

JUSTYNA WIŚNIEWSKA
STANISŁAW WITCZAK

Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole

Miejscowe straty ciśnienia przy przewężeniu kanału w warunkach opadającego w rurach pionowych przepływu mieszaniny gazowo-cieczowej

Wprowadzenie

Miejscowe straty ciśnienia stanowią jeden z elementów składowych sumarycznego spadku ciśnienia płynu podczas jego przepływu w rurze. Wywołują je m.in. przeszkody lokalne w postaci nagłych zmian pola przekroju rury. W przypadku przepływu płynu jednofazowego wartość miejscowych oporów przepływu jest niezależna od kąta nachylenia rury względem poziomu. W rurach nachylonych, którymi płynie sam gaz lub sama ciecz, nieistotny dla oporów miejscowych jest również wznoszący lub opadający kierunek tego przepływu. Powyższe zasady nie dotyczą jednak przepływu dwufazowego, gdyż towarzyszą mu struktury dwufazowe, ściśle określone dla konkretnego układu przepływowego i warunków samego przepływu. Obszary występowania określonych struktur dla opadającego przepływu dwufazowego gaz-ciecz w rurach pionowych określają mapy przepływu co przykładowo przedstawiono na rys. 1.

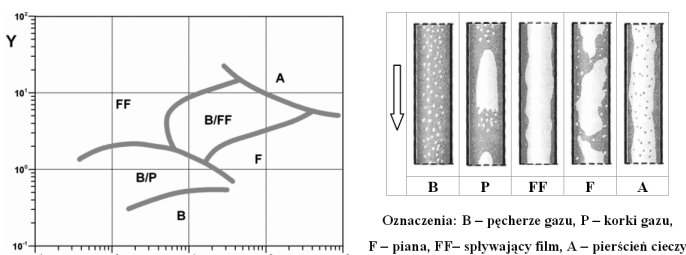
Jak wynika z przedstawionej mapy, rodzaj tworzących się w tym przypadku struktur zależy przede wszystkim od prędkości pozornych gazu $w_{g,o}$ oraz cieczy $w_{c,o}$, a także średnicy rury d , co zawarte jest w wielkościach opisujących jej osie współrzędnych, tj.

$$X = Fr_{2F} \frac{\eta_w}{\eta_c} \sqrt{\frac{\rho_c}{\rho_w} \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_w}\right)^3}; \quad Y = \sqrt{w_{g,o} / w_{c,o}} \quad (1)$$

gdzie:

$$Fr_{2F} = \frac{(w_{g,o} + w_{c,o})^2}{d\bar{g}} = \frac{w_{2F}^2}{d\bar{g}} \quad (2)$$

Łączenie rur o różnych średnicach sprawia, że struktury przepływu ulegają zmianie przy przejściu przez przeszkodę lokalną. Powoduje to powstawanie stref zaburzeń przepływu zarówno przed jak i za przeszkodą i wpływa na wartość miejscowych strat ciśnienia.

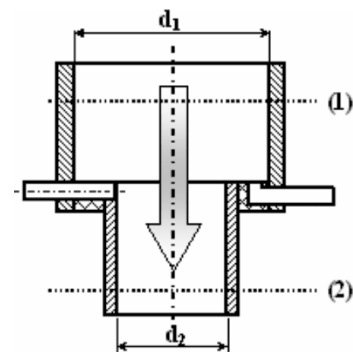


Rys. 1. Mapa struktur dla pionowego przepływu opadającego układu gaz - ciecz, wg [1]

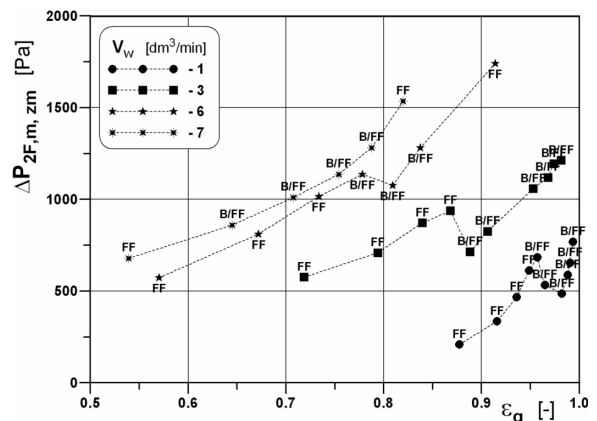
W pracy przedstawiono badania dotyczące hydrodynamiki opadającego przepływu dwufazowego mieszaniny gazowo-cieczowej w rurach pionowych, które prowadzono w warunkach nagłego zmniejszenia się przekroju kanału.

Wyniki badań i ich analiza

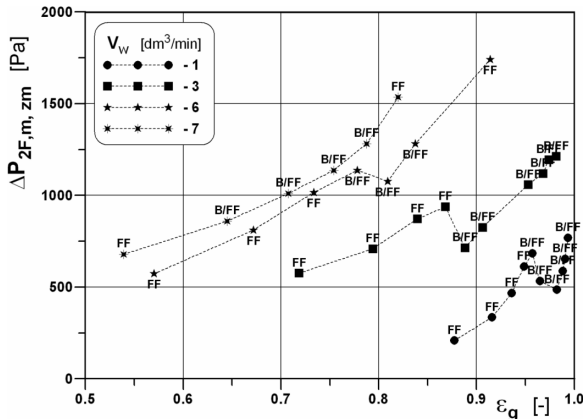
Stanowisko badawcze składało się z kanału testowego o łącznej długości 3 m, który obejmował dwie rury o średnicach wewnętrznych 46 i 16 mm (przewężenie $\sigma = 0,12$) oraz 46 i 21mm (przewężenie $\sigma = 0,21$). Rury wykonano z przezroczystego pleksiglasu, co umożliwiło wizualną ocenę struktur przepływu wielofazowego i ich rejestrację za pomocą aparatu cyfrowego. Miejscowe straty ciśnienia mierzono za pomocą różnicowych przetworników ciśnienia, a dane zbierano za pomocą karty pomiarowej połączonej z komputerem. Miejsca pomiaru ciśnienia na przewężeniu rur oraz oznaczenia przekrojów (1, 2) zilustrowano na rys. 2. Strumienie przepływu



Rys. 2. Miejsca pomiaru ciśnienia na przewężeniu rur



Rys. 3. Zmiany oporów przepływu mieszaniny gaz - ciecz przez gwałtowne przewężenie rury przy $\sigma = 0,21$. Rodzaj struktur podano dla rury za przeszkodą



Rys. 4. Zmiany oporów przepływu mieszaniny gaz-ciecz przez gwałtowne przewężenie rury przy $\sigma = 0,12$. Rodzaj struktur podana dla rury za przeszkodą

czynników były mierzone poprzez przepływomierze wody ($V_w = 1\div 8 \text{ dm}^3/\text{min}$) i powietrza ($V_g = 7,2\div 165 \text{ dm}^3/\text{min}$), co zapewniło zmianę udziału objętościowego gazu w mieszaninie $\epsilon_g = (0,50\div 0,99)$. Temperaturę mieszaniny powietrze – woda utrzymywano na poziomie 20°C .

Zaburzenia struktur przepływu dwufazowej mieszaniny gazo-cieczowej, do których dochodziło zarówno w obszarach przed, jak i za gwałtowną zmianą przekroju rury, miały wpływ na wartość miejscowych oporów przepływu. Na rys. 3, 4 przedstawiono przebieg kilku serii danych, dotyczących zmierzonych miejscowych wartości strat ciśnienia. Jak wynika z przedstawionych danych, w rurze za przewężeniem identyfikowano głównie struktury B/FF oraz FF, poprzedzane w kolejnych seriach strukturami spływającego filmu cieczy FF w rurze o większej średnicy.

Intensywne mieszanie się faz na przeszkodzie lokalnej (przewężeniu przekroju) sprzyjało homogenizacji układu, a zatem ujednorodnieniu jego właściwości, a tym samym upodobnieniu mieszaniny dwufazowej do substancji jednofazowej.

Tablica 1
Metody do obliczania strat ciśnienia przy nagłym przewężeniu kanału, wg [1–4]

Autor metody	Opis metody
Kawahara	$\Delta P_{2F,p} = \frac{g_T^2}{2\rho_c} \left[\left(\frac{1}{\sigma_c} \right)^2 + 1 - \sigma^2 \right] \left[1 + x \left(\frac{\rho_c}{\rho_g} - 1 \right) \right]$ <p>gdzie: $\sigma_c = \frac{1}{0,639(1-\sigma)^{0,5} + 1}$</p>
Lottes	$\Delta P_{2F,p} = \frac{\rho_{2F,1} w_{2F,1}^2}{2} (1 - \sigma^2 + k),$ <p>gdzie: $k = a(1 - \sigma_{3,1}^2)$ oraz $a = 0,4$</p>
Richardson	$\Delta P_{2F,p} = \frac{\rho_c w_{c,1}^2 (1 - R_g)}{2} (1 - \sigma^2 + k),$ <p>gdzie: $k = 0,2(1 - \sigma^2)$</p>
Ruffell	$\Delta P_{2F,p} = \frac{g_T^2}{2\rho_{2F}} \left[(1 - \sigma_1^2 \sigma_c^2) - 2\sigma_c(1 - \sigma_c) \right]$ <p>gdzie: $\sigma_c = 1 - \frac{1 - \sigma}{2,080(1 - \sigma) + 0,5371}$</p>
Schmidt i Friedel	$\Delta P_{2F,p} = \frac{g_{Tvc}^2}{2\rho_{2F}} \left[(1 - \sigma^2 \phi_c^2) - 2\phi_c(1 - \phi_c) \right]$ <p>gdzie: $\phi_c = 1 - \frac{1 - \sigma}{2,080(1 - \sigma) + 0,5371}$</p>

zowej. W ten sposób tłumaczyć można monotoniczny (ale krzywoliniowy) wzrost oporów wraz ze wzrostem udziału strumienia gazu ϵ_g w płynącym układzie dwufazowym gaz – ciecz a także występowanie w fazie ciekłej drobnych pęcherzyków gazu, które w formie struktury B/FF utrzymywały się, za przewężeniem, na całej długości rury pomiarowej.

Uwzględniając brak w literaturze przedmiotu, szczególnych metod do obliczania miejscowych oporów przepływu w rurach pionowych w warunkach opadających przepływu dwufazowego gaz – ciecz, podjęto próbę oceny możliwości wykorzystania w tym celu metod zawartych w tablicy 1, a opracowanych dla przepływu w układzie poziomym oraz pionowym przy przepływie wznoszącym.

W celu oceny dokładności otrzymanych na ich podstawie obliczeń, wyznaczono średni błąd względny wartości obliczonych do zmierzonych

$$\overline{\delta_{\Delta P}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta P_{2F,zm} - \Delta P_{2F,obl}}{\Delta P_{2F,zm}} \quad (3)$$

oraz średni rozrzut wartości obliczonych względem zmierzonych

$$|\overline{\delta_{\Delta P}}| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\Delta P_{2F,zm} - \Delta P_{2F,obl}|}{\Delta P_{2F,zm}} \quad (4)$$

Uzyskane wartości parametrów statystycznych okazały się mało zadowalające, na co wskazują wyniki obliczeń podane w tablicy 2.

Tablica 2
Ocena dokładności metod obliczania oporów miejscowych

Autor metody	$\overline{\delta_{\Delta P}}$, [%]	$ \overline{\delta_{\Delta P}} $, [%]
Kawahara	+16,1	46,1
Lottes	-15,9	110
Richardson	+69,2	70,3
Ruffell	+71,2	77,3
Schmidt i Friedel	+45,4	88,4

Jedyną zależnością opisującą wyniki badań ze średnią dokładnością $\pm 50\%$ była metoda Kawahary. Pozostałe równania zapewniały wyniki bardzo zaniżone w stosunku do wartości zmierzonych. Przyczyną takiego stanu jest niewątpliwie inny charakter przepływu opadającego w stosunku do innych kierunków przepływu.

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

LITERATURA

1. M. Dziubiński: Hydrodynamika przepływu mieszanin dwufazowych ciecz-gaz, Wyd. Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2005.
2. J. Madejski: ZN IMP PAN w Gdańsku (1992).
3. J. Schmidt, L. Friedel: Int. J. of Multiphase Flow **23**, 2, 283 (1997).
4. F. Aloui et al.: Experimental Thermal and Fluid Science **19**, 118 (1999).