

MARCIN PIETRZAK  
STANISŁAW WITCZAK

Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole

# Struktury przepływu trójfazowego gaz – ciecz – ciecz w łuku rurowym

## Wprowadzenie

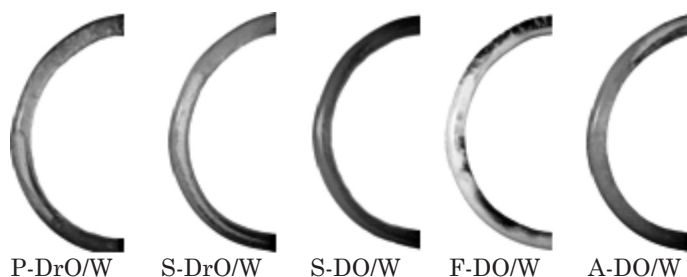
Analizując przepływ wielofazowy w łukach rurowych istotnym zagadnieniem jest znajomość zakresów pojawiania się określonych struktur przepływu. Pod pojęciem struktur przepływu, zwanych również formami lub reżimami przepływu, rozumie się kształt i wzajemne rozmieszczenie geometryczne form tworzonych przez składniki mieszanin wielofazowych. Wiedza na temat warunków tworzenia się określonych form przepływu, jak również samych form jest niezmiernie ważna przy ocenie udziałów objętościowych faz i oporów przepływu.

Z uwagi na fakt, iż w literaturze przedmiotu [1–4] napotykamy na stosunkowo niewielką liczbę opracowań z tego zakresu, podjęto badania nad przepływem trójfazowym powietrze – woda – olej, w celu określenia rodzajów tworzących się form takiego przepływu wraz z wyznaczeniem wartości udziałów objętościowych fazy gazowej w płynącej mieszaninie wielofazowej. Uzyskane wyniki badań pozwoliły ponadto na opracowanie własnej mapy przepływu trójfazowego powietrze – woda – olej, którą można polecić jako mapę uniwersalną do przewidywania tworzących się form przepływu trójfazowego w łukach rurowych.

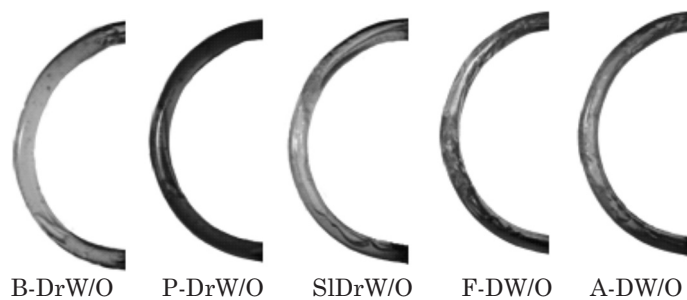
Badania doświadczalne prowadzono przy następujących zakresach zmian prędkości pozornych użytych czynników roboczych: powietrza  $w_{p,0} = (0,07 \div 2,97)$  m/s, wody  $w_{w,0} = (0,018 \div 0,50)$  m/s i oleju  $w_{o,0} = (0,08 \div 0,50)$  m/s. Jako cieczy olejowej użyto oleju maszynowego L-AN 15 dla którego, w zależności od stosowanych w badaniach temperatur  $t_o = (15 \div 30)^\circ\text{C}$ , jego gęstość i lepkość wynosiły odpowiednio:  $\rho_o = (859 \div 860)$  kg/m<sup>3</sup>,  $\eta_o = (0,02 \div 0,026)$  Pa·s.

## Wyniki badań i ich analiza

W wyniku identyfikacji struktur przepływu trójfazowego w łuku rurowym, na rys. 2, 3 przedstawiono, tytułem przykładu, zdjęcia sklasyfikowanych struktur takiego przepływu przy pionowym usytuowaniu kanału łukowego. Przy opisie struktur przepływu, grupowano struktury przepływu w zależności od rodzaju dominującej fazy ciekłej w przepływie. Dla przepływu trójfazowego z dominującą fazą wodną wyróżniono następujące formy przepływu: korkową z kroplami oleju w wodzie – P-DrO/W, rozwarstwoną z kroplami oleju w wodzie – S-DrO/W, rozwarstwoną z dyspersją oleju w wodzie – S-DO/W, pianową z dyspersją oleju w wodzie – F-DO/W, pierścieniową z dyspersją oleju w wodzie – A-DO/W. W przypadku, gdy w przepływie trójfazowym dominowała faza olejowa, struktury przepływu sklasyfikowano jako: pęcherzykową z kroplami wody w oleju – B-DrW/O, korkową z kroplami wody w oleju – P-DrW/O, rzutową z kroplami wody w oleju – Sl-DrW/O, pianową z dyspersją wody w oleju – F-DW/O, pierścieniową z dyspersją wody w oleju – A-DW/O.



Rys. 1. Struktury wznoszącego przepływu trójfazowego z dominującą fazą wodną (O/W)

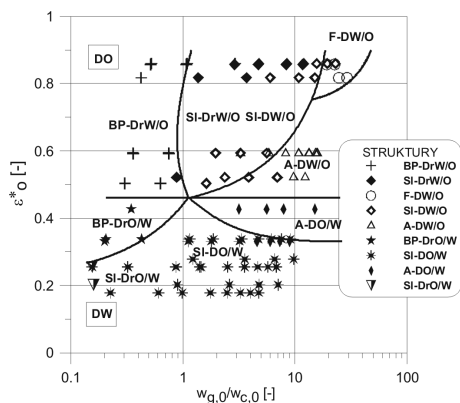


Rys. 2. Struktury wznoszącego przepływu trójfazowego z dominującą fazą olejową (W/O)

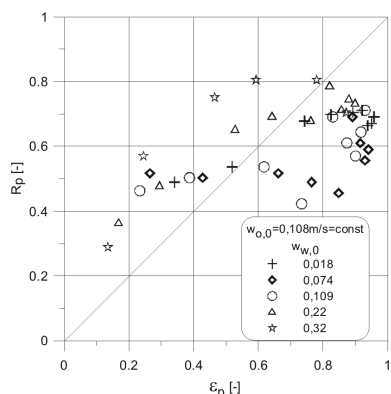
Zastosowane w opisie struktur symbole określają odpowiednio: rodzaj przepływu mieszaniny gazowo-cieczowej, formę przepływu ciekłych składników mieszaniny oraz rodzaj fazy dominującej w cieczy i zaczerpnięte zostały z pierwszych liter wyrazów w jęz. angielskim. Tytułem przykładu symbol B-DrW/O określa przepływ pęcherzyków gazu (B) w mieszaninie gazowo-cieczowej, w której w dominującej fazie olejowej (ciągłej fazie ciekłej) – O, przepływają w niej kropelki wody (Dr).

Wobec stwierdzonych osobliwości w zakresie tworzenia się różnorodnych struktur przepływu trójfazowej mieszaniny powietrze – woda – olej w różnie usytuowanym łuku rurowym, w stosunku do rodzajów struktur przepływu trójfazowego w rurach prostoosiowych, zdecydowano się na opracowanie nowej własnej mapy przepływu, słusznej dla takiej geometrii kanału. Opracowaną mapę przepływu przedstawiono na rys. 3.

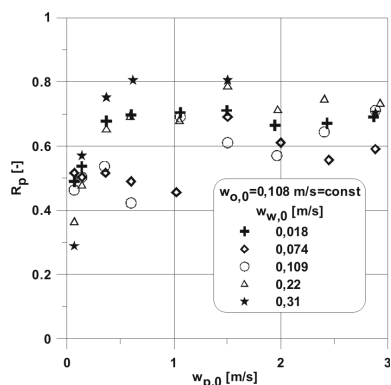
Obejmuje ona opis struktur przepływu zarówno w zakresie przepływu pseudodwufazowego mieszaniny gazowo-cieczowej, jak i formę przepływu ciekłych składników mieszaniny z jednoczesnym wskazaniem rodzaju fazy dominującej w cieczy (DO – dominacja oleju, DW – dominacja wody), a zbudowana została w układzie współrzędnych odpowiadających koncentracji oleju w mieszaninie wodno-olejowej –  $\epsilon_o^*$  i stosunkowi prędkości pozornych faz –  $w_{g,0}/w_{c,0}$ . Uwzględniając, że sporządzona mapa przepływu określa rodzaje struktur zarówno dla przepływu w płaszczyźnie poziomej, jak i przepływu wznoszącego i opadającego w łuku, można ją polecić



Rys. 3. Mapa przepływu trójfazowego powietrze-woda-olej w łuku rurowym 180° o średnicy  $d = 16$  mm przy promieniu gięcia  $R = 110$  mm



Rys. 4. Zależność zmierzonego udziału objętościowego powietrza  $R_p$  od jego udziału wlotowego  $\epsilon_p$  i prędkości pozornych wody  $w_{w,0}$  przy przepływie trójfazowym w łuku rurowym ( $w_{o,0} = 0,108$  m/s)



Rys. 5. Zależność zmierzonego udziału objętościowego powietrza  $R_p$  od jego prędkości pozornych  $w_{p,0}$  i prędkości pozornych wody  $w_{w,0}$  przy przepływie trójfazowym w łuku rurowym ( $w_{o,0} = 0,108$  m/s)

jako mapę ogólną do przewidywania rodzajów struktur przepływu trójfazowego typu gaz – ciecz – ciecz, także dla innych geometrii kanałów łukowych.

Specyficzny charakter przepływu trójfazowego, charakteryzującego się różnicą pomiędzy właściwościami fizycznymi faz, powoduje, że poszczególne składniki mieszaniny płyną z różną prędkością (poślizg międzyfazowy), co w znaczący sposób wpływa na rodzaj tworzących się struktur przepływu wielofazowego oraz jest przyczyną występowania różnic pomiędzy wartościami średniego rzeczywistego udziału objętościowego  $R_i$ , a wartościami wlotowego objętościowego udziału poszczególnych składników mieszaniny  $\epsilon_i$ , które wynikają z zadanych na wlocie do kanału strumieni objętościowych faz (Rys. 4). Dlatego też przy opisie występujących struktur przepływu

mieszanej wielofazowej w łuku rurowym ważne jest, aby dysponować informacją na temat wartości udziałów objętościowych poszczególnych faz mieszaniny wielofazowej, zwłaszcza fazy gazowej.

Na rys. 5, jako przykład, przedstawiono zależność zmierzonego udziału objętościowego powietrza  $R_p$  od jego prędkości pozornych  $w_{p,0}$  przy zmiennej prędkości pozornych wody  $w_{w,0}$  i stałej prędkości pozornych oleju. Z przedstawionych danych wynika, że wraz ze wzrostem prędkości pozornych powietrza jego udział objętościowy również wzrasta. Przy prędkości pozornych wody rzędu 0,018 i 0,074 m/s, a więc przy dominującej fazie olejowej, udział objętościowy powietrza maleje. Sugeruje to, że olej o większej gęstości i lepkości znacznie słabiej pokonuje działającą w łuku rurowym siłę odśrodkową i znacznie wolniej opuszcza kanał łukowy. Następnie przy prędkości wody rozpoczynającej się od wartości 0,109 m/s, a więc w obszarze przepływu z dominującą fazą wodną, udziały objętościowe powietrza wykazują tendencję wzrostową.

Zatem nie bez znaczenia pozostaje określenie w przepływie trójfazowym dominującej fazy ciekłej. Jak wynika z badań własnych, przedstawionych powyżej, o wartości udziału objętościowego powietrza decyduje to, czy w przepływającej mieszaninie dominuje faza wodna, czy olejowa.

## Wnioski

Przepływ trójfazowy cieczy niemieszających się i gazu jest silnie złożony w swej naturze ze względu na występowanie aż trzech odmiennych pod względem właściwości fizycznych składników mieszaniny, ich wzajemnego oddziaływania na powierzchni kontaktu międzyfazowego oraz obecnych w przepływie turbulencji. Jeżeli pod uwagę weźmiemy ponadto fakt, iż przepływ zachodzi w elementach łukowych, w których następuje także zmiana kierunku ruchu strugi mieszaniny wielofazowej, zagadnienie to staje się wysoce złożone przy opisie.

Wszystkie charakterystyczne zjawiska występujące w strudze trójfazowej, do których należy zaliczyć m.in. wytworzenie się w przepływie dużej ilości odmiennych struktur przepływu oraz występowanie różnych wartości poślizgu międzyfazowego, nie zostały jeszcze dobrze poznane i opisane, dlatego zaleca się kontynuację prac badawczych w obrębie rozpatrywanego zjawiska.

Na podstawie wyników dotychczasowych prac można stwierdzić, że struktury przepływu trójfazowego powietrze – woda – olej występujące w łukach rurowych można klasyfikować w taki sam sposób, jak w przypadku rur poziomych. W celu określenia rodzaju struktury przepływu mieszaniny gaz – ciecz – ciecz można wykorzystać zaproponowaną nową mapę takiego przepływu dla różnych geometrii łuków rurowych.

## LITERATURA

1. Ch. Wang et al.: Exp. Therm. Fluid Sci. 28, 145 (2004).
2. Ch. Wang et al.: Int. J. Heat Mass Transfer 48, 2342 (2005).
3. J. Hapanowicz i in.: Inż. Chem. Proc. 22, 219 (2001).
4. D.M. Kirpalani: Int. J. Heat Mass Transfer 51, 1095 (2008).

**Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008-2009 jako projekt badawczy Nr N N513 419834 oraz współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego.**



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY