

Marek OCHOWIAK

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

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

Badania regulatora przepływu z przesłoną

Wstęp

Ze względu na falowy charakter opadów budowa urządzeń oczyszczających napotyka na podstawowy problem, jakim są chwilowe przeciążenia hydrauliczne występujące w momencie kulminacji fali przepływowej. Problem ten można rozwiązać wyposażając instalację w zbiorniki retencyjne współpracujące z regulatorami przepływu. Regulator przepływu jest urządzeniem zaprojektowanym w ten sposób, by zapewnić stały wypływ medium oraz tłumić przepływ, gdy ten osiąga zbyt wysokie wartości natężenia przepływu, bez względu na warunki temperaturowe i ciśnieniowe. Cechą regulatorów przepływu jest niższa wartość współczynnika przepływu dla zakresu turbulentnego w odniesieniu do współczynników przepływu dla otworów i przystawek. Regulatory przepływu to urządzenia powszechnie stosowane w systemach kanalizacyjnych oraz wszędzie tam, gdzie występuje przepływ cieczy, który może nieść za sobą nadmierne obciążenie instalacji [Wójtowicz i Kotowski, 2008a; 2008 b; Kotowski i Wójtowicz, 2010].

Materiałem służącym do budowy regulatorów przepływu jest stal nierdzewna, kwasoodporna AISI 316, AISI 304 lub polietylen wysokiej gęstości HDPE [Orzechowski i in., 2001; Zwara, 2004; ACO, 2015]. Kształt regulatora jest uzależniony od modelu. Może on przypominać korytko, stożek lub pętlę [Wójtowicz i Kotowski, 2008a; 2008b; Kotowski i Wójtowicz, 2010; Ecol-Unicon, 2015; Purator Polska Ekotechnika, 2015; Pur Aqua System, 2013]. Istotnym faktem jest również to, iż nie wymagają one zasilania elektrycznego. Konstrukcja regulatora często nie przewiduje ruchomych części. Ważna jest również możliwość przepuszczania niewielkich ilości stałych zanieczyszczeń, dzięki czemu regulator nie ulegnie zatkanie. Regulatory stosuje się również w przypadku zawiesin [do Amaral, 2005].

Charakterystyka przepływu cieczy przez regulator przypomina charakterystykę wypływu przez mały otwór [Orzechowski i in., 2001]

$$Q = \mu F \sqrt{2gH} \quad (1)$$

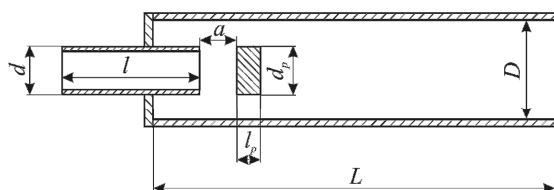
gdzie:

 μ – współczynnik wydatku dla otworu F – powierzchnia przekroju otworu H – wysokość ciśnienia g – przyspieszenie ziemskie.

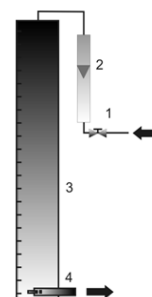
W pracy podjęto badania eksperymentalne regulatora przepływu z przesłoną, mające na celu określenie charakterystyki przepływu cieczy przez regulator oraz sprawności dławienia przepływu poprzez określenie wartości współczynnika przepływu.

Badania doświadczalne

Stanowisko badawcze obejmowało: regulator przepływu (Rys. 1), zbiornik z podziałką, zbiornik pomiarowy, stoper, zestaw doprowadzający ciecz do zbiornika, termometr oraz waga elektroniczna (Rys. 2).



Rys. 1. Regulator przepływu



Rys. 2. Schemat instalacji pomiarowej: 1 - zawór, 2 - rotometr, 3 - zbiornik z podziałką, 4 - regulator przepływu

Wymiary regulatora przepływu zestawiono w tab. 1. Badania przeprowadzono dla regulatorów przepływu o różnej odległości a przesłony od krawędzi wlotowej króćca wlotowego.

Podczas badań testowych prowadzących do wyznaczenia współczynnika wypływu cieczy z regulatora, wykorzystano zbiornik o średnicy 0,1 m i wysokości 2 m. Ciecz doprowadzono bezpośrednio z sieci wodociągowej przy użyciu zaworów regulujących jej poziom.

Metodyka. Badania prowadzono dla zmieniającego się zakresu słuza cieczy od 0,1 m do 1,9 m, zarówno dla wartości wzrastających, jak i malejących. Wypływającą z regulatora ciecz zbierano w naczyniu pomiarowym w określonym czasie, dla zadanej wartości wysokości słuza cieczy, a następnie ją ważono. Wyniki uzyskane dla trzech serii pomiarowych uśredniano. Na podstawie danych pomiarowych wyznaczono wartości objętościowego strumienia cieczy przepływającej przez regulator. Do wyznaczenia tej wielkości przyjęto gęstość cieczy $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$. Temperatura badanej cieczy wynosiła 20 °C.

Na podstawie uzyskanych wyników wykreślono zależności współczynnika przepływu od liczby *Reynoldsa*

$$Re = \frac{wd\rho}{\eta} \quad (2)$$

i liczby *Froude'a*

$$Fr = \frac{w^2}{g \cdot d} \quad (3)$$

gdzie:

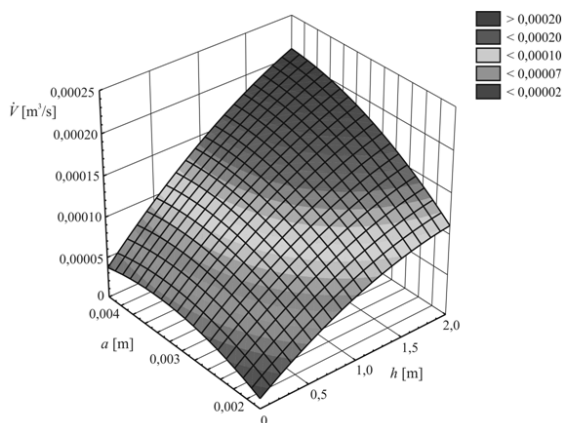
 w – prędkość przepływu cieczy d – średnica króćca wlotowego cieczy η – lepkość cieczy.

Tab. 1. Wymiary regulatora przepływu z przesłoną.

Parametr geometryczny	Oznaczenie	Wartość, [m]
Średnica wewnętrzna króćca wlotowego,	D	0,021
Długość obudowy cylindrycznej	L	0,085
Średnica wewnętrzna króćca wlotowego	d	0,008
Długość króćca wlotowego	l	0,029
Średnica przesłony	d_p	0,012
Grubość przesłony	l_p	0,005
Odległość przesłony od krawędzi wlotowej króćca wlotowego	a	0,002 0,003 0,004

Wyniki i ich analiza

Na podstawie danych doświadczalnych wykreślono zależność objętościowego natężenia przepływu od wysokości słuza cieczy (Rys. 3). Analiza otrzymanych wyników wykazała, że wraz

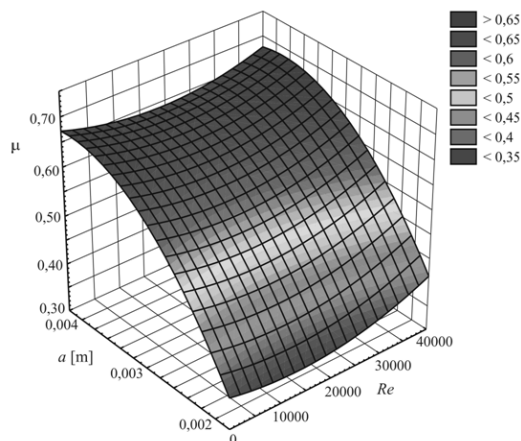
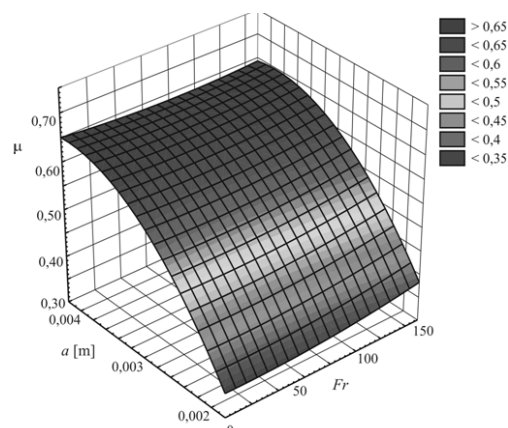
Rys. 3. Zależność natężenia przepływu cieczy od wysokości słupa cieczy oraz a

ze wzrostem wysokości słupa cieczy w zbiorniku, a tym samym wzrostem ciśnienia hydrostatycznego, rośnie wartość objętościowego natężenia przepływu cieczy płynącej przez regulator. Objętościowe natężenie przepływu wzrasta ze wzrostem wartości a .

Zależności współczynnika przepływu od liczb Re , Fr oraz wartości a przedstawiono na rys. 4 i 5. Wykazano, że dla wszystkich wartości a w przebadanym zakresie wartości liczb *Reynoldsa* od 4450 do 34650 wartość współczynnika przepływu przyjmowała praktycznie stałą (niezależną od liczby Re) wartość. Dla $a = 0,002$ m uśredniona wartość współczynnika przepływu wynosi $\mu = 0,40 \pm 0,03$. Odsunięcie króćca wlotowego od przesłony o $a = 0,003$ m powoduje zmianę współczynnika przepływu do wartości $\mu = 0,59 \pm 0,03$, natomiast odsunięcie o $a = 0,004$ m skutkuje dalszym wzrostem współczynnika przepływu do wartości $\mu = 0,65 \pm 0,03$.

W przebadanym zakresie wartości liczb *Froude'a* od 4 do 240 wartość współczynnika przepływu nie zależy również od wartości Fr . Obserwacje te są zgodne z danymi literaturowymi, gdzie przy wartościach $Re > 30000$ oraz $Fr > 1$ wartość tego współczynnika jest praktycznie stała [Wójtowicz i Kotowski, 2008a].

Na podstawie wyników badań doświadczalnych stwierdzono, że wartość współczynnika przepływu wzrasta wraz ze wzrostem odległości przesłony od króćca wlotowego. Zwiększenie wartości a jest korzystne z punktu widzenia przepływu zanieczyszczonej wody (regulator nie ulega zatykaniu), jednak biorąc pod uwagę stopień tłumienia przepływu, zmniejszenie wartości a jest celowe. Należy tutaj zaznaczyć, że współczynnik przepływu dla króćca wlotowego w formie przystawki wynosi około 0,84 [Orzechowski i in., 2001]. Porównanie danych uzyskanych dla serii pomiarowej podczas napełniania zbiornika i jego opróżniania wykazało, że dane te są praktycznie takie same.

Rys. 4. Zależność współczynnika przepływu od Re i a Rys. 5. Zależność współczynnika przepływu od Fr i a

Uzyskane wyniki mają znaczenie nie tylko poznawcze, ale i praktyczne, gdyż zaproponowana konstrukcja regulatora przepływu cechuje się nie tylko niższymi wartościami współczynnika przepływu w porównaniu z przystawką, porównywalnymi z innymi typami regulatorów współczynnikami przepływu (w obliczeniach najczęściej przyjmuje się współczynnik przepływu równy 0,4), ale również stosunkowo prostą konstrukcją nie wymagającą elementów ruchomych.

Podsumowanie i wnioski

Regulatory przepływu konstruowane są na podstawie danych eksperymentalnych, więc potrzebne jest ich projektowanie i testowanie w skali laboratoryjnej. Analiza uzyskanych wyników badań wykazała, że wraz ze wzrostem ciśnienia hydrostatycznego wzrasta objętościowe natężenie przepływu cieczy wypływającej ze zbiornika przez regulator przepływu. Obliczona wartość współczynnika przepływu w przebadanym zakresie wartości liczby *Reynoldsa* oraz *Froude'a* była stała i wynosiła:

- $\mu = 0,40 \pm 0,03$ dla $a = 0,002$ m,
- $\mu = 0,59 \pm 0,03$ dla $a = 0,003$ m,
- $\mu = 0,65 \pm 0,03$ dla $a = 0,004$ m.

Zasugerowana konstrukcja regulatora przepływu z przesłoną może stanowić podstawę do wykonania ostatecznego projektu, który pozwoli na osiągnięcie wymaganej sprawności dławienia przepływu przez regulator.

Uzyskane wyniki stanowią również podstawę do dalszej pracy nad tym modelem regulatora przepływu, co docelowo pozwoliłoby na stworzenie nowego urządzenia zgodnego z zapotrzebowaniami rynku regulatorów przepływu czystych i zanieczyszczonych cieczy.

LITERATURA

- ACO Elementy Budowlane Sp. z o.o., mat. firmowe (5.2015): <http://www.aco.pl>
- do Amaral L.G.H., Righes A.A., da S. e Sousa Filho P., Dalla Costa R., (2005). Automatic regulator for channel flow control on flooded rice. *Agr. Water Manag.*, 75, 184-193. DOI: 10.1016/j.agwat.2004.12.012
- Ecol-Unicon Sp. z o.o., mat. firmowe (5.2015): <http://www.ecol-unicon.com>
- Kotowski A., Wójtowicz P., 2010. Analysis of hydraulic parameters of conical vortex regulators. *Polish J. Environ. Stud.*, 19(4), 749-756
- Pur Aqua System Sp. z o.o., mat. firmowe (6.2013): <http://www.puraqua.pl>
- Purator Polska Ekotechnika Sp. z o.o., mat. firm. (5.2015): <http://www.purator.pl>
- Orzechowski Z., Prywer R., Zarzycki R. (2001). *Mechanika płynów w inżynierii środowiska*. WNT, Warszawa
- Wójtowicz P., Kotowski A., (2008a). Badania modelowe cylindrycznych regulatorów hydrodynamicznych. *Ochr. Środ.*, 30(2), 35-41
- Wójtowicz P., Kotowski A., (2008b). Badania modelowe stożkowych regulatorów hydrodynamicznych. *Ochr. Środ.*, 30(3), 37-44
- Zwara, W., (2004). Oczyszczanie wód opadowych w infrastrukturze drogowej. *Zesz. Nauk.-Tech. SITK RP*, 62(112)