

Marek OCHOWIAK, Magdalena MATUSZAK, Sylwia WŁODARCZAK, Małgorzata ANCUKIEWICZ, Andżelika KRUPIŃSKA

e-mail: marek.ochowiak@put.poznan.pl

Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej, Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

## Ocena pracy zmodyfikowanego osadnika wirowego do oczyszczania strumienia wody zanieczyszczonej frakcją lekką

### Wstęp

Urządzenia stosowane w sieci kanalizacyjnej do podczyszczania wód deszczowych wykorzystują proces sedymentacji oraz flotacji. Zalicza się do nich m.in. piaskowniki, osadniki oraz separatory substancji ropopochodnych (węglowodorów). Klasyczne osadniki do podczyszczania wód deszczowych pozwalają oddzielić od wody cząstki frakcji ciężkich łatwo opadających o gęstości większej od  $1 \text{ kg/dm}^3$ . Osadniki te mogą być stosowane do podczyszczania wód deszczowych przed wprowadzeniem do odbiornika oraz w instalacjach przed innymi urządzeniami, które wymagają zabezpieczenia przed nadmierną ilością dopływających do nich zawieszin, przykładowo przed separatorami [Anielak, 2000]. Miarą skuteczności działania osadników jest stopień usunięcia zanieczyszczeń [Kuroпка, 1989] określane jako:

$$E = \frac{c_0 - c}{c_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

$E$  – skuteczność działania osadnika, [%];

$c_0$  – stężenie zanieczyszczeń w wodach dopływających do osadnika, [ $\text{kg/m}^3$ ];

$c$  – stężenie zanieczyszczeń w wodach odpływających z osadnika, [ $\text{kg/m}^3$ ].

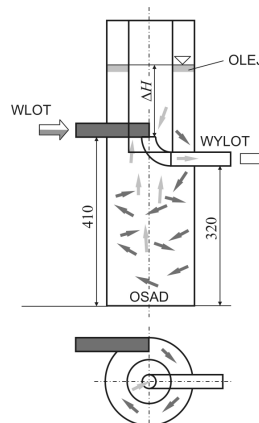
Skuteczność dla frakcji ciężkiej i lekkiej oblicza się korzystając z tego samego równania. Efektywność procesu zależy od wielu czynników, między innymi od wymiarów, struktury, gęstości i stężenia cząstek, temperatury wody oraz parametrów procesu. Biorąc pod uwagę lekką frakcję olejową występującą w ściekach deszczowych celowe jest łączenie funkcji procesu sedymentacji z procesem flotacji [EcoTech, 2016; Pur Aqua System, 2016].

Przedmiotem niniejszej pracy było skonstruowanie i doświadczalne wyznaczenie skuteczności działania zmodyfikowanego osadnika wirowego do oczyszczania wód z zanieczyszczeń lekką frakcją olejową. Zaproponowane rozwiązanie konstrukcyjne osadnika wirowego umożliwiło podczyszczanie wód jednocześnie z frakcji ciężkiej (cząstek ciała stałego) oraz frakcji lekkiej (związków ropopochodnych) w jednym zbiorniku oraz ich rozdzielanie (częściowe). Ponadto przeprowadzono badania wpływu objętościowego strumienia cieczy na jej spiętrzenie w osadniku oraz na skuteczność jego działania.

### Badania doświadczalne

**Stanowisko badawcze.** Zmodyfikowaną konstrukcję osadnika wirowego przedstawiono na rys. 1. Podczyszczenie z frakcji ciężkiej odbywa się w całej objętości osadnika, a podczyszczenie z frakcji lekkiej odbywa się w strefie pierścieniowej tj. pomiędzy cylindrem zewnętrznym i wewnętrznym. Cylinder wewnętrzny pełni funkcję deflektora na wylocie osadnika, który zatrzymuje substancje flotujące i uspokaja strumień cieczy. Badania doświadczalne przeprowadzono dla osadnika o średnicy wewnętrznej wynoszącej 0,19 m i całkowitej wysokości 0,70 m, który wyposażono w cylinder wewnętrzny o średnicy wewnętrznej równej 0,09 m i całkowitej wysokości 0,35 m. Cylinder wewnętrzny zamontowano na czterech śrubach rozmieszczonych co  $90^\circ$  na dwóch wysokościach. Wysokość czynna aparatu wynosiła 0,41 m. Króciec wlotowy i wylotowy miały średnicę wewnętrzną równą 0,028 m.

**Pomiary.** Mierzono masę frakcji, objętościowy strumień cieczy  $Q$ , spiętrzenie  $\Delta H$  oraz temperaturę procesu  $T$ . Do pomiaru masy służyła



Rys. 1. Badany osadnik wirowy

precyzyjna waga Radwag PS 210/C/2 mierząca masę z dokładnością do  $\pm 0,001 \text{ g}$ , a do pomiarów objętości stosowano cylindry miarowe o różnych objętościach nominalnych. Badania przeprowadzono w zakresie zmienności objętościowego strumienia wody od  $2,2 \cdot 10^{-4}$  do  $7,2 \cdot 10^{-4} \text{ [m}^3/\text{s]}$  mierzonego przy użyciu rotametrów firmy Kytola Instruments. Temperatura cieczy wynosiła  $20^\circ\text{C}$ . Analizę danych przeprowadzono korzystając z programu Statistica 12 firmy StatSoft Polska.

**Materiały.** Badania skuteczności osadnika (separatora) przeprowadzono dla oleju mineralnego 20/70 dostarczonego przez Instytut Nafty i Gazu z Krakowa. Lepkość użytego w badaniach oleju wynosiła  $0,060 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ , a gęstość  $865 \text{ kg/m}^3$ .

**Dobór separatora substancji ropopochodnych** zgodnie z normą [PN-EN 858:2005] sprowadza się do określenia jego wielkości nominalnej ( $NS$  (Nominal Size) opisanej zależnością:

$$NS = (Q_r + F_x Q_s) F_d \quad (2)$$

gdzie:

$Q_r$  – nominalny przepływ wód deszczowych, [ $\text{l/s}$ ];

$Q_s$  – maksymalny przepływ ścieków przemysłowych, [ $\text{l/s}$ ];

$F_d$  – współczynnik gęstości, [-];

$F_x$  – współczynnik utrudnienia separacji [-].

Wielkość  $NS$  określa maksymalny przepływ ścieków deszczowych i/lub procesowych, dla których zostanie dotrzymana zakładana we wspomnianej normie redukcja stężeń substancji ropopochodnych na odpływie z osadnika (separatora). Należy podkreślić, że badanie redukcji stężeń substancji ropopochodnych sprowadza się do laboratoryjnego testu aparatu. Warunki tego testu mogą służyć tylko i wyłącznie jako pewne przybliżenie rzeczywistej sprawności danego urządzenia i użytkowanej redukcji stężeń substancji ropopochodnych.

**Obliczenia miejscowych strat energii.** Mimo znacznego zróżnicowania konstrukcji osadników i lokalnego charakteru przepływu, miejscowe straty energii obliczane są ze stosunkowo prostego wzoru, jednakowego dla wszystkich typów przeszkody [Sawicki i in., 2004]:

$$\Delta H = \xi \frac{w^2}{2g} \quad (3)$$

gdzie:

$w$  – prędkość przepływu fazy ciągłej (wody, wód deszczowych) na wylocie (za przeszkodą), [ $\text{m/s}$ ]

$\xi$  – współczynnik oporów lokalnych, [-]

Dla przepływu turbulентnego wysokość strat lokalnych na przeszkodzie jest proporcjonalna do kwadratu prędkości strumienia

cieczy, a współczynnik oporów lokalnych jest stały (Rys. 3) i dla przebadanego układu wynosi  $3,06 \pm 0,35$ . Liczbę *Reynoldsa* obliczono dla prędkości przepływu w przekroju za przeszkodą:

$$Re = \frac{wd_{kr}\rho_w}{\eta_w} \quad (3)$$

gdzie:

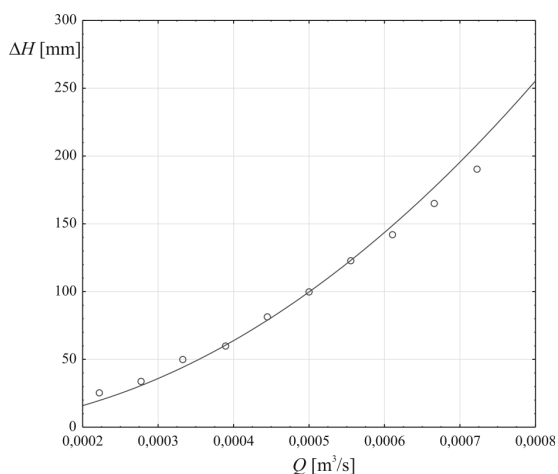
$d_{kr}$  – średnica króćca wylotowego, [m]

$\rho_w$  – gęstość fazy ciągłej (wody), [kg/m<sup>3</sup>]

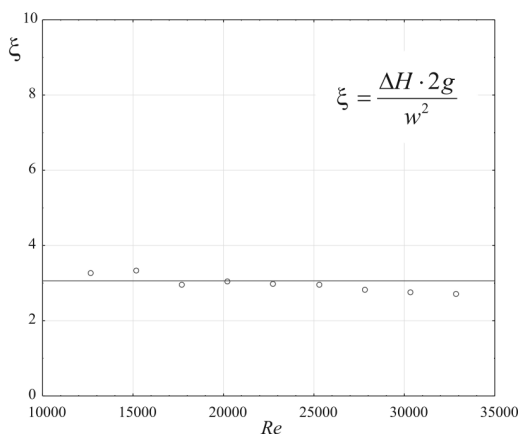
$\eta_w$  – lepkość fazy ciągłej (wody), [Pa·s]

### Wyniki i ich analiza

Na rys. 2 przedstawiono zależność spiętrzenia cieczy w osadniku od objętościowego strumienia cieczy. Wykazano, że wraz ze zwiększaniem natężenia przepływu cieczy (obciążenia hydraulicznego aparatu) wzrasta spiętrzenie cieczy w zbiorniku. Obserwowane wartości spiętrzenia cieczy są zbliżone do spiętrzeń obserwowanych w standardowym osadniku wirowym i w osadniku zaopatrzonym w kolanko kierunkowe [Ochowiak i in., 2016].



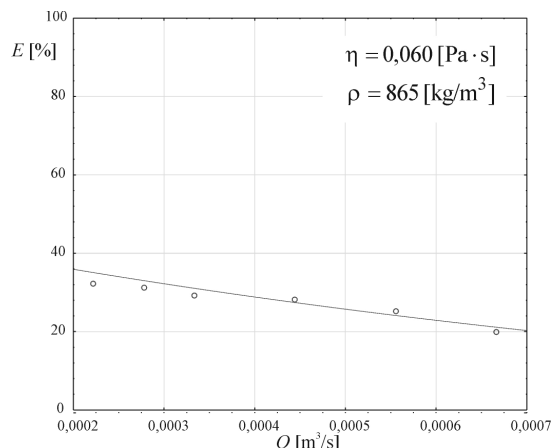
Rys. 2. Zależność spiętrzenia cieczy w badanych osadnikach od objętościowego strumienia cieczy



Rys. 3. Zależność współczynnika oporów lokalnych od liczby *Reynoldsa*

Na rys. 4 przedstawiono zależność stopnia usunięcia lekkiej frakcji olejowej od objętościowego strumienia cieczy. Wzrost objętościowego strumienia cieczy powodował zmniejszenie skuteczności badanego osadnika. Przebadany osadnik, pomimo swojej prostoty, charakteryzował się sprawnością zbliżoną do podobnych rozwiązań konstrukcyjnych. Analiza danych doświadczalnych wykazała, że możliwe jest zachowanie zadowalającej skuteczności działania aparatu nawet dla wysokich obciążeń hydraulicznych.

Im cząstki są mniejsze, tym trudniejszy staje się proces oczyszczania, ponieważ tworzą jeden strumień wraz z oczyszczaną cieczą. Wpływ ma również lepkość i gęstość oleju (uwzględniona w  $F_d$ ).



Rys. 4. Zależność sprawności oczyszczania wód z zanieczyszczeń frakcją lekką od objętościowego strumienia cieczy

Wielkości te (poza parametrami operacyjnymi procesu oraz wymiarami geometrycznymi i konstrukcją osadnika) mogą w istotny sposób wpływać na skuteczność działania osadnika. W zaproponowanym w pracy rozwiązaniu jednak brak jest jeszcze opracowania w skali technicznej sposobu montażu dodatkowego wewnętrznego cylindra.

### Podsumowanie

W pracy przedstawiono zmodyfikowaną konstrukcję osadnika wirowego, badania spiętrzenia cieczy oraz sprawności oczyszczania strumienia zanieczyszczonej cieczy z frakcji lekkiej. Modyfikacje konstrukcji miały na celu przystosowanie konstrukcji osadnika do podczyszczania wód jednocześnie z frakcji ciężkiej oraz frakcji lekkiej. Analiza uzyskanych wyników wykazała, że:

- spiętrzenie cieczy w osadniku wzrasta ze wzrostem strumienia cieczy na wlocie,
- współczynnik oporu lokalnego w przebadanym zakresie wartości liczb *Reynoldsa* jest stały i wynosi 3,06,
- wzrost strumienia cieczy powoduje zmniejszenie skuteczności działania osadnika.

Projektowanie, modyfikowanie konstrukcji, opracowywanie nowych urządzeń oraz badania eksperymentalne osadników wirowych prowadzone zarówno w skali laboratoryjnej, jak i technicznej mogą znacząco przyczynić się do poprawy skuteczności usuwania zanieczyszczeń w postaci frakcji ciężkiej i lekkiej z wód. Dalsze badania osadników wirowych dla podczyszczania wód oraz cieczy o różnych właściwościach fizykochemicznych z zanieczyszczeń frakcją lekką, wydają się być celowe i uzasadnione, szczególnie w aspekcie ekologicznym.

### LITERATURA

Anielak A., (2000). *Chemiczne i fizykochemiczne oczyszczanie ścieków*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa

Kuropka J., (1989). *Oczyszczanie gazów odlotowych z zanieczyszczeń gazowych*. Wyd. Pol. Wrocławskiej, Wrocław

Eco-Tech Sp. z o.o. Sp. k., *Osadnik wirowy Eco-Tech* (03.2016): <http://www.eco-tech.pl>

Ochowiak M., Matuszak M., Włodarczyk S., Ancukiewicz M., Gościński A., (2016). Badania sprawności oczyszczania strumienia wód opadowych w osadnikach-piaskownikach wirowych. *Inż. Ap. Chem.*, 55(5), 199-200

PN-EN 858-1:2005. *Instalacje oddzielaczy cieczy lekkich (np. olej i benzyna) - Część 1: Zasady projektowania, właściwości użytkowe i badania, znakowanie i sterowanie jakością*

PN-EN 858-2:2005. *Instalacje oddzielaczy cieczy lekkich (np. olej i benzyna) - Część 2: Dobór wielkości nominalnych, instalowanie, użytkowanie i eksploatacja*

Pur Aqua System Sp. z o.o., *Osadniki wirowe PUR-OW* (3.2016): <http://www.puraqua.pl/osadniki-wirowe.html>

Sawicki J., Szpakowski W., Weinerowska K., Wołoszyn E., Zima P., (2004). *Laboratorium z mechaniki płynów i hydrauliki*. Wyd. Pol. Gdańskiej, Gdańsk

Praca została wykonana w ramach projektu 03/32/DSMK/0722.