

Włodzimierz P. KOWALSKI, Piotr WARZECHA, Marian BANAŚ, Krzysztof KOŁODZIEJCZYK

e-mail: mbanas@agh.edu.pl

Katedra Systemów Energetycznych i Urzędzeń Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Dobór konstrukcji wypełnienia przeciwpłądowego oraz prostopadłopłądowego w laboratoryjnym osadniku wielostrumieniowym

Wprowadzenie

Jedną z metod intensyfikacji procesu sedymentacji jest stosowanie tzw. płytkiej sedymentacji. Realizowane jest to poprzez zastosowanie wkładów wielostrumieniowych. Jest to metoda intensyfikacji procesu sedymentacji poprzez zwiększenie powierzchni sedymentacyjnej.

Wkłady wielostrumieniowe tworzą tzw. przewody wypełnienia wielostrumieniowego. Sumaryczna powierzchnia rzutu na płaszczyznę poziomą wszystkich przewodów jest kilkukrotnie większa niż powierzchnia osadnika bez zastosowania wkładów.

Proces sedymentacji wielostrumieniowej można realizować w kilku wariantach: prostopadłopłądowym, współpłądowym lub przeciwpłądowym (najbardziej rozpowszechniony układ realizacji występujący w wielu procesach technologicznych). Wariant prostopadłopłądowej sedymentacji wielostrumieniowej pozwala na uzyskanie największych powierzchni sedymentacji w stosunku do powierzchni zabudowy.

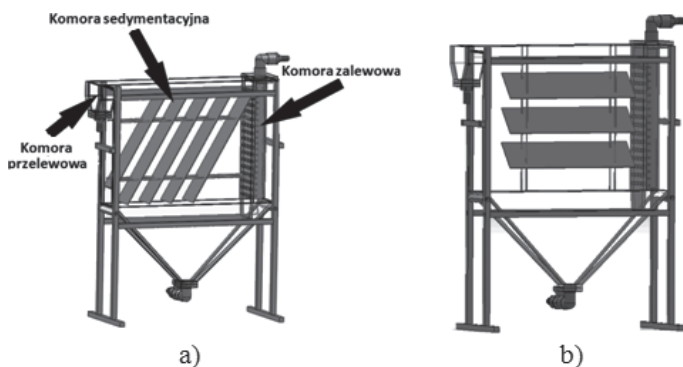
W literaturze można znaleźć szereg opracowań dotyczących osadników z wypełnieniem wielostrumieniowym [Kowalski, 1992; Bandyrowski i in., 1992; Mięso, 2000; Kowalski i Mięso, 2002; Kowalski, 2004]. Brak jest jednak opracowań pozwalających na bezpośrednie porównanie procesu sedymentacji wielostrumieniowej realizowanego w różnych wariantach (przeciwpłądowym, prostopadłopłądowym), w tym samym urządzeniu przy zachowaniu jednakowej powierzchni sedymentacyjnej.

W pracy podano koncepcyjne rozwiązanie osadnika laboratoryjnego mogącego pracować opcjonalnie w wariantach prostopadłopłądowej oraz przeciwpłądowej sedymentacji wielostrumieniowej.

Celem pracy jest przedstawienie doboru procesu i doskonalenia konstrukcji wypełnienia wielostrumieniowego osadnika dla uzyskania porównywalnych wartości prędkości przepływu płynu przez kolejne przewody. Ma to zapewnić takie same warunki przepływu zawiesiny we wszystkich przewodach sedymentacyjnych.

Stanowisko badawcze

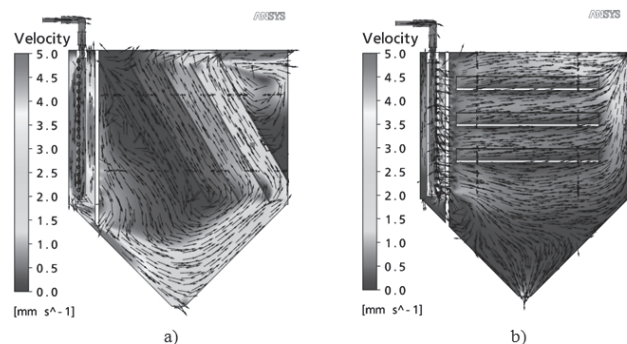
Zaprojektowano i wykonano osadnik z przezroczystego szkła organicznego umożliwiającą obserwację przebiegu procesu sedymentacyjnego (Rys. 1). Założono, że konstrukcja osadnika (i wypełnienia wielostrumieniowego) będzie poprawna, gdy wszystkie przewody wielostrumieniowe będą równomiernie obciążone przepływającą zawiesiną. Osadnik laboratoryjny miał następujące wymiary: wysokość 450 mm, długość 330 mm i szerokość 76 mm. Jego objętość wynosiła 3,6 dm³, natomiast powierzchnia sedymentacyjna dla każdego wariantu wypełnienia wielostrumieniowego osadnika obejmowała 337 cm².



Rys. 1. Laboracyjny osadnik z wypełnieniem wielostrumieniowym w wariantach sedymentacji: a) przeciwpłądowym, b) prostopadłopłądowym

Weryfikacja poprawności konstrukcji

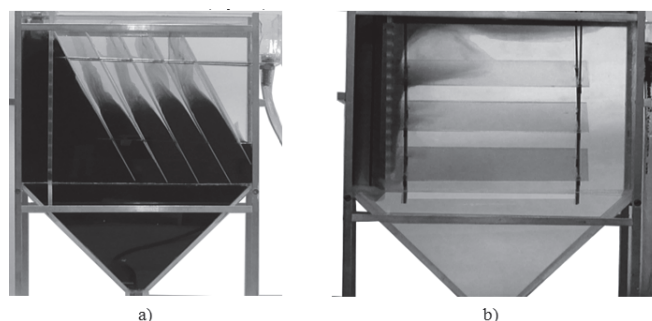
Pierwszym etapem doboru oraz weryfikacji poprawności rozwiązania konstrukcyjnego osadnika było przeprowadzenie badań symulacyjnych przepływu w programie *Ansys CFX* celem sprawdzenia rozkładu prędkości przepływu płynu w osadniku w obu wariantach sedymentacji [Banaś i in., 2012]. W symulacjach badano rozkład prędkości przepływu wody w osadniku. Natomiast pominięto w symulacjach modelowanie fazy dyspersyjnej zawiesiny ze względu na znaczne uproszczenie i jednoczesne zwiększenie dokładności obliczeń. Uzyskane wyniki przedstawiono na rys. 2. Z badań wynika, że poszczególne wkłady wypełnienia wielostrumieniowego w obydwu wariantach będą równomiernie obciążone, gdy strumienie płynu w każdym z przewodów będą miały zbliżone wartości.



Rys. 2. Rozkład prędkości przepływu płynu w płaszczyźnie symetrii osadnika w wariantach: a) przeciwpłądowym, b) prostopadłopłądowym

Kolejnym etapem było przeprowadzenie wizualizacji przepływu w osadniku laboratoryjnym. Doświadczalnej weryfikacji poprawności rozwiązania konstrukcyjnego osadnika dokonano za pomocą płynu zabarwionego markerem optycznym [Banaś i in., 2012].

Uzyskane wyniki (Rys. 3) pozwoliły stwierdzić, że konstrukcja wypełnienia w układzie przeciwpłądowym jest poprawna, ponieważ kolejne przewody wypełnienia wielostrumieniowego są równomiernie obciążone.

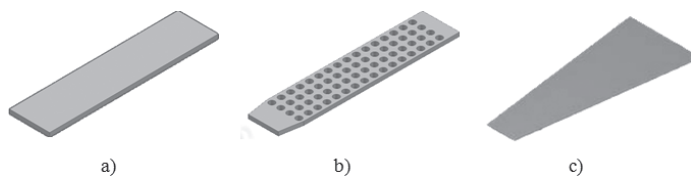


Rys. 3. Wizualizacja przepływu płynu zabarwionego markerem optycznym w wariantach sedymentacji: a) przeciwpłądowym, b) prostopadłopłądowym

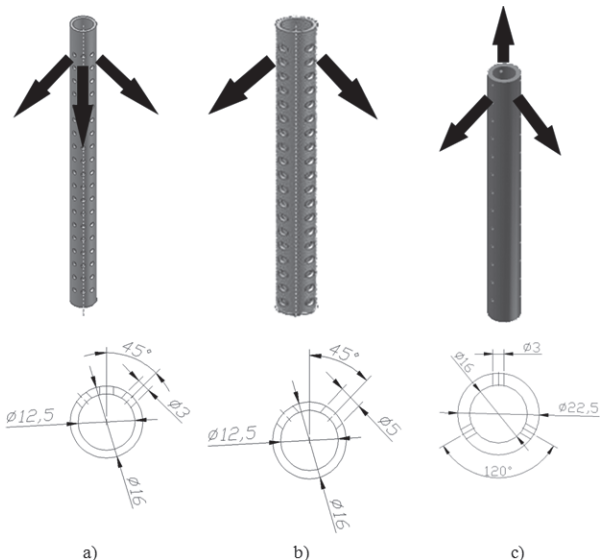
Natomiast konstrukcja w układzie prostopadłopłądowym wymagała dopracowania. Aby zapewnić równomierne obciążenie osadnika z wypełnieniem prostopadłopłądowym przeprowadzono następujące działania:

- Dobrano odpowiedni króciec zalewowy, który miał zapewnić równomierną dystrybucję płynu w przekroju poprzecznym w komorze zalewowej (Rys. 5).

– Zastosowano elementy zmieniające kierunek przepływu płynu w komorze osadnika (Rys. 4).



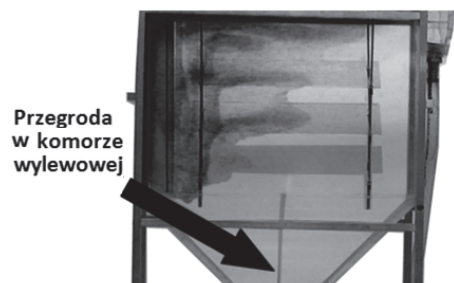
Rys. 4. Warianty stosowanych przegród: a) Przegroda pełna, b) Przegroda z otworami $\varnothing 8$ rozmieszczonymi w 4 kolumnach i 16 rzędach, c) Przegroda wylewowa



Rys. 5. Króćce rozprowadzające ciecz zabarwioną markerem optycznym: a) Rurka z otworami $\varnothing 3$ rozmieszczonymi w 3 kolumnach i 19 rzędach, b) Rurka z otworami $\varnothing 3$ rozmieszczonymi w 2 kolumnach i 19 rzędach, c) Rurka z otworami $\varnothing 3$ rozmieszczonymi w 3 kolumnach i 16 rzędach

Przeprowadzono próby doświadczalne, podczas których obserwowano przesuwanie się granicy znacznika i porównywano jej położenie w przewodach wypełnienia wielostrumieniowego. Na tej podstawie uznano, że najbardziej równomierny rozkład uzyskuje się dla króćca z otworami $\varnothing 3$ rozstawionymi co 120° w 3 kolumnach i 16 rzędach (Rys. 5c). Efektem jego zastosowania było skierowanie części strumienia płynu na niższe położone przewody.

Jednak nadal znaczna część płynu przepływała przez komorę wylewową pod wkładami. Z tego powodu do komory wylewowej wprowadzono przegrodę (Rys. 4c), która pozwoliła wyeliminować to zjawisko (Rys. 6).



Rys. 6. Wizualizacja przepływu płynu zabarwionego markerem optycznym w osadniku po zastosowaniu przegrody w komorze wylewowej

Dodatkowo przed komorą przelewową zastosowano przegrodę, która uniemożliwiła przepływ płynu górną częścią osadnika bezpośrednio z komory zalewowej do komory przelewowej (Rys. 4a).

Łącznie dzięki tym zmianom uzyskano rozkład prędkości przepływu przedstawiony na rys. 7. Ten obraz rozkładu przepływu płynu przez przewody uznano za poprawny, ponieważ wszystkie przewody wypełnienia wielostrumieniowego są równomiernie (podobnie) obciążone strumieniem przepływającego płynu. Zatem taka konstrukcja wypełnie-



Rys. 7. Wizualizacja przepływu płynu zabarwionego markerem optycznym w osadniku z dwiema przegradami

nia prostopadłoprądowego będzie mogła być zastosowana w procesie sedymentacji wielostrumieniowej.

Podsumowanie i wnioski

Symulacja rozkładu prędkości przepływu płynu przez osadnik (przy użyciu programu *Ansys CFX*) potwierdziła, że w obydwu wariantach wypełnienia wielostrumieniowego (przeciwprądowego i prostopadłoprądowego) obciążenie poszczególnych przewodów wypełnienia wielostrumieniowego będzie równomierne.

Laboratoryjne badania przepływu płynu przez osadnik nie potwierdziły wyników symulacji MES. W wariantcie przeciwprądowym obciążenie poszczególnych przewodów wielostrumieniowych było równomierne, natomiast w wariantcie prostopadłoprądowym istniały dysproporcje przepływu płynu w kolejnych przewodach.

Konieczne zatem było dopracowanie konstrukcji wypełnienia prostopadłoprądowego, co zrealizowano dobierając następujące elementy konstrukcyjne:

- Króćiec rozprowadzający w wariantcie: otwory $\varnothing 3$ rozmieszczone w 3 kolumnach i 16 rzędach co 120° .
 - Przegrodę w komorze wylewowej, która eliminuje przepływ płynu pod wkładami wielostrumieniowymi.
 - Przegrodę przed komorą przelewową, która eliminuje przepływ nad wkładami wielostrumieniowymi z komory zalewowej do komory przelewowej oraz wymusza przepływ płynu przez niższe położone przewody wypełnienia wielostrumieniowego.
- Otrzymany obraz przepływu płynu przez wypełnienie prostopadłoprądowe w osadniku umożliwił równomierne obciążenie poszczególnych pakietów wypełnienia.
- Następnym etapem powinno być badanie rzeczywistego procesu sedymentacyjnego z wykorzystaniem zawiesiny.

LITERATURA

- Mięso R., 2000. *Badania procesu prostopadłoprądowej sedymentacji*. Praca doktorska. AGH, Kraków, 2000
- Bandrowski J., Merta H., Ziolo J., 1992. Obliczanie powierzchni sedymentacji ciągłej na podstawie teoretycznej prędkości opadania. Część I. Zawiesiny monodispersyjne, *Inż. Ap. Chem.* **31**, nr 4, 25-29
- Kowalski W.P., 2004. *Osadniki wielostrumieniowe*. UWN-D AGH, Kraków
- Kowalski W.P., 1992. Podstawy teoretyczne projektowania osadników z wkładami wielostrumieniowymi, *Zesz. Nauk. AGH, Mechanika*, 27
- Kowalski W.P., 2001. *Analiza teoretyczna i badania sedymentacji wielostrumieniowej* [w:] *Problemy Inżynierii Mechanicznej i Robotyki*, nr 3, WIMiR AGH, Kraków
- Kowalski W.P., Banaś M., Kołodziejczyk K., Mięso R., Zacharz T., 2004: *The application of lamella sedimentation devices in purifying of water and water wastes.*, UWN-D AGH, Kraków
- Kowalski W.P., Mięso R., 2002. *Wpływ konstrukcji wypełnienia osadnika prostopadłoprądowego na efektywność sedymentacji* [w:] Kochan E. (red.), Niedźwiedzki J., (red.). *Wybrane problemy rozwoju maszyn roboczych, hutniczych i ceramicznych*. nr 6, 173-180. WIMiR AGH, Kraków (ISBN 83-916516-0-6)
- Banaś M., Kołodziejczyk K., Warzecha P., 2012. Flow modeling in a laboratory settling tank with optional counter-current or cross-current lamella. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, **53**, nr 1, 28-36