądowego; tzn. zawieszinę doprowadza się do komory klasyfikacji od dołu poprzez kolumnę doprowadzającą. Częścią składową klasyfikatora jest kolumna wyrównawcza ciśnienia wody doprowadzanej do klasyfikatora.

Na rys. 2 przedstawiono w.w.klasyfikator. Regulacji granicy podziałowej dokonuje się przez wymianę dysz w kolumnie stabilizacyjnej i wy-

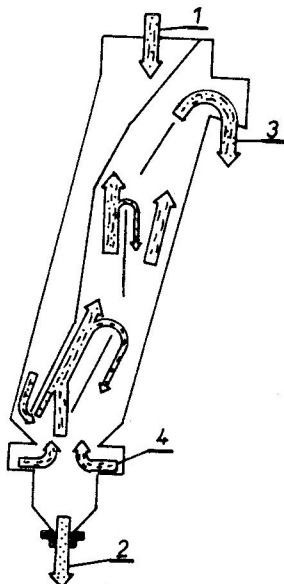


Fig.2. Wave classifier ;

1-inlet of suspension, 2-outlet of coarse sand, 3-overflow of fine sand suspension, 4-water delivery

Rys.2. Klasyfikator falisty;

1-doprowadzenie zawiesiny, 2-wylew grubego piasku, 3-przelew zawiesiny drobnego piasku, 4-doprowadzenie wody.

lewie klasyfikatora. Na rys. 3 przedstawiono schemat technologiczny tak zwanego "powtarzalnego węzła hydroklasyfikacji piasku", w zestawie którego znajdują się dwa hydrocyklony i klasyfikator falisty. W tabelicy 1 zestawiono uziarnienie nadawy i produktów klasyfikacji powtarzalnego węzła.

Tablica 1

Uziarnienie, mm	Nadawa, %	Frakcja 0,5-2,0 mm	Frakcja 0,063-0,5 mm
$> 2,0$	8,7	11,6	-
0,5 - 2,0	37,8	70,6	12,7
0,25 - 2,0	32,9		
0,125 - 0,25	16,7	17,8	81,2
0,063 - 0,125	2,9	-	4,6
$< 0,063$	1,0	-	1,5

Powyższe rezultaty osiągnięto przy obciążeniu węzła 30-50 Mg/h suchej masy. Zużycie wody czystej wynosi 5-6 m³/Mg piasku. Zużycie mocy 4 kW/Mg. Współczynnik dokładności rozdziału hydrocyklonu $K = 0,68$, klasyfikatora $K = 0,73$. Granice podziałowe d_p , hydrocyklonu 0,063 mm, klasyfikatora 0,49 mm [3].

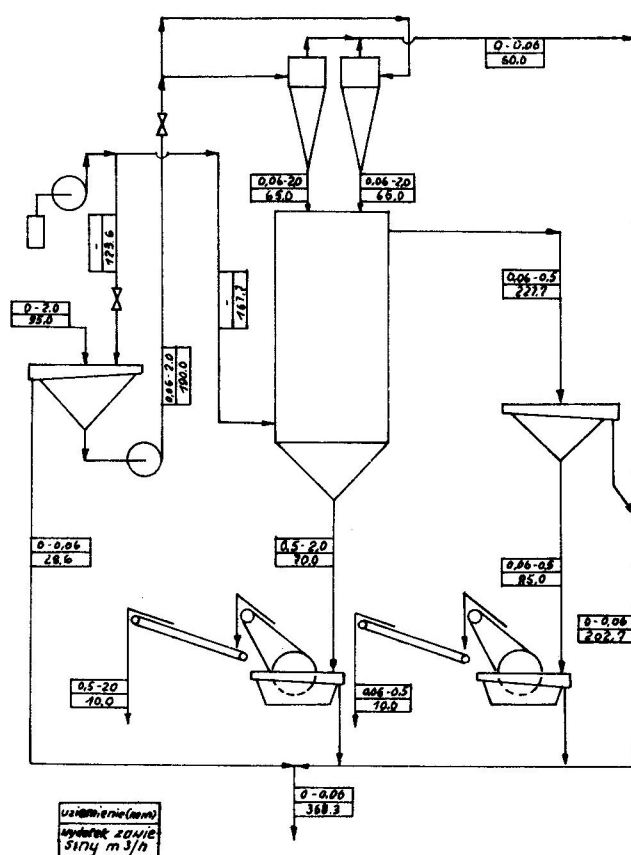


Fig.3. Technological plan of reproducible node for sand classification

Rys.3. Schemat technologiczny powtarzalnego węzła klasyfikacji piasku

W wielostopniowym węźle klasyfikacji zastosowano: hydrocyklon, klasyfikator falisty o granicy podziałowej $d_p = 1,0$ mm, klasyfikator falisty o granicy podziałowej $d_p = 0,5$ mm. Na rys. 4 przedstawiono schemat technologiczny i wydatki jakościowo-ilościowe wielostopniowego węzła klasyfikacji, a w tablicy 2 uziarnienie nadawy i produktów rozdziału.

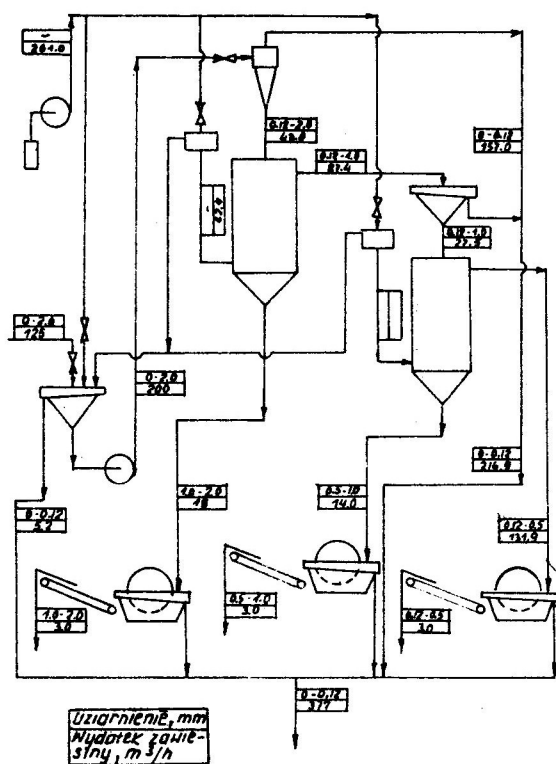


Fig.4. Technological plan of multistage node for sand classification

Rys.4. Schemat technologiczny wielostopniowego węzła klasyfikacji piasku.

Tablica 2

Uziarnienie, mm	Nadawa, %	Frakcja 1-2 mm	Frakcja 0,5-1,0 mm, %	Frakcja 0,063-0,5 mm, %
>2,0	2,0	12,0	-	-
1,0-2,0	9,0	71,0	6,0	-
0,5-1,0	24,0	12,0	77,0	5,0
0,25-0,5	48,0	4,0	10,5	55,0
0,125-0,25	12,0	1,0	6,0	39,0
0,063-0,125	3,0	-	0,5	1,0
<0,063	2,0	-	-	-

Rzeczywiste granice podziałowe d_p wynosiły 0,071 mm, 0,47 mm i 0,97 mm. Natomiast współczynniki dokładności rozdziału K poszczególnych stopni odpowiednio: 0,69; 0,68 i 0,63. Powyższe rezultaty osiągnięto przy przepustowości węża 16 Mg/h, zużycie energii 3 kW/Mg i zużycie wody 7,0 m³/Mg piasku [5].

4. KLAROWANIE WODY

Dla zapewnienia wykorzystania wody w obiegu zamkniętym w procesie płukania kruszywa zostały przeprowadzone badania jej klarowania w prototypowym poprzeczno-prądowym klarowniku płytkowym o powierzchni zabudowy 9,0 m². Nachylenie płytek wynosiło 68°, a odstęp między nimi 25 mm. Do badań użyto między innymi gliny ceglarskiej "Henryków", "Władysławów" i "Pruszków", zbliżone swoim składem mineralnym i uziarnieniem do zanieczyszczeń gliniastych kruszywa "Ławica Słupska". W tablicy 3 przytoczono niektóre dane z przeprowadzonych badań [10].

Tablica 3

Lp.	Nazwa gliny	Zawartość części stałych, g/l			Granica podział. μm
		nadawa	przelew	wylew	
1.	Henryków	23,96	8,07	55,10	10,0
2.	Władysławów	61,27	10,79	159,09	12,0
3.	Pruszków	30,15	4,98	154,39	15,0
4.	Pruszków	41,54	5,33	207,81	17,0

Przepływ zawiesiny wynosił 40-60 m³/h przy prędkości 0,75-1,12 cm/s. Zgodnie ze wzorem (7) przy podanej wyżej prędkości przepływu i parametrach klarownika, prędkość unoszenia cząstek wynosiła $v_u = 0,019-0,028$ cm/s.

Przy tej prędkości unoszenia granica podziałowa $d_p = 14-18$ μm. W badaniach stosowano także flokulanty: skrobiowy P-26 i syntetyczny Gigtar-S. Flokulanty nie tylko nie spowodowały przyśpieszenia sedymentacji, ale spowodowały jej spowolnienie. W miarę zwiększania dawki flokulantów zwiększyła się granica podziałowa i zmniejszała zawartość części stałych w wylewie klarownika.

Reasumując, klarownik płytkowy jest przydatny do klarowania zawiesin zawierających cząstki powyżej 10-15 μm. Można w nim przyśpieszyć prędkość sedymentacji ziarn kilkakrotnie w porównaniu z sedymentacją naturalną. Dolna granica podziałowa możliwa do osiągnięcia w warunkach przemysłowych wynosi 12-15 mikrometrów.

LITERATURA

1. Binder H., Wiesmann U., Sedimentation in Lamellenabscheidern. Aufbereitungs Technik. nr 2 i 3, 1983.
2. Bore M.A. Boczkow J.N, Zarubin L.S., Sznokowyje osaditielnyje centrifugi dla ugojnoy promyshlennosti, Moskwa 1970, Niedra.
3. Grzelak E., Malinowski A., Problemy technologiczne produkcji piasków hydroklasyfikowanych. XXV Jubileuszowa Konferencja Naukowa K.I.L.W. PAN i Komitetu PZITB, Krynica 1979.
4. Lange R., Feinsandrückgewinnung nach dem Lamelleneindickerprinzip. Aufbereitungs Technik nr 12, 1990.
5. Malinowski A., Klasyfikacja hydrauliczna piasku, Prace COBRPKB nr 1-2/1982.
6. Nowack E. Lammelenklärer - eine wirtschaftliche Lösung für sauberes Wasser und hohe Eindickung. Aufbereitungs Technik. nr 6, 1990.
7. Richardson J.F., Zaki W.N., Sedimentation and fluidization. Part I Trans.Inst.Chem. Engrs. nr 32/1954.
8. Schlitter W.E., Lamellenklärer, Kompaktgeräte mit hohem Raumausnutzungsgrad, Aufbereitungs - Technik nr 9/1976.
9. Schubert H. Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe, Leipzig 1968.
10. Tarkowski P. i inni, Doskonalenie wyposażenia stanowiska doświadczalnego oczyszczania wód. COBRPKB-1980 /niepublikowana/.

Grzelak E., 1992. Hydroclassification of Small Particles and Suspensions. Physicochemical Problems of Mineral Processing, 26, 25-32 (polish text).

The hydroclassification theory in application to vertical and horizontal classifiers, hydrocyclones and lamellar separators is given. Machine sets design and classification and sedimentation processes, results of mortar and concrete sands are described. It has been found that designed machine sets allow the classification on limits of 0.063, 0.5 and 1.0 mm. The classification on a limit of 15 μm is assured by the lamellar separator.