

JOANNA GUZIAŁOWSKA
DARIUSZ SKOCZYŁAS
ROMAN ULBRICH

Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole

Zastosowanie metod korelacyjnych w badaniach przepływu dwufazowego gaz – ciecz w przestrzeni międzyrurowej wymiennika ciepła

Wprowadzenie

Przepływ mieszaniny dwufazowej w przestrzeni międzyrurowej jest procesem złożonym, zarówno z racji znacznego skomplikowania geometrii przestrzeni międzyrurowej, ale także samej natury przepływu dwufazowego, charakteryzującej się znacznymi oscylacjami i jest stosunkowo słabo rozpoznany – nawet w najpoważniejszych pracach prezentowane są dość stereotypowe poglądy, sugerujące przeniesienie doświadczeń z obszaru przepływu jednofazowego, na przepływ dwufazowy [1, 2].

W prezentowanej pracy podjęto próbę opisu hydrodynamiki przepływu mieszaniny gaz-ciecz w przestrzeni międzyrurowej wymiennika z przegrodami poprzecznymi.

Opis badań

W celu realizacji pracy zaprojektowano i zbudowano stanowisko pomiarowe o wymiarach 1220×240×30 mm (długość/szerokość/grubość), w postaci kanału prostokątnego ze zmiennym wkładem rurowym, składającym się z jednego rzędu rur. W badaniach zastosowano 19 różnych układów geometrycznych, zmieniając odpowiednio podziałkę względną, odległość pomiędzy przegrodami oraz wielkość strzałki wycięcia.

Zjawiska zachodzące w przestrzeni międzyrurowej, rejestrowano przy użyciu szybkiej kamery cyfrowej HCC-1000 firmy VDS *Vosskühler*, o częstotliwości do 1800 Hz, sprzężonej z przenośnym komputerem pełniącym rolę sterownika

jak również rejestratora. Przy rozdzielczości 1024×1024 pikseli rejestrowano sekwencje 512 map bitowych.

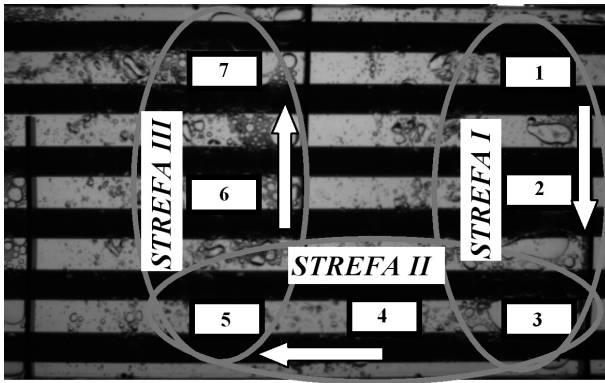
Metodyka i wyniki badań

W celu obserwacji ewolucji prędkości analizie poddano przede wszystkim struktury pęcherzykowe i korkowe, a więc takie, w których następuje wyraźne przemieszczanie granicy międzyfazowej. Dla określenia prędkości w przestrzeni międzyrurowej, wykorzystano funkcję korelacji wzajemnej (interkorelacji) dwóch sygnałów losowych, charakteryzującą wzajemną zależność pomiędzy wartością jednego sygnału losowego, od wartości drugiego sygnału losowego [3]:

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t + \tau)dt \quad (1)$$

W przypadku zastosowania funkcji korelacji wzajemnej w przestrzeni modelowego wymiennika ciepła z przegrodami segmentowymi, obszary badawcze oddalono od siebie o znaną odległość d , a następnie rejestrowano zmiany poziomu szarości w funkcji czasu. Stosując funkcję korelacji wzajemnej, określono związek poziomu szarości w wybranych miejscach. Wynikiem tej operacji było wystąpienie tylko jednego wyraźnego maksimum, natomiast pozostałe przypadkowe impulsy zostały wygładzone.

Zmiany prędkości analizowane były dla wszystkich dwiętnastu układów geometrycznych. Poniżej przedstawiono wyniki dla podziałki względnej $t/d = 2$; odległości między



Rys. 1. Rozmieszczenie obszarów pomiarowych dla $t/d = 2$; $UH = 0,75$ oraz $h/H = 30\%$

przegrodami: $UH = 1$ oraz strzałki wycięcia wynoszącej $h/H = 15\%$, gdzie rozmieszczono siedem obszarów badawczych (Rys. 1, Tabl. 1).

Na podstawie wyżej przedstawionych ewolucji prędkości można zaobserwować, iż ze względu na skomplikowaną geometrię, występują znaczne wahania prędkości w przestrzeni międzyrurowej oraz, że dla przedstawionego przypadku naj-

wyższą wartość prędkości uzyskano w oknie przegrody: obszar 4-5, co wiąże się ze zmniejszeniem przekroju, przez który przepływa struktura pęcherzykowo-korkowa.

Z kolei, w celu obliczenia prędkości w przestrzeni międzyrurowej, podzielono obszar modelowego wymiennika ciepła, na trzy strefy (Rys. 1): przepływu opadającego – I, przepływu w oknie przegrody – II, przepływu wznoszącego – III.

Następnie stosując model poślizgu zaproponowany przez Zuberą-Findleya [4], obliczono prędkości struktur gazowych. W modelu tym szczególna uwaga jest zwrócona nie na prędkości przepływu poszczególnych faz, a na prędkości przepływu jednej z faz względem drugiej, czyli na prędkości względne (dryftu).

Rzeczywista prędkość struktur gazowych dla przepływu wznoszącego i opadającego została opisana następująco:

$$w_{G\uparrow} = C_{wz} w_T + w_{\infty}, \quad w_{G\downarrow} = C_{op} w_T + w_{\infty} \quad (2-3)$$

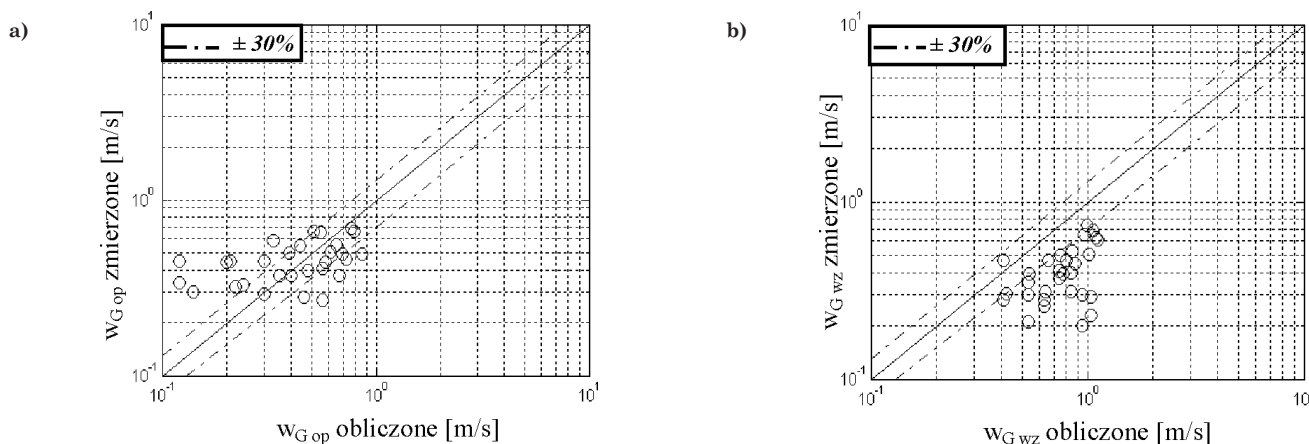
Natomiast prędkość dryftu dla przepływu pęcherzykowego określono, jako:

$$w_{\infty} = \sqrt{2} \left(\frac{\sigma g \Delta \rho}{\rho_L} \right)^{0,25} (1 - \alpha)^{1,75} \quad (4)$$

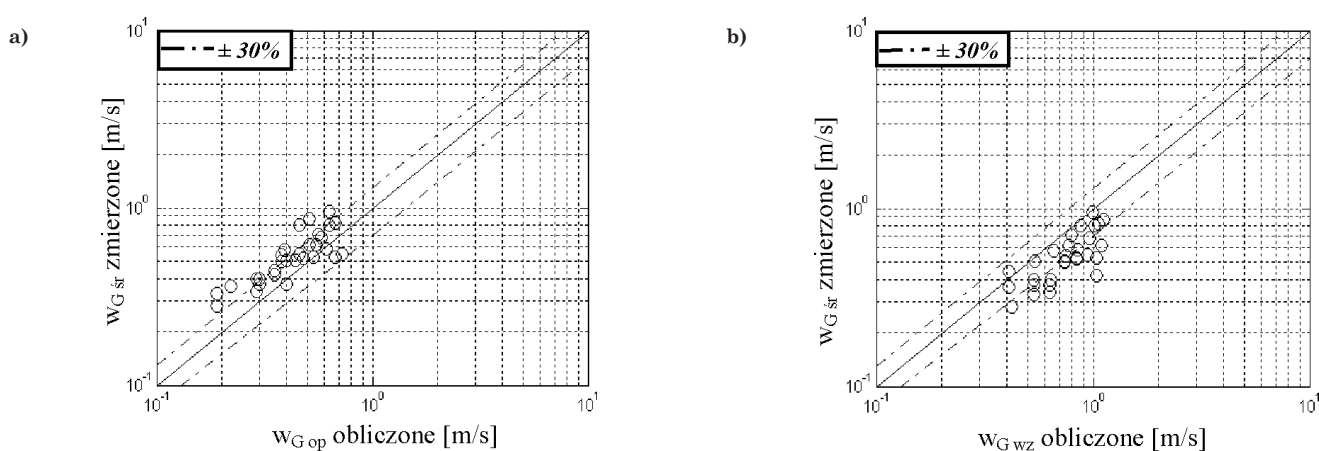
Tablica 1

Ewolucja prędkości ($w_{LS} = 0,4$ m/s, $w_{GS} = 0,1$ m/s) dla obszarów badawczych rozmieszczonych zgodnie z rys. 1

Poziom szerokości	Prędkość struktur pęcherzykowo-korkowych	Poziom szerokości	Prędkość struktur pęcherzykowo-korkowych
Obszar 1-2; $w_{G1-2} = 0,88$ m/s		Obszar 2-3; $w_{G2-3} = 0,44$ m/s	
Obszar 3-4; $w_{G3-4} = 0,56$ m/s		Obszar 4-5; $w_{G4-5} = 1,27$ m/s	
Obszar 5-6; $w_{G5-6} = 0,44$ m/s		Obszar 6-7; $w_{G6-7} = 0,42$ m/s	



Rys. 2. Porównanie prędkości obliczonej, ze zmierzoną dla $t/d = 2$, $h/H = 30\%$ oraz $l/H = 0,75$: a) dla przepływu opadającego (I); b) dla przepływu wznoszącego(III)



Rys. 3. Porównanie prędkości obliczonej: a) dla przepływu opadającego (I); b) dla przepływu wznoszącego (III), ze średnią zmierzoną dla $t/d = 2$, $h/H = 30\%$ oraz $l/H = 0,75$

Prędkości obliczone na podstawie modelu poślizgu i wyznaczone w oparciu o funkcje korelacji wzajemnej dla przepływu wznoszącego i opadającego (strefa I i III Rys. 1), porównano na poniższych wykresach. Strefę rozrzutu zaznaczono, jako $\pm 30\%$, co dla przepływu w kanałach prostoosiowych jest uznawane za zadowalającą zgodność.

Następnie porównano średnią prędkość zmierzoną (dla wszystkich obszarów pomiarowych: strefa I, strefa II, strefa III), z prędkością obliczoną dla przepływu wznoszącego i kolejno opadającego.

Porównując powyższe wykresy można zaobserwować, iż wyższa zgodność pomiędzy prędkością obliczoną, a zmierzoną występuje dla przepływu opadającego.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań własnych, stwierdzono, iż geometria przestrzeni międzyrurowej ma, nie tylko

wpływ na tworzące się struktury, ale również na ich prędkość i kierunek przemieszczania się oraz fluktuacje. Zaobserwowano również iż, w przestrzeni międzyrurowej występują znaczne wahania prędkości struktur pęcherzykowo-korkowych, przy czym największe wartości prędkości zanotowano w oknie przegrody i tuż za nią. Stwierdzono również, iż rzeczywista prędkość struktur gazowych może być obliczana według zależności obowiązujących w pojedynczym kanale.

LITERATURA

1. D. Chisholm: Two-phase flow in pipelines and heat exchangers, Georg Godwin Ed. London, 1983.
2. M.J. Pettigrew, C.E. Taylor, J.H. Jong, I.G. Currie: ASME, t. 273, 211 (1994).
3. J.S. Bendat, A.G. Piersol: Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1976.
4. N. Zuber, J.A. Findlay: J. Heat Transfer, Trans. ASME, nr 87, 453 (1965).