

ANDRZEJ BRYCZKOWSKI, EDYTA KUJAWSKA, JAN HEHLMANN

SEPARACJA ZAWIESIN W OSADNIKU PŁYTOWYM O PRZEPŁWIE KRZYŻOWYM

Politechnika Śląska, Katedra Aparatury Chemicznej i Procesowej, ul. M. Strzody 7, 44-100 Gliwice

Zaprezentowano badania procesu separacji cząstek ciała stałego z zawiesiny, w osadniku z wypełnieniem płytowym, o krzyżowym przepływie faz. Przeprowadzono rozważania teoretyczne procesu dotyczące opisu skuteczności separacji w oparciu o rozkłady prędkości i model frakcyjny oraz zweryfikowano doświadczalnie opracowane zależności. Uzyskane rezultaty umożliwiły sformułowanie kryteriów racjonalnego doboru układu płytowego w zależności od charakterystycznych parametrów zawiesiny.

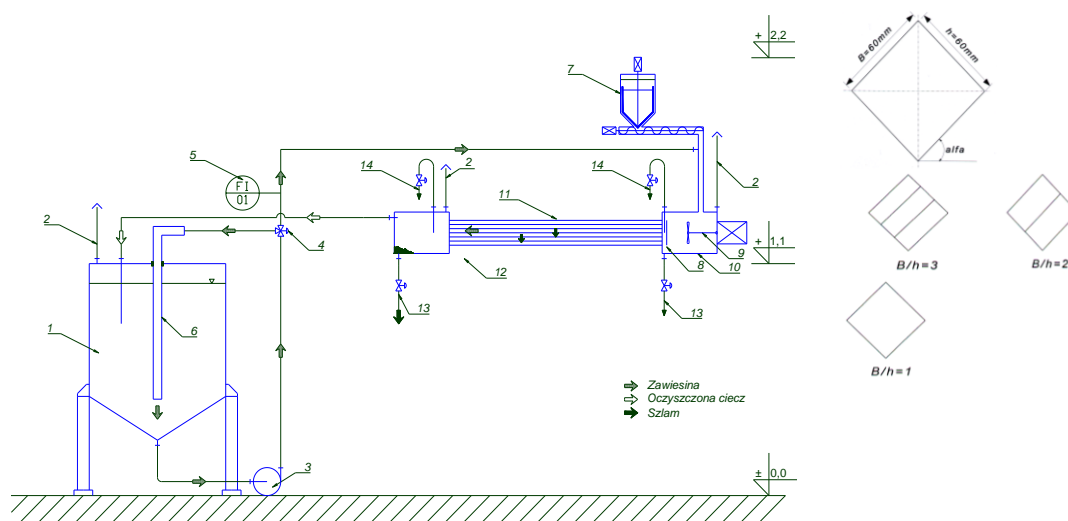
This paper presents researches of solid particles separation process from suspension, in a lamella packing settler with cross flow of phases. Theoretical consideration of process, concerning description of separation efficiency on the basis of velocity distribution and fractional model has been carried out, as well as the experimental verification of elaborated dependences. Obtained results have enabled formulating the criteria of rational selection of plate system depending on characteristic parameters of solution.

1. WPROWADZENIE

Sedymentacyjna separacja zawiesin, ze względu na swój naturalny charakter i korzystne wskaźniki ekonomiczne, jest od dawna stosowana w technologiach utylizacyjnych, w oczyszczaniu wód obiegowych oraz uzdatnianiu wód do celów przemysłowych i komunalnych. Pożądaną poprawę parametrów pracy stosowanych osadników konwencjonalnych uzyskano poprzez zastosowanie wkładów lamelowych oraz wielokanałowych. Dzięki temu osadniki o zmodernizowanej konstrukcji są stosowane w dziedzinach, w których już stosowano technikę sedymentacyjnego oczyszczania dając wzrost wydajności bądź poprawę skuteczności oczyszczania a dzięki większej efektywności wydzielania cząstek drobnych, również tam, gdzie tradycyjnie stosowano inne-kosztowniejsze metody separacyjne np. hydrocyklony, filtry lub wirówki. Brak dokładnych metod obliczeniowych, zwłaszcza w stosunku do zawiesin polidispersyjnych występujących w warunkach przemysłowych, ogranicza zakres zastosowań. O ile układ separacji przeciwpłdowej i współpłdowej jest szeroko przebadany [1-4], o tyle przypadek prądu krzyżowego, pomimo istotnego znaczenia w procesach separacji i klasyfikacji ziarnowej zawiesin, w literaturze jest przedstawiony w wąskim zakresie przebadanych parametrów. Skłoniło to do przeprowadzenia badań procesu separacji cząstek ciała stałego z strumienia zawiesiny, w osadniku z wypełnieniem płytowym o krzyżowym przepływie faz celem opracowania zweryfikowanego doświadczalnie opisu procesu.

2. ZAKRES BADAŃ

Badania zrealizowano w trzech etapach; pierwszy – z zastosowaniem instalacji laboratoryjnej, umożliwiającej przeprowadzenie badań wpływu inwariantów geometrycznych układu separacyjnego, drugi - w krzyżowym półtechnicznym osadniku płytowym, trzeci– dotyczył możliwości aplikacji związanej z odzyskiem rudy tytanowej z odpadów produkcyjnych [5].



Rys.1. Schemat laboratoryjnego stanowiska badawczego procesu sedymentacji krzyżowej wraz z charakterystyką konfiguracji zastosowanego wypełnienia płytowego .

Fig.1. Scheme of stand for researches of cross flow sedimentation and configuration of used lamella packing.

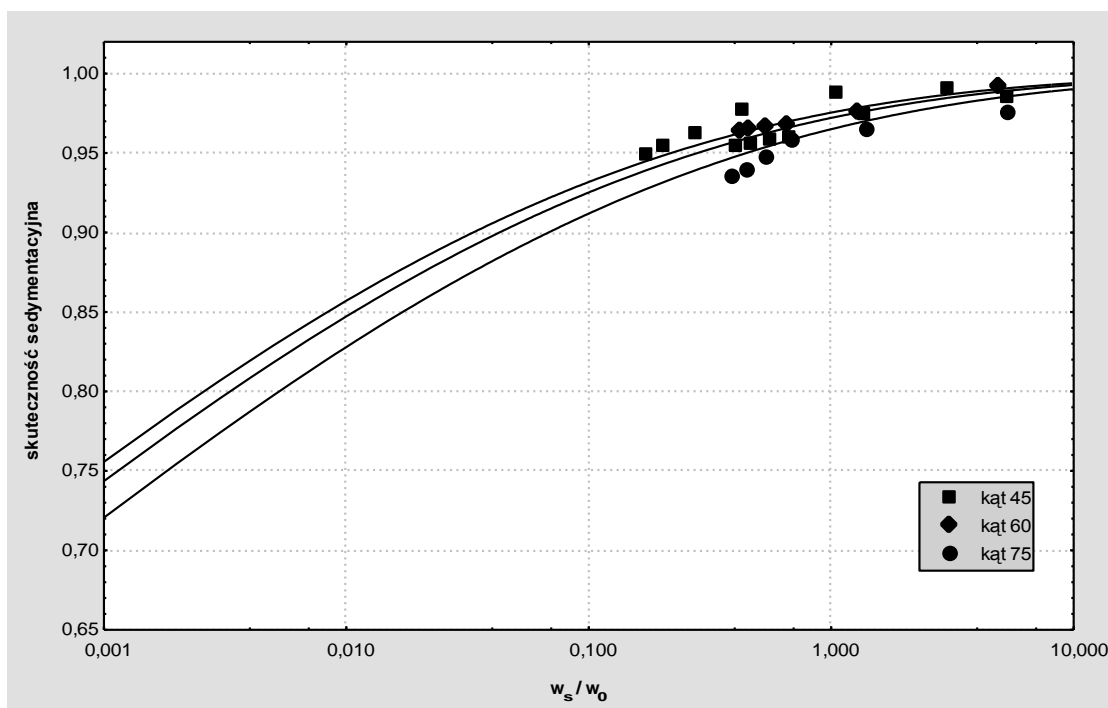
Na rys.1 przedstawiono schemat laboratoryjnego stanowiska do badania procesu sedymentacji w krzyżowym układzie przepływowym wraz z charakterystyką zastosowanego wypełnienia. Badana zawiesina cyrkulowała w instalacji w dwóch obiegach: -w pierwszym zawiesina ze zbiornika (1) przetłaczana była pompą (3) poprzez zawór trójdrożny (4), rozdzielający obiegi, a następnie wracała do zbiornika wyjściowego. Cyrkulacja ta zapewniała dobre wymieszanie zawiesiny, wspomagane wprowadzeniem przewodu cyrkulacyjnego (6) w pobliże dna zbiornika. W drugim obiegu zawiesina kierowana ze zbiornika, przez pompę i zawór (4), przepływała przez rotametr (5). Dozowanie materiału ziarnistego odbywało się za pomocą dozownika ślimakowego (7) umieszczonego w głowicy wlotowej (10). Jednorodność zawiesiny uzyskiwano dzięki zamontowaniu mieszadła (9). Wpływ mieszania na profil prędkości w kanale przepływowym zredukowano poprzez umieszczenie płytki deflektorowej (8) na wlocie do komory osadczej. Z komory wlotowej zawiesina przepływała do komory osadczej (11), w której na powierzchni wypełnienia, następowało wydzielenie osadu, odbieranego zaworem spustowym (13) w postaci szlamu.

Pomiary, w skali laboratoryjnej i póltechnicznej, prowadzono z zastosowaniem polidispersyjnych zawiesin pyłu żeliwnego poz.1, pyłu hutniczego poz.2, piasku kwarcowego o różnorodnym uziarnieniu poz.(3-5) oraz rudy tytanowej (poz.6,7). Zmienność parametrów procesowych i konstrukcyjnych mieściła się w zakresie odwzorowującym warunki spotykane w przemyśle (tabela1).

Tabela 1. Parametry procesowe i geometryczne zastosowane w badaniach.
Table1. Process and geometric parameters used in researches.

Parametr	d_{z50} [μm]	n_z	ρ_s [kg/m^3]	w_0 [m/s]	w_s [m/s]	h [m]	B[m]	α [°]	
Osadnik krzyżowy laboratoryjny	(1) 18,06	1,614	3250	$6,39 \cdot 10^{-4}$	$3,58 \cdot 10^{-4}$	0,02	0,06	45	
	(2) 31,2	1,929	4530	0,03			
				$96,9 \cdot 10^{-4}$	$167 \cdot 10^{-4}$	0,06			
Osadnik krzyżowy półtechniczny	(3) 60,25	2,93	2674	$5,43 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-4}$	0,019	0,45	45	
	(4) 38,77		2690						
	(5) 8,16	2,49	2751				60
	(6) 18,99	1,36	3537	$69,4 \cdot 10^{-4}$	$292 \cdot 10^{-4}$				
	(7) 5,73		3611						

Przykładową ilustrację otrzymanych wyników dla wartości modułu $B/h=23,7$ przedstawia rys.2. Wyniki eksperymentów (120 punktów pomiarowych) stanowiły podstawę rachunku estymacyjnego, zastosowanego do oceny wariantowych ujęć procesowych, celem wyboru opisu o najlepszej zgodności.



Rys.2. Zależność $\eta = f(w_s / w_0)$ dla zmiennego kąta pochylenia układu.
Fig.2. Dependence of $\eta = f(w_s / w_0)$ for variable settling set inclination angle.

3. OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

Przeprowadzono rozważania dotyczące opisu skuteczności separacji w oparciu o:

1 - rozkład prędkości w kanale o nieskończonej szerokości. W tym przypadku rozważania teoretyczne prowadzą do wniosku, że skuteczność procesu separacyjnego niezależnie od postaci funkcji rozkładu prędkości, jest identyczna ze skutecznością obliczaną jak dla przepływu tłokowego,

$$\eta = Hz \quad (1)$$

2 - rozkład prędkości w prostokątnym kanale przepływowym. Analizując tor ruchu cząstki, wyznaczano efektywną powierzchnię przepływu separowanych cząstek na wlocie do kanału. Zakładając wyrównane stężenie na wlocie do kanałów, skuteczność separacji określano jako stosunek natężenia strumienia przepływającego przez tą powierzchnię do całkowitego natężenia przepływu.

3 - empiryczne równanie korelacyjne bazujące na zastępczej średnicy ziarna. Punkt wyjścia rozważań stanowiła teoria podobieństwa. Stosując analizę wymiarową oraz analizę regresji uzyskano empiryczne równanie korelacyjne dla rozpatrywanego układu hydraulicznego.

$$\eta = 1 - \exp \left(-2,37 \cdot Ar^{0,096} \cdot Fr^{-0,07} \cdot \left(\frac{B}{h} \right)^{-0,096} \cdot \left(\frac{l \cdot \cos \alpha}{h} \right)^{0,099} \right) \quad (2)$$

4 - model frakcyjnej skuteczności separacyjnej. Obliczenia przeprowadzono na podstawie frakcyjnych skuteczności sedymentacyjnych obliczanych w oparciu o rozkłady uziarnienia, uzyskane dla każdego z materiałów testowych na drodze analizy ziarnowej.

$$\eta_i = 1 - \exp \left(-4,07 \cdot Ar^{0,076} \cdot Fr^{-0,135} \cdot \left(\frac{B}{h} \right)^{-0,107} \cdot \left(\frac{l \cdot \cos \alpha}{h} \right)^{0,063} \right) \quad (3)$$

W wyniku analizy porównawczej modeli procesowych, prezentowanych w literaturze – zwykle w oparciu o badania fragmentaryczne, ustalono że najlepszą zgodność dla dużego obszaru zastosowań daje model skuteczności procesowej zawierający funkcyjny opis procesu ujęty równaniem kryterialnym. Opracowany model skuteczności procesowej oraz empiryczne równania kryterialne z dużą dokładnością odwzorowują przebieg procesu sedymentacji w układzie krzyżowym. Równania te, umożliwiają uwzględnienie specyficznych cech takich jak: polidyspersyjny charakter zawiesiny o rozkładzie bimodalnym, wpływ inwariantów geometrycznych i wybór optymalnego reżimu przepływowego w zależności od typu zawiesiny.

WNIOSKI

- Korelacja wyników eksperymentalnych według równań teoretycznych daje zdecydowanie gorsze rezultaty aniżeli według równania empirycznego (2).
- Analiza uzyskanych równań sugeruje stosowanie do celów projektowych empirycznego równania korelacyjnego, bazującego na zastępczej średnicy ziarna (2), zaś do projektowania układów sedymentacyjnych z klasyfikacją frakcji ziarnowych, równania (3) operującego średnicą frakcji.
- Wyniki przeprowadzonych badań sugerują stosowanie układu krzyżowego do klasyfikacji zawieszin materiałów o zróżnicowanych frakcjach ziarnowych z zastosowaniem płyt krótkich, jak również separacji zawieszin o niewielkiej koncentracji oraz cząstek o dużej gęstości, co sprzyja stabilnemu zsuwaniu się osadu

OZNACZENIA – SYMBOLS

w_o	–średnia prędkość przepływu zawiesiny liczona na wolny przekrój f, m/s <i>average velocity of suspension flow counted on a free section f, m/s</i>	
w_s	–prędkość opadania ziaren, m/s <i>sedimentation velocity, m/s</i>	
B	–szerokość kanału przepływowego, m <i>width of settling chamber, m</i>	
h	–odległość międzypłytowa, m <i>distance between plates, m</i>	
l	–długość płyty, m <i>length of plate, m</i>	
n_z	–zastępcza wartość wykładnika dystrybucyjnego <i>equivalent value of exponent of the RRSB distribution function,</i>	
d_{z50}	–charakterystyczna średnica ziarna, dla 50% udziałowi masowego, wg rozkładu RRSB, <i>specific particle diameter corresponding to a value of $M(d) = 50.0\%$, μm</i>	
η	–skuteczność sedymentacyjna, <i>sedimentation effectiveness,</i>	
ρ_z	–gęstość ciała stałego, kg/m ³ <i>solid density, kg/m³</i>	
α	–kąt pochylenia układu osadczego, ° <i>settling set inclination angle, °</i>	

LICZBY BEZWYMIAROWE – DIMENSIONLESS NUMBERS

Ar	– liczba Archimedes'a $Ar = \frac{g \cdot d_z^3 \cdot \rho_c (\rho_z - \rho_c)}{\eta_c^2}$	Archimedes number
Fr	– liczba Froude'a $Fr = \frac{w_o^2}{g \cdot d_z}$	Froude number
H_z	– liczba Hazena $H_z = \frac{w_s \cdot l \cdot \cos \alpha}{w_o \cdot h}$	Hazen number
B/h	– moduł względnej szerokości kanału przepływowego <i>number of relative width of flow channel,</i>	
$(l \cos \alpha / h)$	– moduł parametrów geometrycznych <i>dimensionless number of geometric parameters</i>	

PIŚMIENNICTWO CYTOWANE – REFERENCES

- [1] BANDROWSKI J., MERTA H., ZIOŁO J., *Sedymentacja zawiesin. Zasady i projektowanie*. Wyd. Pol. Śl. 2001,
- [2] BINDER H., *Sedimentation aus Ein und Mehrkornsuspensionen*. Praca doktorska TU Berlin 1980.
- [3] KOWALSKI W.P., *Analiza teoretyczna i badania procesu sedymentacji wielostrumieniowej. Problemy inżynierii mechanicznej i robotyki*. AGH, Monog., Kraków, 2001
- [4] BRYCZKOWSKI A., HEHLMANN J., KUJAWSKA E., *Badania i możliwości aplikacyjne osadnika z lamelowym wypełnieniem płytowym*. ARCH. OCHR. ŚROD. 2001, 2.
- [5] KUJAWSKA E., *Badania procesu sedymentacji w osadniku z wypełnieniem płytowym i profilowym*. Praca doktorska, Gliwice, 2003.

ANDRZEJ BRYCZKOWSKI, EDYTA KUJAWSKA, JAN HEHLMANN

SUSPENSION SEPARATION IN A LAMELLA SETTLER WITH CROSS FLOW

Case of cross flow owns great importance in solution particle classification, however it is presented in literature in narrow range of examined parameters. This paper presents results of researches of solid particles separation from suspension, in a lamella packing settler with cross flow of phases, in laboratory and semi-technical scale. Measurements have included polydisperse suspensions of cast iron dust, metallurgical dust and quartz sand with miscellaneous grain-size distribution and also variability of process and constructional parameters in a range imitating conditions met in industry. Results of experiments (120 measuring points), made the base of estimation calculus which was applied for different process depictions. There have been presented results of consideration concerning the description of separation efficiency on the basis of: velocity distribution in rectangular flow channel, velocity distribution in channel with infinite width, empirical correlation equation based on substitute particle's diameter and fractional model of separation efficiency. Analysis of obtained equations suggests: - application of empirical equation for project purposes, based on substitute particle's diameter, - for project of sedimentation systems with particles fraction classification, equation operating the fraction diameter.