



Badania i aplikacje technologiczne osadników lamelowych

Jan Hehlmann

Politechnika Śląska, Gliwice

Edyta Kujawska

Przedsiębiorstwo Modernizacji Technicznych

"MULTICON" Sp. z o.o., Gliwice

1. Wprowadzenie

Osadniki lamelowe stosowane są w dziedzinach, w których tradycyjnie stosowano sedymentacyjną metodę oczyszczania wód powodując podwyższenie skuteczności separacji zwłaszcza w zakresie cząstek drobnych. Dzięki temu, rozwiązanie to może zastępować hydrocyklony i filtry będące rozwiązaniami o znacznej energochłonności. Projektowanie osadników lamelowych jest jednak utrudnione ze względu na brak uniwersalnych, wystarczająco dokładnych metod obliczeniowych. Ten stan rzeczy skłonił do podjęcia badań i teoretycznej analizy procesu sedymentacji w osadnikach z wypełnieniem płytowym i profilowym o przepływie przeciwpłądowym, współpłądowym oraz krzyżowym. W efekcie opracowano jednolite ujęcie opisu procesowego w przypadku przepływu przeciwpłądowego, współpłądowego i krzyżowego w osadni-

kach z wypełnieniem, spełniających wymogi przemysłowe w zakresie parametrów technologicznych, procesowych i konstrukcyjnych, co daje podstawy racjonalnego doboru układu przepływowego.

2. Model procesu sedymentacji

Wyżej sformułowany cel pracy osiągnięto weryfikując opisy procesu sedymentacji; uzyskane na podstawie rozwiązań teoretycznych – opartych na rozkładzie prędkości przepływu zawiesiny oraz empiryczne – opracowane dla zastępczej średnicy cząstki i posługujące się sprawnościami frakcyjnymi.

Główną uwagę skupiono na modelu z zastosowaniem teorii podobieństwa [1]. Rozważając przypadek sedymentacji zawiesiny polidyspersyjnej w kanale przepływowym prostokątnym, w oparciu o analizę wymiarową wg teorematu Buckinghama wyprowadzono empiryczne równania korelacyjne opisujące model skuteczności procesowej w postaci:

$$\eta = 1 - \exp\left(-Mo^*\right) \quad (1)$$

gdzie:

$$Mo^* = x_1 \cdot Ar^{x_2} \cdot Fr^{x_3} \cdot \left(\frac{B}{h}\right)^{x_4} \cdot \left(\frac{L \cdot \cos\alpha}{h}\right)^{x_5} \quad (2)$$

η – skuteczność procesu separacji,

x_1, x_2, \dots, x_5 – stała i wykładniki równania

B [m] – szerokość kanału przepływowego

h [m] – odległość między płytami

L [m] – długość płyty osadczącej

α – kąt pochylenia układu osadczego

k_i [m/s] – współczynnik szybkości migracji w kierunku prostopadłym do płaszczyzny osadczącej F

d_{z50} [m] – zastępcza średnica ziarna, któremu odpowiada 50% udział masowy

g [m/s²] – przyspieszenie siły ciężkości

w_o [m/s] – średnia prędkość przepływu zawiesiny odniesiona do wolnego przekroju f

ρ_s [kg/m³] – gęstość materiału ziarnistego

Liczba Margulesa: $Mo = (k/w_o)$

Liczba Archimedes'a: $Ar = g \cdot d_{z50}^3 \cdot \rho_c (\rho_s - \rho_c) / \eta_c^2$

Liczba Froude'a: $Fr = w_o^2 / g \cdot d_{z50}$

simpleks względnej szerokości kanału (B/h)

simpleks parametrów geometrycznych ($L \cdot \cos \alpha/h$).

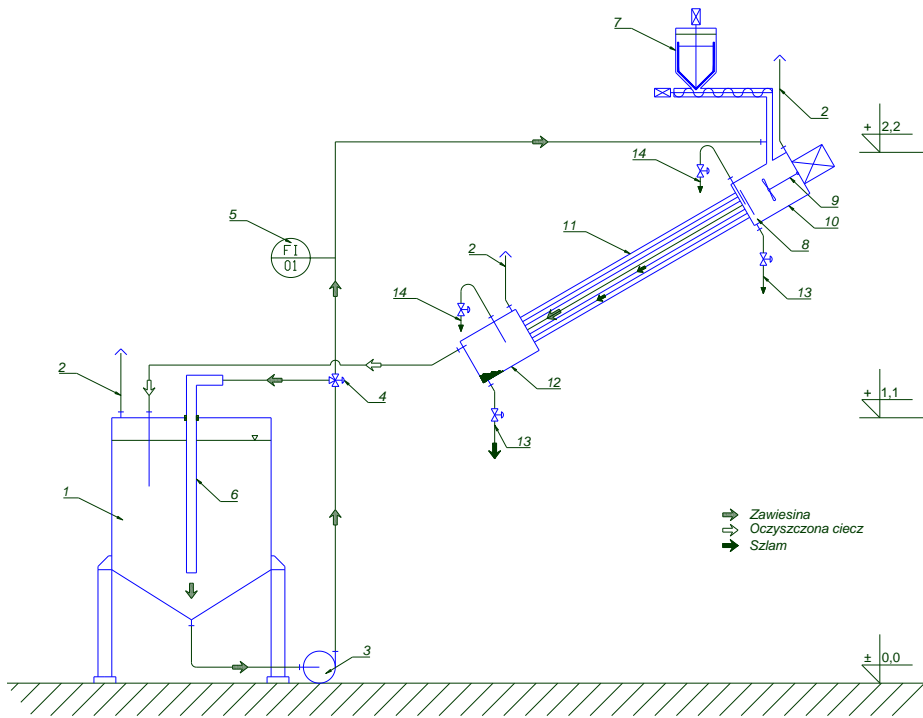
Obliczenia przeprowadzono bazując na zastępczej średnicy ziarna oraz w oparciu o frakcyjne skuteczności sedymentacyjne, obliczane na podstawie rozkładu uziarnienia uzyskanego dla każdego z materiałów testowych na drodze laserowej analizy ziarnowej. Wartości stałej x_1 oraz wykładników równania korelacyjnego $x_2 \dots x_8$ określono na drodze doświadczalnej na podstawie przeprowadzonego cyklu badań.

3. Opis badań

Badania procesu sedymentacji przeprowadzono w trzech różnych instalacjach zawierających: półtechniczny płytowy osadnik przeciwpływowy, laboratoryjny osadnik przepływowy z wypełnieniem wielokanałowym-profilowym pracującym w układzie: przeciwpływowym, współprądowym (rys. 1) i krzyżowym oraz w instalacji zawierającej półtechniczny osadnik płytowy o przepływie krzyżowym.

W układzie badawczym przeciwpływowym i współprądowym zastosowano wypełnienie płytowe i profilowe wielokanałowe o różnorodnej konfiguracji, które umożliwiło uziarnienie wymiaru geometrycznego kanału przepływowego (B/h). Charakterystykę wypełnienia przedstawiono w tabeli 1.

Pomiary objęły wodne zawiesiny 19 materiałów ziarnistych-polidispersyjnych, o różnych właściwościach fizykalnych, w stosunku do których zastosowano ujednoczoną metodę oceny charakterystycznych parametrów, opartą o rozkład Rosina-Rammlera-Sperlinga-Benetta. W badaniach zastosowano zmienność parametrów procesowych i konstrukcyjnych, w zakresie odwzorowującym warunki przemysłowe (tabela 2).



Rys. 1. Schemat instalacji laboratoryjnej do badania procesu sedymentacji w układzie współprądowym; 1 – zbiornik cyrkulacyjny, 2 – odpowietrzenie, 3 – pompa, 4 – zawór trójdrożny, 5 – rotametr, 6 – przewód cyrkulacyjny, 7 – dozownik ślimakowy, 8 – płytki deflektorowa, 9 – mieszadło, 10 – głowica wlotowa osadnika, 11 – komora osadcza, 12 – głowica wylotowa osadnika, 13 – zawór spustowy, 14 – sondy pomiarowe.

Fig. 1. Scheme of the test stand for the investigation of sedimentation in co-current flow system; 1 – circulating tank, 2 – vent, 3 – pump, 4 – three-way valve, 5 – flowmeter, 6 – circulating by-pass, 7 – screw conveyor, 8 – deflector plate, 9 – agitator, 10 – settler inlet head, 11 – settling chamber with multichannel packing, 12 – settler outlet head, 13 – drainage valve, 14 – measurement probes

Tabela 1. Charakterystyka konfiguracji wypełnienia zastosowanego w badaniach procesu sedymentacji przeciwprądowej i współprądowej

Table 1. Characteristics of the packing used for experimental tests of the sedimentation process with counter-current and co-current flows

typ kanału							
B/h	1	2	1/2	1	3	3/2	1
typ wypełn.	bez wypeł.	I	II	III	IV	V	VI

Tabela 2. Zakres zmienności parametrów procesowych i geometrycznych

Table 2. Range of operating and geometrical parameters in experiments

Parametr	Osadnik półtechniczny przeciwprądowy płytowy	Osadnik przeciwprądowy kanałowy	Osadnik współprądowy kanałowy	Osadnik krzyżowy
d_{z50} [μm]	6,78 ... 142,02	13,35	7,22 ... 31,2	8,16 ... 60,25
n_z	1,193 ... 2,321	1,498	1,197 ... 2,554	1,36 ... 2,93
ρ_s [kg/m^3]	1352,9 ... 3290	2761	1209 ... 4530	2674 ... 4530
w_0 [m/s]	$4,37 \cdot 10^{-4}$... $1,09 \cdot 10^{-2}$	$6,57 \cdot 10^{-4}$... $9,69 \cdot 10^{-3}$	$6,39 \cdot 10^{-4}$... $9,69 \cdot 10^{-3}$	$6,39 \cdot 10^{-4}$... $9,69 \cdot 10^{-3}$
w_s [m/s]	$4,29 \cdot 10^{-5}$... $1,01 \cdot 10^{-2}$	$3,45 \cdot 10^{-4}$... $5,16 \cdot 10^{-4}$	$2,79 \cdot 10^{-5}$... $1,885 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-4}$... $2,921 \cdot 10^{-3}$
h [m]	0,0157; 0,0325; 0,071	0,01; 0,02; 0,03; 0,06;	0,01; 0,02; 0,03; 0,06;	0,02; 0,03; 0,06
B [m]	0,192; 0,798	0,01; 0,03; 0,06;	0,01; 0,03; 0,06;	0,06; 0,45
α [$^\circ$]	30, 45, 50, 55, 60	30, 45, 60	45, 60, 70	45, 60, 75, 90

4. Opracowanie wyników badań

Uzyskana w wyniku realizacji programu badawczego baza danych eksperymentalnych, zawierająca około 1000 punktów pomiarowych, stanowiła podstawę rachunku estymacyjnego, zastosowanego do wariantowych ujęć procesowych [3]. Równanie korelacyjne, które opracowano w ramach modelu skuteczności procesowej bazującego na teorii podobieństwa, zostało zweryfikowane z zastosowaniem regresji wielokrotnej, uzyskując empiryczne równania korelacyjne dla rozpatrywanych układów.

W efekcie przeprowadzonej analizy statystyczno-wyrównawczej uzyskano dla poszczególnych układów hydraulicznych empiryczne równania:

➤ układ przeciwprądowy

$$\eta = 1 - \exp\left(-0,383 \cdot Ar^{-0,087} \cdot Fr^{-0,249} \cdot \left(\frac{B}{h}\right)^{0,305} \cdot \left(\frac{L \cdot \cos\alpha}{h}\right)^{0,164}\right) \quad (3)$$

➤ układ współrzędowy

$$\eta = 1 - \exp\left(-3,532 \cdot Ar^{0,088} \cdot Fr^{-0,078} \cdot \left(\frac{B}{h}\right)^{0,135} \cdot \left(\frac{L \cdot \cos\alpha}{h}\right)^{-0,074}\right) \quad (4)$$

➤ układ krzyżowy

$$\eta = 1 - \exp\left(-2,37 \cdot Ar^{0,096} \cdot Fr^{-0,07} \cdot \left(\frac{B}{h}\right)^{-0,096} \cdot \left(\frac{L \cdot \cos\alpha}{h}\right)^{0,099}\right) \quad (5)$$

Zakres zmienności liczb bezwymiarowych przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Zakres zmienności liczb bezwymiarowych

Table 3. Range of dimensionless numbers

Moduł	Układ przeciwprowadowy	Układ współrzędowy	Układ krzyżowy
Ar	⟨0,005 ... 49,44⟩	⟨0,05 ... 1,038⟩	⟨0,006 ... 2,804⟩
Fr	⟨0,001 ... 0,960⟩	⟨0,001 ... 1,325⟩	⟨0,001 ... 0,602⟩
B/h	⟨0,5 ... 3⟩ i ⟨11,24 ... 24,55⟩	⟨0,5 ... 3⟩	⟨1 ... 23,68⟩
Lcosα / h	⟨7,04 ... 70,71⟩	⟨5,7 ... 70,668⟩	⟨0,042 ... 37,194⟩
η	⟨0,149 ... 0,997⟩	⟨0,746 ... 0,998⟩	⟨0,758 ... 0,992⟩
Ilość punktów pomiarowych	461	456	90

Interpretacja równań modelu skuteczności ogólnej i frakcyjnej wskazuje na następujące zależności.

Liczba Archimedes (*Ar*) – opisująca wpływ parametrów fizykochemicznych oraz prędkości sedymentacyjnej na skuteczność separacyjną, we wszystkich trzech układach, wykazała dla zawiesin drobnoziarnistych wykładnik dodatni, natomiast dla zawiesin materiałów gruboziarnistych wykładnik ujemny. Ta zależność wskazuje jednoznacznie na niekorzystne warunki realizacji procesu sedymentacji zawiesin polidispersyjnych, szczególnie o rozkładzie ziarnowym bimodalnym, tzn. z pewnym udziałem cząstek „dużych”. Cząstki te wprowadzają istotne zaburzenia w procesie sedymentacji i są powodem obniżenia wartości skuteczności

sedymencyjnej wskutek takich zjawisk jak: zderzenia, rotacja cząstek, lokalna turbulencja i reemisja cząstek z osadu. W takich przypadkach korzystnym wydaje się budowa osadnika dwu stopniowego – klasyfikującego, o różnych prędkościach przepływu, bądź osadnika o przepływie krzyżowym.

Liczba Froude'a (Fr) – opisująca stosunek siły bezwładności strugi do siły ciężkości działającej na cząstkę, posiada ujemny wykładnik dla wszystkich reżimów hydraulicznych, co wskazuje na wzrost skuteczności separacyjnej w przypadku małych wartości liczby Froude'a ($Fr < 1$), a więc w przypadku dominacji siły grawitacyjnej nad siłą bezwładności strugi.

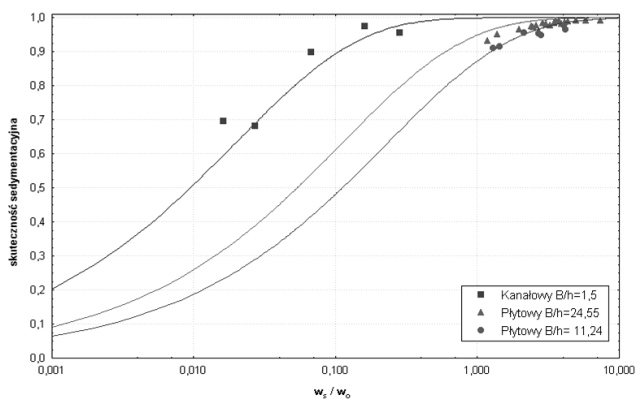
Inwariant (B/h) – charakteryzuje wpływ zmiany szerokości kanału przepływowego do jego wysokości. Zarówno dla przypadku sedimentacji przeciwpądowej jak i współpądowej wpływ tego parametru jest dodatni co oznacza, że w kanałach szerokich zanika niekorzystny wpływ ścian bocznych, zaburzający zjawisko opadania. Potwierdza to również, że osadniki z wkładami profilowymi typu rurowego będą miały niższą skuteczność aniżeli osadniki z wkładami płytowymi [2]. Ujemna wartość wykładnika dla układu krzyżowego, związana jest ze zsuwaniem się osadu wzdłuż całej szerokości płyty B i towarzyszącym efektem reemisji, powodującym zmniejszenie skuteczności procesowej. Oznacza to, że w przypadku osadnika krzyżowego korzystne jest ograniczenie szerokości płyty.

Moduł ($L \cdot \cos\alpha/h$) – ujmuje wpływ kąta pochylenia układu osadczego na skuteczność separacji, jest także stosunkiem powierzchni osadczej do powierzchni przekroju przepływowego. W przypadku układu przeciwpądowego jak i krzyżowego uzyskano wykładniki dodatnie – zatem ze wzrostem kąta pochylenia maleje sprawność procesu, co wynika z właściwości funkcji $\cos\alpha$. Z kolei przy współpądowym prowadzeniu procesu sedimentacji uzyskano wykładnik ujemny, co oznacza, że wraz ze wzrostem kąta pochylenia ($45\div 75$)° skuteczność separacyjna rośnie. Odmienność tego wpływu tłumaczy się sposobem odbioru warstwy osadu, który przy większych kątach jest regularny, zaś przy mniejszych kątach zsuwanie osadu jest nieciągłe z wytworzeniem reemisji i zaburzeń wywołanych sfałdowaniem powierzchni osadu. Pewną poprawę osiąga się poprzez właściwy wybór materiału płyt osadczych.

Z analizy wykładników simpleksów geometrycznych wynika, że w przypadku zawiesin o dużej koncentracji, formującej osady o znacznej grubości, korzystniejsze jest stosowanie układu przeciwpądowego. Odbiór cieczy klarownej odbywa się bowiem w górnej części płyt o minimalnej grubości wydzielonego osadu.

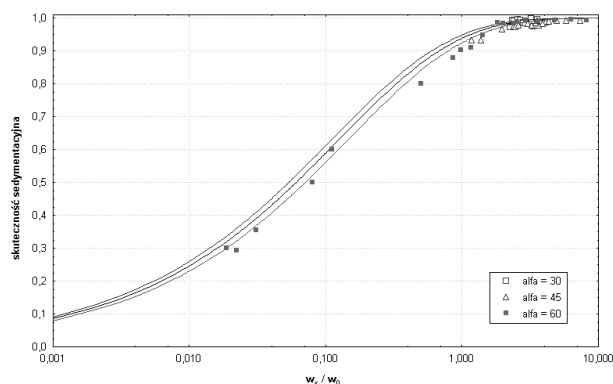
Układ współpądowy i krzyżowy można by więc zalecać dla płyt krótkich, niewielkich koncentracji zawiesiny oraz cząstek o dużej gęstości, co sprzyja stabilnemu zsuwaniu się osadu, przy czym w tych przypadkach należy zadbać o dobór płyt o dużej gładkości.

W celu pełniejszego zobrazowania procesu sedimentacji, przedstawiono ilustracje graficzne otrzymanych wyników badań. Wykresy przedstawiają zmianę skuteczności sedimentacyjnej dla układu przeciwpądowego wraz ze wskaźnikiem prędkości (w_s/w_0), dla zmiennych wartości: modułu względnej szerokości kanału przepływowego (B/h) (rys. 2) oraz zmiennego kąta pochylenia α (rys. 3). Porównano położenie danych doświadczalnych wobec wartości symulowanych według opracowanego empirycznego równania korelacyjnego. Wartości badawcze naniesiono na charakterystycznych siatkach zaczerpniętych z pracy Bindera [3], które pozwalają na zinterpretowanie zjawiska sedimentacji od momentu niemal całkowitego unoszenia zawiesiny ($w_s/w_0 = 0,001$) aż do sedimentacji zbliżonej do stacjonarnej ($w_s/w_0 = 10$).



Rys. 2. $\eta = f(w_s/w_0)$ dla zmiennej konfiguracji wypełnienia i kąta pochylenia $\alpha = 45^\circ$

Fig. 2. $\eta = f(w_s/w_0)$ relation for variable packing configuration and inclination angle $\alpha = 45^\circ$



Rys. 3. Zależność $\eta = f(w_s/w_0)$ dla zmiennego kąta pochylenia α przy $B/h = 24,55$
Fig. 3. $\eta = f(w_s/w_0)$ relation for variable inclination angle α and $B/h = 24.55$

Na podstawie przedstawionych wykresów można stwierdzić pewną dodatkową właściwość, mianowicie że najlepszy rozdział zawiesiny, ze skutecznością powyżej 90%, w tym samym obszarze prędkości przepływu ($w_s/w_0 > 0,1$), nastąpi w osadniku przeciwaprądowym z wypełnieniem kanałowym, o stosunku szerokości kanału do jego wysokości $B/h = 1,5$. Oznacza to, że mimo zaburzeń przyściennych, osadnik wielokanałowy może efektywnie pracować przy wyższych prędkościach przepływu, co zapewne w tym przypadku wynika z możliwości lepszego wyrównania profilu prędkości w całym przekroju przepływowym osadnika. Zagadnienia efektów wlotowych i wylotowych są więc również bardzo istotne i wymagają starannego rozwiązania na etapie projektowania osadnika. Natomiast przy 60° pochyleniu uzyskiwane skuteczności, zgodnie z rachunkiem symulacyjnym są niższe.

Przedstawione reprezentatywne wykresy wskazują nadto na dobrą zgodność charakteru zmian symulowanych i doświadczalnych.

5. Zastosowania przemysłowe

Wyniki pracy wykorzystano do zaprojektowania i wdrożenia w polskim koksownictwie osadników płytowych, przeciwaprądowych – do oczyszczania wód po wieży gaszenia koksu w Koncernie Meetal Steel – Zakłady Koksownicze „Zdzieszowice” [4]. Zastosowanie tego typu osadnika (rys. 4) umożliwiło odzysk (skuteczności frakcyjne kształtują

się w przedziale 97÷99%) z cyrkulujących wód pogaśniczych bardzo drobnych frakcji ziarnowych koksiku, stanowiących poszukiwany w procesach ochrony środowiska sorbent metali ciężkich, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) i innych zanieczyszczeń znajdujących się w ściekach czy też gazach odlotowych (dioksyny) i odpadach stałych. Odzyskiwany koksik jest również cennym komponentem surogatów paliwowych zawierających różne rodzaje palnych odpadów produkcyjnych i odtwarzalnych bioproduktów.



Rys. 4. Osadnik płytowy, przeciuprądowy do oczyszczania wód po wieży gaszenia koksu w ZK Zdieszowice [4]

Fig. 4. Counter-current lamella plate-type settler used for treatment of water from coke-quenching tower, installed in Coke Plant “Zdzieszowice” Meetal Steel Group [4]

Zastosowanie oryginalnego, wysokosprawnego osadnika w zamkniętym obiegu wód gaśniczych koksu (o szczytowej wydajności ok. 900 m³/h), wpłynęło też istotnie na obniżenie emisji pyłu, do wartości 20 g/t suchego wsadu węglowego, co stanowi rezultat znacznie lepszy od standardów ochrony środowiska osiągalnych w innych systemach gaszenia koksu.

Dzięki opracowanej metodyce projektowej, osadnik z wypełnieniem płytowym zastosowano również w:

- aparatach hybrydowych z wypełnieniem komórkowym do odsmalania gazu koksowniczego o wydajności 30÷60 tys. m³/h, połączonego z wydzieleniem zawiesiny smołowej z wody procesowej,
- koagulacyjnym odsmalaniu wód obiegowych w koksowniach (rys. 5), co wyeliminowało ekologicznie niebezpieczną benzolową metodę ekstrakcyjną, wydajność aparatu (70÷90) m³/h, [5].
- klasyfikacji ziarnowej poreakcyjnych odpadów tytanonośnych, z ich utylizacją w procesie produkcji bieli tytanowej,
- oczyszczaniu wody do celów komunalnych o wydajności 1200 m³/h.



Rys. 5. Koagulacyjno-sedymentacyjny osadnik lamelowy do odsmalania wód obiegowych w ZK Zdieszowice [5]

Fig. 5. Coagulation-sedimentation lamella settler for tar separation installed in Coke Plant “Zdieszowice” Meetal Steel Group [5]

6. Wnioski

Przeprowadzone badania upoważniają do stwierdzenia, że:

1. Do celów projektowych godne polecenia są empiryczne równania korelacyjne. Niezależnie od tego, czy obliczenia przeprowadzane są według zależności bazującej na zastępczej średnicy ziarna czy też korzysta się z metody frakcyjnej, uzyskuje się zależności o podobnej zgodności skorelowania.
2. Analiza otrzymanych wykładników wskazuje na odmienny wpływ niektórych modułów w różnych reżimach hydraulicznych, co przemawia za stosowaniem modelu bazującego na równaniu kryterial-

nym, odwołującym się do weryfikacji doświadczalnej. Odmienny charakter simpleksu względnej szerokości kanału (B/h) wpływający na skuteczność procesową w dodatniej potędze dla przeciwprądu (0,305) i współprądu (0,135), a w ujemnej dla przepływu krzyżowego (-0,091), wiąże się z zsuwaniem wydzielanego osadu wzdłuż szerokości płyt B i wystąpieniem reemisji osadu.

3. Analiza wykładników simpleksów geometrycznych sugeruje stosowanie:

- układu przeciwprądowego do rozdziału zawiesin o dużym stężeniu ciała stałego, tworzącego osady o znacznej grubości, z uwagi na górny odbiór cieczy oczyszczonej,
- układu współprądowego w przypadku zawiesin o niewielkiej koncentracji oraz cząstek o znacznej gęstości, co sprzyja stabilnemu zsuwaniu się osadu i ogranicza zakłócenia związane z reemisją osadu,
- układu krzyżowego do klasyfikacji zawiesin materiałów o zróżnicowanych frakcjach ziarnowych z zastosowaniem płyt krótkich.

Podsumowując, opracowany model skuteczności procesowej oraz empiryczne równania kryterialne, zweryfikowane w oparciu o ok. 1000 punktów pomiarowych, wykazują cechy uniwersalne i z dużą dokładnością odwzorowują przebieg procesu sedymentacji w trzech charakterystycznych reżimach. W odróżnieniu od modeli teoretycznych, umożliwiają one uwzględnienie specyficznych cech tj: polidispersyjny charakter zawiesiny o rozkładzie bimodalnym, wpływ inwariantów geometrycznych i wybór układu przepływowego w zależności od typu zawiesiny. Opracowane równania, w wersji uwzględniającej skuteczność frakcyjną, umożliwiają projektowanie i optymalizację wymiarów osadnika jedno lub dwustopniowego a także klasyfikatorów ziarnowych.

Literatura

1. **Orzechowski Z.:** *Przepływy dwufazowe*. PWN. Warszawa 1978.
2. **Bandrowski J., Hehlmann J., Merta H., Ziolo J.:** *Studies of sedimentation in settlers with packing*. Chemical Engineering and Processing 36, 219÷229. 1997.
3. **Kujawska E.:** *Badania procesu sedymentacji w osadniku z wypełnieniem płytowym i profilowym (in Polish)*. Ph.D., Silesian University of Technology. Gliwice 2003.
4. **Hehlmann J. i inni:** *Sposób i wieża mokrego gaszenia koksu z kontrakcją emitowanych oparów*. Zgłoszenie patentowe nr P-318 386.
5. **Hehlmann J., Kujawska E., Szeja W., Mokrosz W., Dragun H.:** *Sposób i urządzenie do odsmalania wód koksowniczych*. Zgłoszenie patentowe nr 3432/19, 2006.

Studies and Technological Applications of Settlers with Lamella Packing

Abstract

The paper presents the study of the process of particles separation from the polydisperse suspensions, carried out by means of different laboratory stands comprising of lamella and multichannel settlers with counter-current, co-current and cross-current flow regimes. Considering the velocity distribution and dimensional analysis of the phenomena, a validation of variant models of the process has been carried out based on the obtained results. Correlation of the experiment results, concerning different industrial suspensions, carried out according to the theoretical equations, gives considerably bad outcomes, much worse than these produced by the empirical equation (2). Furthermore, these theoretical models disable functional analysis of the parameters, having significant influence on the process, proved by the experiments. Design purposes are worth recommendation for the correlation equations, incorporating equivalent diameter of the particles or in particular, the criterion equations using fractional diameter for calculation of sedimentation systems with particle fractions grading. The analysis of the obtained exponents, points out a different effect of some dimensionless numbers observed by different hydraulic regimes, which favours the use of model based on criterion equation, validated by experiments. It is a consequence of good representativity of particle size distribution through the d_{z50} value as well as particularly through the application of fractional efficiency

calculation method. The analysis of exponents, accompanying geometrical simplexes, favours the use of:

- counter-current systems; for separation of suspensions of high inlet concentrations of particles – producing sediment of significant thickness, due to the removal of clarified liquid carried on in the upper part,
- co-current systems; in case of suspensions of relatively low inlet concentration and particles of significant density, which enhances stable sliding down of sediment and limits disturbances related to reemission of deposit. Cross-current systems; for classification of suspensions of diversified grain fractions materials, with applying the short plates.
- hybrid systems are composed of inlet and outlet short multichannel packing but in the middle, decisive part of plate packing. such an arrangement favours the compensation of inlet velocity distribution, stabilises the sludge collection and simultaneously it supports all system in the upper part of the settler. That construction solution is especially recommended for large-size settlers alleviate the influence of inlet-outlet effects as well.

Developed model of process efficiency and empirical criterion equations, validated on the basis of around 1000 experiments, prove certain universal features and represent sedimentation process run by three regimes, with a high accuracy. These equations, as distinct from theoretical models, enable accounting for specific characteristic parameters like: polydisperse nature of the system, including bimodal distribution, the influence of geometrical invariants, and enhance the selection of flow regime in relation to the character of the suspension.

The elaborated equations, concerning the fractional efficiency, enable also the design and optimisation of the settler geometry, both one – and two-stage, as well as the particle classifiers.

Furthermore, the received results enabled: formulation of the uniform process description; formulation of rational criteria for the selection of appropriate settler depending on characteristic parameters of the suspension; and finally – the industrial application of the settlers.