

HENRYK FIDOS
JAROSŁAW SOWIŃSKI
RAFAŁ KROKOS
MAREK DZIUBIŃSKI

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

Wyplywy jedno- i dwufazowe z otworów na ściankach zbiornika ciśnieniowego

Wprowadzenie

Znajomość parametrów wypływu może być bardzo przydatna do oceny ryzyka związanego z działaniem określonej instalacji przepływowej. Wiedza ta może być użyteczna już w fazie projektowania instalacji, może także przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa osób obsługujących instalację, ponieważ dostarczone będą informacje przydatne do prawidłowego wytyczenia stref bezpieczeństwa w pobliżu zbiorników i rurociągów ciśnieniowych. Znajomość tych zagadnień i możliwych do zaistnienia scenariuszy może być przydatna także w trakcie pracy instalacji, gdyż umożliwi podjęcie właściwych decyzji dotyczących postępowania zmierzającego do likwidacji zaistniałej awarii i zminimalizowania jej skutków.

Celem niniejszej pracy było przeprowadzenie badań wypływów jednofazowych cieczy newtonowskich i nienewtonowskich z otworów usytuowanych na ściankach zbiornika ciśnieniowego oraz wypływów dwufazowych z tego typu otworów, rozpoczynających się, gdy wysokość zwierciadła cieczy osiągnie poziom otworu wypływowego. Badania przeprowadzono stosując różne kształty otworów wypływowych, które miały symulować zaistnienie na ściankach zbiorników, bądź ru-

ciągów uszkodzeń, w postaci usytuowanych w różny sposób szczelin liniowych i załamanych [1].

Instalacja doświadczalna

Schemat wykorzystywanej instalacji badawczej przedstawiono na rys. 1. Głównym elementem instalacji jest zbiornik ciśnieniowy – 1, wyposażony w szereg króćców pomiarowych – 4, służących do instalowania wkładek z otworami o różnych kształtach, a także w króćce do instalowania czujników ciśnienia – 3 oraz w króćce służące do napełniania i opróżniania zbiornika dostarczania doń sprężonego powietrza. Zbiornik ustawiony jest na precyzyjnej wadze elektronicznej – 17, której zadaniem jest określanie na bieżąco jego masy. Waga współpracuje z komputerowym systemem akwizycji danych. Sprężone powietrze dostarczane jest do zbiornika ze sprężarki – 11.

Badane otwory wypływowe miały kształt szczelin prostych o szerokości 1 mm i różnych długościach oraz szczelin w kształcie litery V, załamanych pod kątem 125° i 145°. W każdej różniącej się kształtem grupie znajdowały się otwory o identycznej powierzchni przekroju.

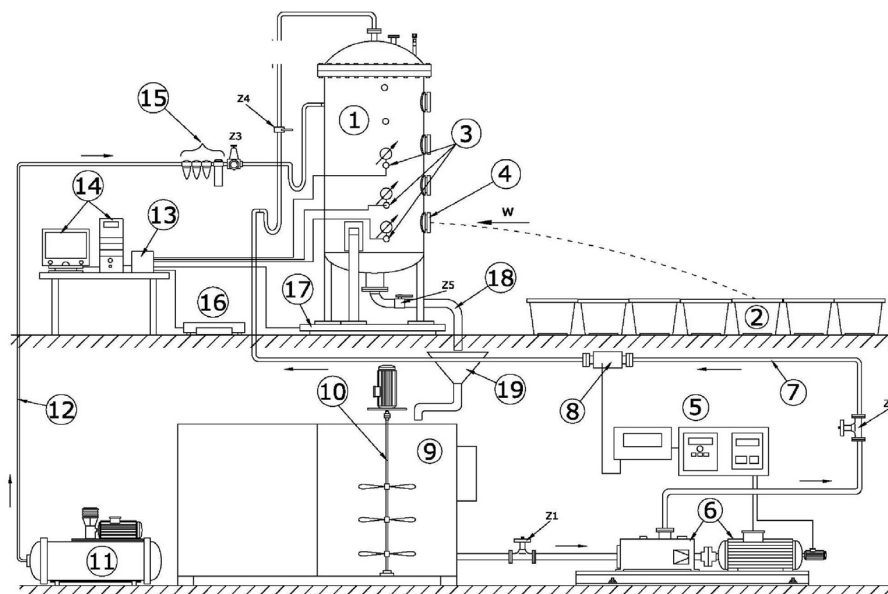
Media badawcze

W trakcie prowadzonych badań, jako medium newtonowskie stosowano wodę wodociagową. Jej właściwości określone były w temperaturze wykonywania pomiarów na podstawie danych literaturowych. Jako medium nienewtonowskie wykorzystywano wodne roztwory dwukarboksymetylocelulozy (CMC) o dwóch stężeniach (0,5% i 1% mas.). Parametry reologiczne badanych roztworów były następujące:

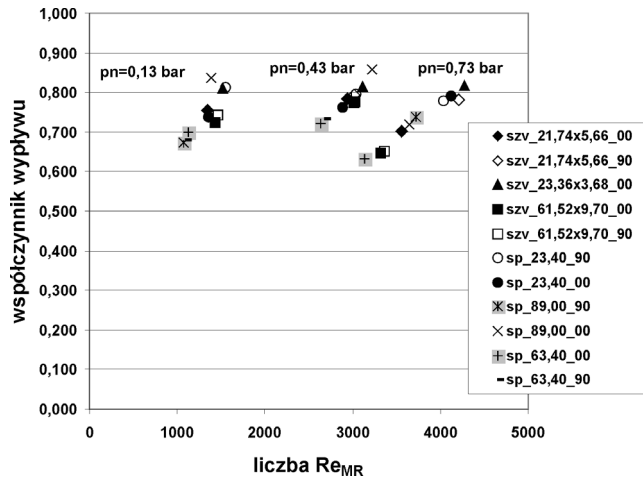
- roztwór o stężeniu 0,5% mas.:
 $n = 0,824$, $k = 0,04$ [Pa s]ⁿ,
- roztwór o stężeniu 1% mas.:
 $n = 0,732$, $k = 0,222$ [Pa s]ⁿ.

Rezultaty badań

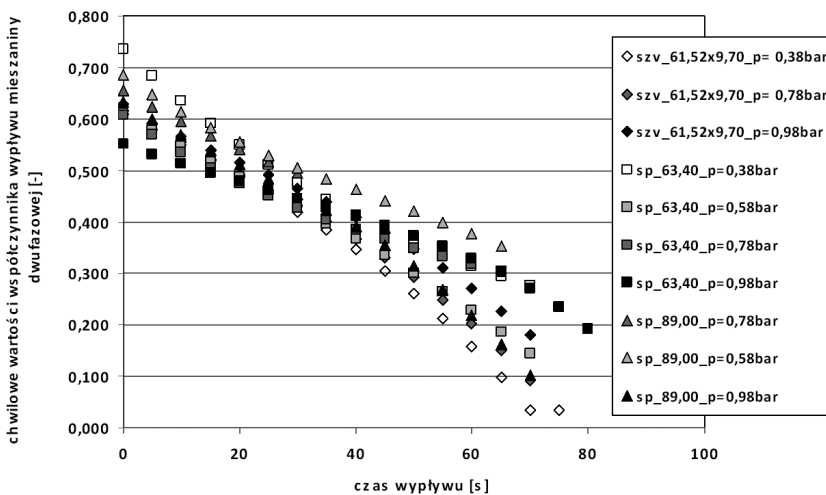
Wartości współczynników wypływu ϕ dla wypływów jednofazo-



Rys. 1. Schemat instalacji do badań wypływu cieczy ze zbiornika. 1 – zbiornik ciśnieniowy, 2 – pojemniki pomiarowe, 3 – manometry elektroniczne, 4 – króćce z wkładką wypływową, 5 – tabliczka kontrolna z przepływomierzem, 6 – pompa cyrkulacyjna z silnikiem elektrycznym, 7 – rurociąg transportujący badaną ciecz, 8 – czujnik przepływomierza, 9 – zbiornik magazynujący badaną ciecz, 10 – mieszadło z silnikiem elektrycznym, 11 – sprężarka, 12 – rurociąg przesyłający powietrze, 13 – system akwizycji danych, 14 – komputer, 15 – zespół filtrów i odolejaczy, 16 – waga pomiarowa, 17 – waga zbiornika, 18 – rurociąg odpływowy, 19 – lejki spustowy, Z – zawory



Rys. 2. Zależność współczynnika wypływu ϕ_z od liczby Reynoldsa Re_{MR} dla cieczy wypływającej z otworów usytuowanych na ścianie zbiornika ciśnieniowego. Badana ciecz – 0,5% roztwór CMC. Rodzaje badanych otworów w legendzie wykresu



Rys. 3. Zależność wartości chwilowego współczynnika wypływu ϕ_z od czasu wypływu 0,5% roztworu CMC z otworów usytuowanych na ścianie zbiornika ciśnieniowego. Szczeliny usytuowane pionowo

wych cieczy z otworów usytuowanych na ścianie zbiornika obliczano korzystając z zależności:

$$\phi = \frac{Q_{uz}}{S_{szcz} \sqrt{2 \left[\frac{(H_p + H_k)g}{2} + \frac{p_0}{\rho} \right]}} \quad (1)$$

gdzie:

- Q_{uz} – strumień objętości cieczy wypływającej z otworu, [m³/s],
- S_{szcz} – pole przekroju szczeliny, [m²],
- G – przyspieszenie ziemskie [m/s²],
- p_0 – nadciśnienie nad zwierciadłem cieczy w zbiorniku [Pa],
- H_p, H_k – początkowa i końcowa wysokość zwierciadła cieczy nad poziomem osi otworu [m],
- ρ – gęstość cieczy [kg/m³].

Przykładowe wyniki uzyskane podczas badań wypływów 0,5% roztworu CMC z każdego z testowanych otworów wypływowych umieszczono na wykresie (Rys. 2), sporządzo-

nym w układzie współrzędnych: współczynnik wypływu ϕ w funkcji liczby Reynoldsa Metznera-Reeda Re_{MR} obliczanej dla przekroju otworu wypływowego. Przedstawione punkty dotyczą wartości współczynnika wypływu uzyskanych dla otworów wypływowych w postaci szczelin załamanych na kształt litery V (oznaczenie „szv” w legendzie wykresu) oraz szczelin prostych (oznaczenie „sp”). Liczby w legendzie oznaczają wymiary szczelin oraz kąt w stosunku do poziomu (90 oznacza usytuowanie pionowe szczeliny).

Jak widać na wykresie, istnieje czytelna zależność pomiędzy wartościami współczynnika wypływu ϕ_z a nadciśnieniem panującym w przekroju otworu wypływowego.

Wypływy dwufazowe, jakie badano, nie były wypływami mieszaniny dwufazowej gaz – ciecz, przygotowanej uprzednio w zbiorniku – lecz wypływami, które rozpoczynają się w sytuacji, gdy zwierciadło cieczy w zbiorniku ciśnieniowym osiągnie poziom górnej krawędzi otworu wypływowego. Do czasu osiągnięcia przez zwierciadło poziomu górnej krawędzi otworu, ma miejsce wypływ jednofazowy. W krytycznym momencie sytuacja staje się dynamiczna. Uwolniony gaz zaczyna wypływać wspólnie z istniejącą strugą cieczy, wrywając z jej powierzchni kroplice i rozpraszając je w przestrzeni. Efekt rozpraszania płynącej dotąd w sposób jednorodny strugi w istotny sposób zależy od ciśnienia gazu w zbiorniku, które w zależności od kształtu otworu wypływowego może szybko ulegać redukcji. Parametry tego rodzaju wypływów ulegają zmianom w czasie i w związku z tym ich opis jest w znacznym stopniu utrudniony.

Współczynniki wypływu dla wypływów dwufazowych obliczano analogicznie, jak dla wypływów jednofazowych, z tą różnicą, że obliczeń dokonywano w wąskich przedziałach zmian poziomu lustra cieczy w zbiorniku. Strumień objętości wypływającej cieczy liczony był dla każdego przedziału w oparciu o zarejestrowane wykresy zmian masy cieczy. Także zmiana poziomu cieczy w zbiorniku była określana w oparciu o wykres ubytku masy. Zamiast pełnego przekroju otworu wypływowego, przyjmowano do obliczeń jedynie tę część przekroju otworu wypływowego, która była zajmowana przez ciecz – określano ją na podstawie wysokości cieczy szacowanej w oparciu o rejestrowany wykres ubytku masy w zbiorniku.

Wartości chwilowe współczynników wypływu obliczone dla wszystkich badanych otworów wypływowych zestawiono na wykresie (Rys. 3). W legendzie wykresu podane są wymiary otworów wypływowych oraz początkowe nadciśnienia w zbiorniku.

LITERATURA

1. T.K. Fannelöp: Fluid Mechanics for Industrial Safety and Environmental Protection, Amsterdam, ELSEVIER, 1994.