

Stanisław WITCZAK, Justyna WIŚNIEWSKA

e-mail: s.witczak@po.opole.pl

Katedra Inżynierii Procesowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole

Miejscowe straty ciśnienia przy przewężeniu kanału poziomego podczas przepływu dwufazowego ciecz – ciecz

Wprowadzenie

Miejscowe straty ciśnienia stanowią jeden ze składników sumarycznej straty ciśnienia płynu podczas jego przepływu przez różnie ukształtowane rurociągi. W przypadku płynu jednofazowego, wartość miejscowych strat ciśnienia jest obliczana z prostej zależności

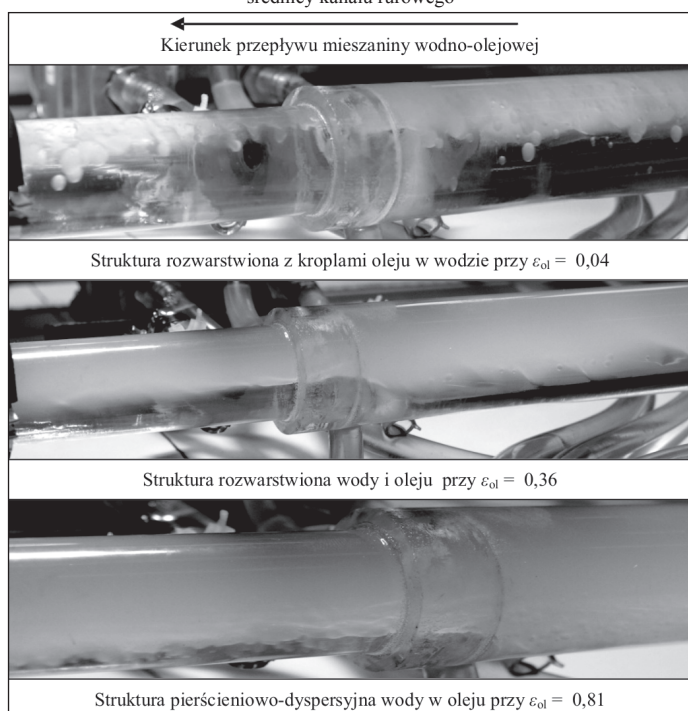
$$\Delta P_c = \zeta_c \frac{g_T^2}{2\rho_c} \quad (1)$$

w której

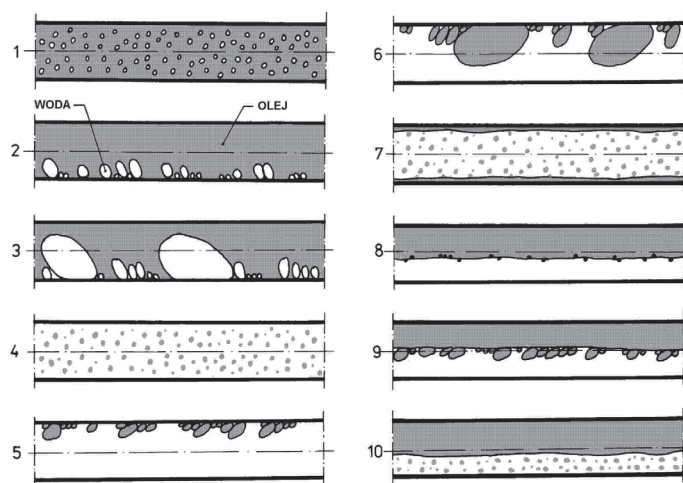
$$g_T = \frac{V_c \rho_c}{A} \quad (2)$$

natomiast wielkość ζ_c związana jest z rodzajem przeszkody lokalnej. Współczynnik oporu miejscowego określany jest najczęściej na drodze eksperymentalnej, a jego wartości (uzależnione od rodzaju przeszkody, jej wymiarów oraz niekiedy od charakteru przepływu płynu) podawane są w poradnikach dla inżynierów. Wartości ζ_c , zalecanych w odniesieniu do przepływu płynów jednofazowych, nie należy jednak wykorzystywać wprost w odniesieniu do mieszanin dwufazowych. Nie zostały one bowiem ustalone w warunkach przepływu dwufazowego. Gwałtowna zmiana przekroju poprzecznego rury, którą płynnie mieszanina dwufazowa, wywołuje nie tylko zmianę prędkości całej mieszaniny, lecz powoduje również zaburzenie towarzyszącej temu przepływowi struktury dwufazowej. Celem zobrazowania charakteru przepływu mieszaniny wodno-olejowej w obrębie przewężenia kanału w tab. 1 przedstawiono przykładowe zdjęcia wykonane podczas badań własnych. Jak można zauważyć, charakter przepływu mieszaniny wodno-olejowej w obrębie przeszkody lokalnej jest różny w zależności od prędkości obu faz oraz wartości udziału objętościowego oleju w mieszaninie dwufazowej ϵ_{ol} .

Tab. 1. Struktury przepływu dwufazowego woda – olej przez strefę nagłej zmiany średnicy kanału rurowego



Występujące zaburzenia przepływu są efektem wzajemnego mieszania się składników mieszaniny i prowadzą do stanu, w którym wartości ich rzeczywistych udziałów objętościowych są inne niż w ustalonym hydraulicznie odcinku prostoosiowym. Problematyczny staje się zatem sposób określenia właściwości układu dwufazowego ciecz – ciecz, którego skład jest trudny do ustalenia, na drodze prostych rachunków.



Rys. 1. Schematy struktur przepływu dla układu woda-olej maszynowy [2]: 1 – dyspersja wody, 2 – krople wody, 3 – krople i korki wody, 4 – dyspersja oleju, 5 – krople oleju, 6 – krople i korki oleju, 7 – film i dyspersja oleju, 8 – rozwarstwienie faz, 9 – rozwarstwienie i krople oleju, 10 – rozwarstwienie i dyspersja oleju

Powszechnie znane metody obliczania rzeczywistego udziału objętościowego faz przy przepływie dwufazowym ciecz – ciecz [1, 2] obowiązują tylko w warunkach niezaburzonego przepływu w rurze prostoosiowej i dotyczą przepływów, których schemat przedstawiono na rys. 1. Trudne staje się zatem (zarówno dla warunków hydrodynamicznych występujących przed, jak i za przeszkodą) ustalenie wartości liczby *Reynoldsa* dla takiej mieszaniny dwufazowej. Tymczasem to właśnie poziom burzliwości strumienia płynu oraz współczynnik zmiany jego pola przekroju poprzecznego wpływają w istotnym stopniu na wartości współczynnika oporu miejscowego ζ_{2T} dla gwałtownego zwężenia rury. Celem określenia wpływu takiej geometrii układu na wartości miejscowych strat ciśnienia dla różnych parametrów przepływowych mieszaniny dwufazowej woda – olej podjęto się badań własnych, zakładając, że uzyskane wyniki pozwolą na wskazanie sposobu ich obliczania.

Wyniki badań i ich analiza

Badania prowadzono w warunkach poziomego przepływu przez kanał o przekroju kołowym, którego odcinek testowy stanowiły dwie rury o średnicach 30 oraz 22 mm, połączone w sposób zapewniający nagłe zmniejszenie się przekroju poprzecznego ($\sigma = 0,54$). Rury wykonano z przezroczystego polimetakrylanu metylu, co umożliwiło wizualną ocenę struktur przepływu dwufazowego oraz ich rejestrację za pomocą aparatu cyfrowego. Obserwowano i mierzono też długości stref zaburzeń. Miejscowe straty ciśnienia mierzono za pomocą różnicowych przetworników ciśnienia, a dane zbierano za pomocą karty pomiarowej połączonej z komputerem, co pozwoliło na zbieranie danych z dużą częs-

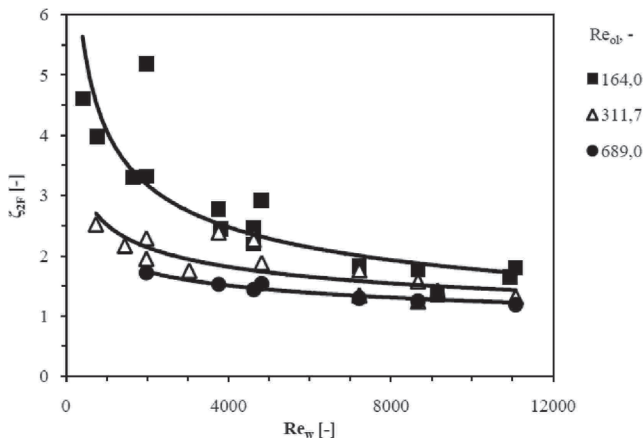
totliwością (100 pomiarów na 1 s), a następnie uśrednianie mierzonych wartości w czasie. Strumienie przepływu czynników były mierzone w sposób ciągły poprzez przepływomierze wody ($V_w = 0,42 \pm 21,0 \text{ dm}^3/\text{min}$) i oleju ($V_{ol} = 1,0 \pm 21,0 \text{ dm}^3/\text{min}$). Temperaturę mieszaniny powietrze – woda utrzymywano na poziomie 20°C . W badaniach stosowano olej LAN-15, dla którego wartości gęstości i lepkości wynosiły odpowiednio: $\rho_{ol} = 860 \text{ kg/m}^3$ oraz $\eta_{ol} = 0,028 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Przyjęty zakres strumieni wody i oleju pozwolił na prowadzenie badań w zakresie laminarnego i turbulentnego przepływu wody przy laminarnym przepływie fazy olejowej. W każdym z tych zakresów uzyskiwano przepływy, w których zarówno fazą ciągłą, jak i rozproszoną były oba składniki mieszaniny.

Analiza miejscowych strat ciśnienia pozwoliła na wyznaczenie odpowiadających im wartości współczynnika oporu miejscowego ζ_{2F} , który obliczano z równania

$$\zeta_{2F} = \frac{2\rho_{2F}\Delta P_{2F,zm}}{g_T^2} \quad (3)$$

$$\text{gdzie} \quad \rho_{2F} = \varepsilon_{ol}\rho_{ol} + (1 - \varepsilon_{ol})\rho_w \quad (4)$$

Na rys. 2 przedstawiono przykładowy przebieg zmian wartości dwufazowego współczynnika oporu miejscowego w zależności od liczb *Reynoldsa* obu faz wyznaczanych w oparciu o wartości ich prędkości pozornych dla rury o mniejszej średnicy.



Rys. 2. Współczynnik oporu miejscowego w zależności od liczby *Reynoldsa* obu faz

Jak wynika z układu punktów, wartości współczynnika oporu miejscowego ζ_{2F} zależą znacząco od charakteru przepływu. Szczególnie duże wartości obserwuje się przy laminarnym przepływie obu faz ciekłych i to niezależnie od tego, która z nich jest fazą ciągłą, a która rozproszoną. W przypadku burzliwości fazy wodnej wartości ζ_{2F} dążą do stałej wartości zależnej jedynie od Re_{ol} .

Celem wskazania metody obliczania wartości miejscowych strat ciśnienia dla przewężenia w warunkach przepływu dwufazowego woda-olej przeprowadzono odpowiednie obliczenia statystyczne. Wobec braku w literaturze przedmiotu szczegółowych metod obliczania miejscowych oporów przepływu dwóch niemieszających się ze sobą cieczy w analizowanych warunkach przepływu, podjęto próbę oceny możliwości wykorzystania w tym celu kilku metod opracowanych dla przepływu dwufazowego gaz – ciecz. W obliczeniach, jako fazę „gazową” przyjęto ciecz o mniejszej gęstości, w tym wypadku olej LAN-15. Uzyskane w ten sposób wartości porównano z wartościami otrzymanymi na drodze eksperymentalnej. W celu porównania dokładności otrzymanych obliczeń wyznaczono średni błąd względny wartości obliczonych do zmierzonych

$$\overline{\delta_{\Delta P}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta P_{2F,zm,i} - \Delta P_{2F,obl,i}}{\Delta P_{2F,zm,i}} \quad (5)$$

oraz średni rozrzut wartości obliczonych względem zmierzonych

$$|\overline{\delta_{\Delta P}}| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\Delta P_{2F,zm,i} - \Delta P_{2F,obl,i}}{\Delta P_{2F,zm,i}} \right| \quad (6)$$

Uzyskane wartości tych parametrów statystycznych okazały się jednak mało zadowalające, gdyż średni błąd poniżej $\pm 50\%$ został osią-

gnięty tylko dla jednej metody obliczeniowej, dostępnej w literaturze. Metodą tą okazała się metoda zaproponowana przez Kawaharę i współpracowników [3], w której spadek ciśnienia w przepływie dwufazowym przez nagłe przewężenie wyznacza się ze wzoru

$$\Delta P_{2F} = \frac{g_T^2}{2\rho_w} \left[\left(\frac{1}{C} \right)^2 + 1 - \sigma^2 \right] \left[1 + x \left(\frac{\rho_w}{\rho_{ol}} - 1 \right) \right] \quad (7)$$

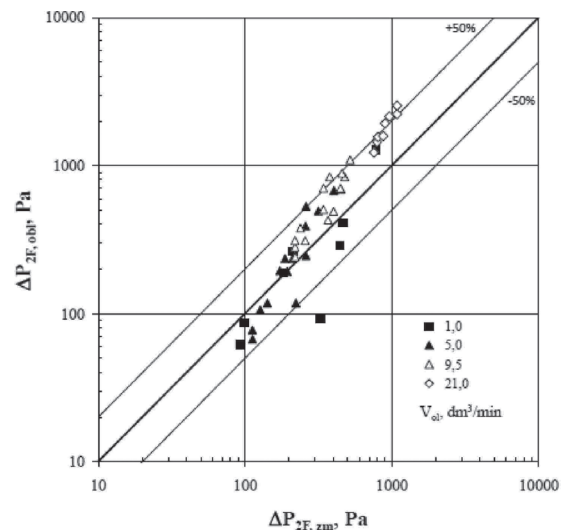
gdzie współczynnik kontrakcji C określony jest zależnością

$$C = \frac{1}{0,639(1 - \sigma)^{0,5} + 1} \quad (8)$$

a udział masowy oleju w strudze dwufazowej $x = m_{ol}/(m_{ol} + m_w)$.

Przeprowadzone szczegółowe obliczenia wykazały, że dla tej metody błąd względny wynosi -39% , a średni rozrzut wartości zmierzonych i obliczonych $\pm 49\%$. Wzajemne porównanie tych wartości zilustrowano na rys. 3. Pozostałe analizowane metody obliczeniowe, których szczegółowy opis zawiera praca [1], zapewniały wyniki znacznie bardziej zawyżone w stosunku do wartości zmierzonych. Przyczyną takiego stanu jest niewątpliwie inny charakter przepływu dwóch niemieszających się cieczy w stosunku do przepływu dwufazowego gaz – ciecz, dla którego zostały stworzone analizowane modele obliczeniowe.

Rys. 3. Porównanie wartości zmierzonych spadków ciśnienia z wartościami obliczonymi dla $V_w = (0,42 \pm 21,0) \text{ dm}^3/\text{min}$, wg metody Kawahary [3]



Wnioski

Aktualnie zgromadzony zbiór danych doświadczalnych uzyskanych przez autorów pracy, nie pozwala jeszcze opracować lepszego, bardziej dokładnego opisu zmian wartości oporów lokalnych wywołanych przez gwałtowne zmiany przekroju poprzecznego rur, w których ma miejsce przepływ dwufazowy ciecz – ciecz.

Celem pełniejszego opisu wpływu parametrów przepływowych i zmian geometrii układu rur na wartości miejscowych oporów dla dwufazowego przepływu ciecz – ciecz, a także oddziaływania lokalnego zaburzenia na całkowite straty ciśnienia, konieczne jest kontynuowanie prac badawczych z uwzględnieniem nowych geometrii oraz zmian właściwości składników mieszaniny wielofazowej.

LITERATURA

- [1] M. Dziubiński: Hydrodynamika przepływu mieszanin dwufazowych ciecz-gaz. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2005.
- [2] J. Hapanowicz: Przepływy ciekłych układów dyspersyjnych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2007.
- [3] A. Kawahara, P. M.-Y. Chung, M. Kawaji: Int. J. Multiphase Flow 28, 1411 (2002).

Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego.

