

Marek OCHOWIAK, Małgorzata MARKOWSKA, Magdalena MATUSZAK, Sylwia WŁODARCZAK

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

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

Analiza pracy zmodyfikowanego separatora wirowego

Wstęp

Oczyszczanie wód powierzchniowych ma istotne znaczenie dla postępu technologicznego oraz poprawy jakości życia człowieka. Obecnie coraz częściej wykonuje się prace modernizacyjne obejmujące oczyszczalnie ścieków i systemy uzdatniania wody. Ich celem jest wykorzystanie wód opadowych i odpadowych w bardziej efektywny sposób. Przez rozwijanie prostszych konstrukcji uzyskuje się układy zdolne do separacji mieszaniny ciecz-ciało stałe stosunkowo niskim kosztem [Ecol-Unicon, 2017].

Najbardziej powszechna metoda oddzielania zanieczyszczeń stałych rozproszonych w wodzie i cieczach opadowych opiera się na opadaniu cząstek spowodowanym siłą grawitacji. Usuwanie cząstek stałych zależy od konstrukcji separatora i strumienia przepływu wody oraz od charakterystyki ciała stałego, czyli kształtu, rozmiaru, gęstości cząstek i ich zachowania względem wody [Goula i in., 2008]. Należy również wspomnieć o zawieszinach flokujących, w przypadku których wykorzystuje się osadniki (separatory) kontaktowe z warstwą osadu zwieszonoego [Kowal i Świdzka-Bróż, 2000].

Celem separatorów jest podczyszczenie strumienia wód opadowych z cząstek ciała stałego łatwo opadających pod wpływem siły grawitacji. Takie separatory mają szerokie zastosowanie i m.in. wykorzystywane są w obszarach ruchu ulicznego, na parkingach czy placach myjni samochodowych [Wavin, 2015]. Miarą sprawności separatora jest stopień zatrzymania cząstek stałych w objętości aparatu wyrażony procentowo [Ochowiak i in., 2016]:

$$\eta = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

- η – skuteczność działania separatora wirowego, [%];
- m_1 – masa ciała stałego dodawanego na wejściu do aparatu, [kg];
- m_2 – masa ciała stałego odbierana na wyjściu z aparatu, [kg].

Celem pracy było skonstruowanie separatora wirowego z przegrodą wzdłużną umiejscowioną na pewnej wysokości od dna, której rolą było zwiększenie właściwości separacyjnych urządzenia. W pracy zmieniano odległość dolnej krawędzi przegrody od dna separatora. Rozważono zależność umiejscowienia króćca wlotowego na zdolność oczyszczania strumienia cieczy przez separator. Sprawność oczyszczania strumienia cieczy badano przy różnych objętościowych natężeniach przepływu. Rozpatrzono również kwestię spiętrzeń hydraulicznych występujących w przebadanych urządzeniach wirowych.

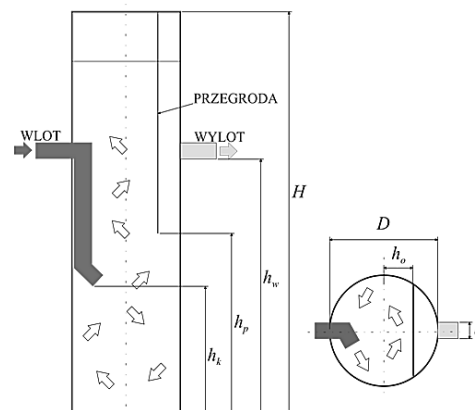
Badania doświadczalne

Stanowisko badawcze

Przebadane konstrukcje separatora z przegrodą przedstawiono na rys. 1. Wysokość całkowita aparatu wynosiła $H = 700$ mm, a średnica wewnętrzna $D = 190$ mm. Przegrodę o grubości 5 mm zamontowano w odległości $h_o = 55$ mm od osi symetrii aparatu. Odległość dolnej krawędzi przegrody od dna wynosiła $h_p = 255$ i 310 mm, a położenie króćca wlotowego wynosiło $h_k = 110$ i 220 mm. Położenie króćca wylotowego oczyszczonej cieczy z aparatu było stałe i wynosiło $h_w = 400$ mm. Średnica wewnętrzna króćca wlotowego i wylotowego była taka sama i wynosiła $d = 28$ mm.

Woda była pobierana ze zbiornika o pojemności 0,05 m³ za pomocą pompy zanurzeniowej *Optima MA* firmy *Ebara*. Natężenie przepływu wody zmieniano w zakresie 0,17·10⁻³÷0,5·10⁻³ m³/s za pomocą zaworu i odczytywano na rotametrze *HK-4CC* firmy *Kytola*.

Króciec wlotowy miał postać rury profilowanej skierowanej



Rys. 1. Schemat badanej konstrukcji separatora wirowego.

pionowo w dół o zakończeniu w postaci kolanka kierunkowego o kącie nachylenia 45° względem poziomu oraz odchylonym pod kątem 30° względem pionu. Zanieczyszczenia w postaci ziaren piasku dodawano do urządzenia do rury króćca wlotowego jeszcze przed wlotem do separatora. Próbkę ciała stałego miały określoną masę, co pozwoliło na dokładne określenie ilości piasku zatrzymanego wewnątrz aparatu. Cząstki ciała stałego wylapywano na sicie o bardzo drobnych oczkach.

Pierwsza konstrukcja (I) cechowała się położeniem przegrody, gdzie wysokość jej dolnej krawędzi znajdowała się dokładnie po środku między wlotem a wylotem z separatora, tj. na wysokości 310 mm oraz rozmieszczeniem króćca wlotowego na wysokości 220 mm od dna separatora. Kolejne rozwiązanie konstrukcyjne (II) charakteryzowało się usytuowaniem króćca wlotowego na wysokości 110 mm od dna. Osadnik (III) charakteryzował się położeniem przegrody na wysokości 255 mm oraz króćca wlotowego na wysokości 110 mm, co stanowiło ułożenie dolnej krawędzi przegrody pośrodku króćców wlotowego i wylotowego.

Materiał badawczy

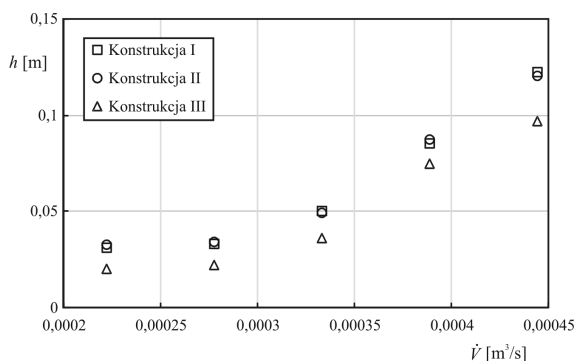
Jako materiał do badań wybrano piaski nadmorskie z okolicznych plaż obok Mielna nad Bałtykiem. Materiał ten wykorzystano we wcześniejszych pracach [Ochowiak i in., 2017]. Ze względu na potrzebę rozdzielenia pobranego materiału na określone frakcje do badań, tj. 100÷150, 150÷200 i 200÷300 μm przeprowadzono analizę sitową przy użyciu wytrząsarki sitowej *AS 200* firmy *Retsch*

Parametry procesu oczyszczania

Wielkością zadaną było objętościowe natężenie przepływu wody na wlocie do separatora (\dot{V}), które wynosiło kolejno: 800, 1000, 1200, 1600 i 1800 l/h. Na wlocie podawano stałą masę zanieczyszczenia równą 20 g odważoną na precyzyjnej wadze analitycznej *PS 210/C2* firmy *Radwag* z dokładnością ±0,001 g. Temperatura wody wynosiła 20°C.

Wyniki i ich analiza

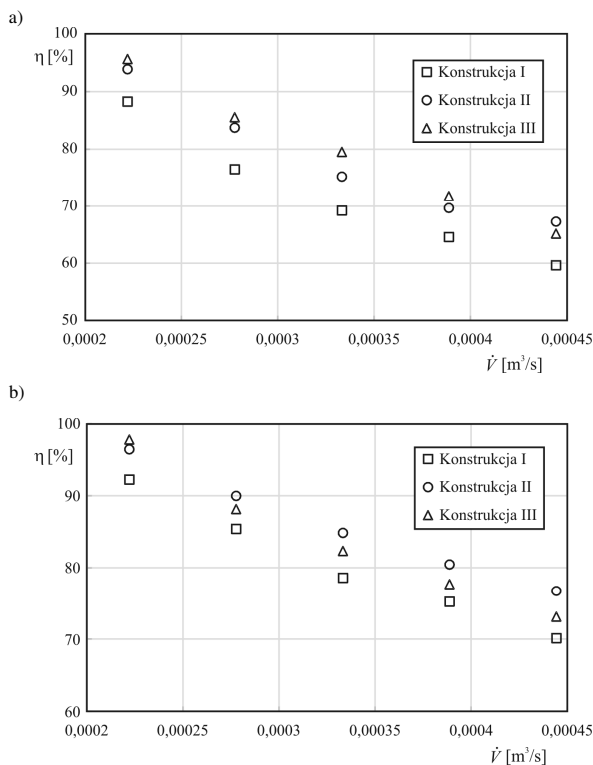
Przeprowadzone badania doświadczalne oraz analiza uzyskanych wyników dotyczących spiętrzeń hydraulicznych występujących w cylindrycznym separatorze wykazały, że wzrastają one wraz ze wzrostem objętościowego natężenia przepływu cieczy (Rys. 2). Najniższe wartości spiętrzeń cieczy zaobserwowano dla konstrukcji III, natomiast dla konstrukcji I i II są one zbliżone.



Rys. 2. Spiętrzenia cieczy dla przebadanych konstrukcji separatora wirowego w zależności od objętościowego natężenia przepływu cieczy.

Wyniki sprawności oczyszczania strumienia cieczy z zanieczyszczeń dla przebadanych rozwiązań konstrukcyjnych separatora wirowego przedstawiono rys. 3. Na podstawie badań zaobserwowano, że stopień zatrzymywania cząstek w aparacie maleje wraz ze zmniejszaniem rozmiaru cząstek. Spowodowane jest to niewielkim ciężarem danych cząstek, co prowadzi do porywania ich przez strumień wody i wymywania na zewnątrz separatora. W przypadku konstrukcji I przykładowo dla cząstek o średnicy $100 \pm 150 \mu\text{m}$ i dla natężenia przepływu $0,33 \cdot 10^{-3} \text{ [m}^3/\text{s]}$ sprawność wynosiła 75%, podczas gdy dla cząstek o wielkości $150 \pm 200 \mu\text{m}$ była o ok. 10% większa. Badania wykazały, że sprawność oczyszczania maleje wraz ze wzrostem natężenia przepływu cieczy. Wykazano, że zmiana położenia przegrody i króćca wlotowego może skutkować zmianą sprawności prowadzonego procesu. Zaobserwowano spadek sprawności oczyszczania dla konstrukcji II, która charakteryzowała się niższym położeniem króćca wlotowego przy zachowaniu położenia dolnej krawędzi przegrody jak dla osadnika (I) i odznaczała się tym, że dolna krawędź przegrody nie była w środku odległości pomiędzy wlotem a wylotem.

Pozostałe dwie konstrukcje osadników (I i II) cechowały się umiejscowieniem przegrody dokładnie w połowie wysokości pomiędzy



Rys. 3. Sprawność oczyszczania strumienia cieczy dla przebadanych konstrukcji separatora wirowego z cząstek ciała stałego o średnicy: a) $100 \pm 150 \mu\text{m}$, b) $150 \pm 200 \mu\text{m}$.

wlotem a wylotem. Wszelkie różnice w sprawności tych dwóch urządzeń wynikały jedynie z odległości od dna oraz ewentualnie od lustra cieczy. Im bliżej dna aparatu znajdował się króciec wlotowy tym mniejsze były wartości sprawności procesu.

Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że istnieje zależność między położeniem elementów konstrukcyjnych w separatorze wirowym a spiętrzeniem cieczy oraz sprawnością aparatu. Niezależnie od głębokości urządzenia ważną kwestią stanowi umiejscowienie przegrody wzdłużnej na wysokości środkowej pomiędzy króćcem wlotowym a wylotowym. Efektem tych działań jest zwiększenie sprawności separatora i tym samym ulepszenie istniejących konstrukcji kosztem spiętrzenia cieczy.

Podsumowanie i wnioski

Osadniki wirowe to aparaty o bardzo prostej budowie pozwalające na sprawne oczyszczanie wody z zanieczyszczeń stałych przy zastosowaniu odpowiedniej do oczekiwanych rezultatów wartości natężenia przepływu oczyszczanej cieczy. Urządzenia te wykorzystują jedynie siłę grawitacji i nie wymagają dużej powierzchni na lokalizację.

W pracy przedstawiono zmodyfikowane rozwiązania konstrukcyjne separatora wirowego oraz wyniki badań doświadczalnych występujących w nim spiętrzeń cieczy oraz uzyskiwanych sprawności procesu separacji przy zadanych objętościowych natężeniach przepływu cieczy. Modyfikacje konstrukcyjne polegały na zastosowaniu przegrody wzdłużnej, zmianie jej położenia oraz zmianie wysokości położenia króćca wlotowego. Stwierdzono, że:

- wzrost objętościowego natężenia przepływu cieczy skutkuje zwiększeniem wartości spiętrzeń hydraulicznych w separatorze,
- sprawność urządzenia jest zależna od natężenia przepływu cieczy, którego wzrost powoduje obniżenie skuteczności oczyszczania strumienia cieczy,
- umiejscowienie elementów konstrukcyjnych jest znaczące i może skutkować zwiększeniem lub zmniejszeniem sprawności separatora wirowego,
- w najkorzystniejszym rozwiązaniu konstrukcyjnym o najwyższym stopniu zatrzymywania cząstek stałych przegrodę wzdłużną zawieszono w środku odległości między króćcami wlotowym i wylotowym.

Opracowywanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych lub zmiana dotychczas istniejących separatorów i osadników wirowych oraz prowadzone na nich badania mają znaczący wpływ na rozwój w dziedzinie separacji ciecz-ciało stałe. Mogą one znaleźć zastosowanie w przydomowych oczyszczalniach ścieków charakteryzujących się mniejszymi rozmiarami. Kontynuacja badań separatorów wirowych mających znaczenie w inżynierii i ochronie środowiska, wydaje się więc uzasadniona.

LITERATURA

- Ecol-Unicon (2017). *Osadniki wirowe* (12.2017): <https://ecol-unicon.com>
- Goula A.M., Kostoglou M., Karapantsios T.D., Zouboulis A.I., (2008). The effect of influent temperature variations in a sedimentation tank for potable water treatment – a computational fluid dynamics study. *Water Research*, 42(13), 3405-3414. DOI: 10.1016/j.watres.2008.05.002
- Kowal A.L., Świdarska-Bróż M., (2000). *Oczyszczanie wody*. PWN, Warszawa-Wrocław
- Ochowiak M., Matuszak M., Włodarczak S., Ancukiewicz M., Gościński A., (2016). Badania sprawności oczyszczania strumienia wód opadowych w osadnikach-piaskownikach wirowych. *Inż. Ap. Chem.*, 55(5), 199-200
- Ochowiak M., Matuszak M., Włodarczak S., Ancukiewicz M., Krupińska A., (2017). The modified swirl sedimentation tanks for water purification. *J. Env. Man.*, 189, 22-28. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.12.023
- Wavin Polska S.A., (2015). *Systemy do zagospodarowania wód deszczowych*. Katalog produktów, Buk

Praca została wykonana w ramach działalności statutowej Politechniki Poznańskiej nr 03/32/DSPB/0802 finansowanej przez MNiSW