

Barbara MIŁASZEWICZ, Roman ULBRICH

e-mail: bmilaszewicz@gmail.com

Katedra Inżynierii Środowiska, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole

Nierównomierność rozptyłu mieszaniny dwufazowej gaz – ciecz w układzie minikanalów współpracujących równolegle

Wstęp

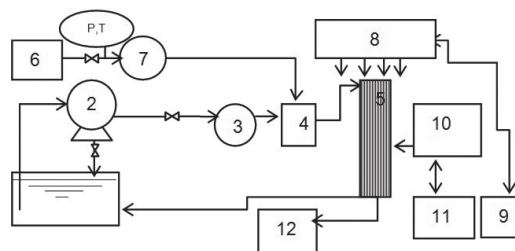
Z przepływami dwufazowymi w kanałach współpracujących równolegle spotkać się można zarówno w aparatach do wymiany ciepła, gdy czynnik roboczy ulega przemianom fazowym, jak i w aparatach do wymiany masy. Jednym z ważniejszych elementów wpływających na efektywność pracy kompaktowych wymienników ciepła, czy różnego typu reaktorów, wykorzystujących przepływ w kanałach równoległych, jest charakter rozptyłu czynników roboczych do poszczególnych kanałów a w szczególności jego równomierność. Nierównomierna dystrybucja czynnika do poszczególnych kanałów powoduje istotne pogorszenie sprawności choćby wymienników ciepła [1–3]. Jak pokazują badania eksperymentalne, zjawisko nierównomiernej dystrybucji, zwłaszcza dla układów wielofazowych, jest bardzo powszechne i jednocześnie niezwykle skomplikowane, zależne od wielu czynników. Wśród nich wymienia się strumienie doprowadzanych faz, geometrię samych kanałów jak i dystrybutora (głowicy) rozdzielającego mieszaninę do poszczególnych kanałów, kierunki przepływu, czy nawet wysunięcie kanałów w dystrybutorze. Jak dotąd nie opracowano uniwersalnego rozwiązania pozwalającego na osiągnięcie równomiernej rozprawy doprowadzanych faz do poszczególnych kanałów w szerokim zakresie ich strumieni. Obecnie optymalizacja warunków wymiany ciepła, czy masy związana z poprawą równomierności przepływu, jest prowadzona przede wszystkim w oparciu o badania empiryczne. Zastosowanie kanałów o przekroju prostokątnym jest powszechne z uwagi na możliwość osiągnięcia bardziej zwartej konstrukcji aparatu a także na większą powierzchnię kontaktu w stosunku do kanału o przekroju kołowym o tej samej średnicy hydraulicznej. Dodatkowo panująca obecnie tendencja do miniaturyzacji urządzeń, która swoim zasięgiem obejmuje również aparaty do wymiany ciepła i masy, powoduje konieczność prowadzenia badań w zakresie optymalizacji ich pracy w znacznie mniejszej skali; mini, mikro, czy wręcz nano. Wyniki prac badawczych odnoszących się do przepływów w kanałach o konwencjonalnych rozmiarach nie powinny być bezpośrednio przenoszone na grunt skali mini, czy mikro. W przepływach tych dominują bowiem inne siły niż w kanałach konwencjonalnych. Na znaczeniu nabierają siły napięcia powierzchniowego, adhezji. Poślizg międzyfazowy jest znacznie większy w przepływach dwufazowych w mniejszych kanałach. Natomiast siły bezwładności, grawitacji zdają się mieć, wraz ze zmniejszaniem się średnicy kanału, coraz mniejsze znaczenie. Badaniom nad nierównomiernością rozptyłu mieszaniny dwufazowej w kanałach równoległych o średnicy rzędu kilku, kilkunastu milimetrów, i jej wpływowi na spadek efektywności aparatów, poświęcono niezbyt wiele prac. Znacznie mniej uwagi poświęcono badaniom tego niekorzystnego zjawiska w jeszcze mniejszej skali rozmiarów kanałów. Stąd niezwykle ważne wydaje się być przeprowadzenie badań nad nierównomiernością dystrybucji faz w minikanalach prostokątnych.

Badania eksperymentalne

Badania przeprowadzono dla układu ośmiu równoległych, prostokątnych kanałów o przekroju poprzecznym w postaci kwadratu o boku 3 mm. Badania wykonano dla opadającego przepływu mieszaniny dwufazowej gaz – ciecz na stanowisku pomiarowym, którego uproszczony schemat przedstawiono na rys. 1.

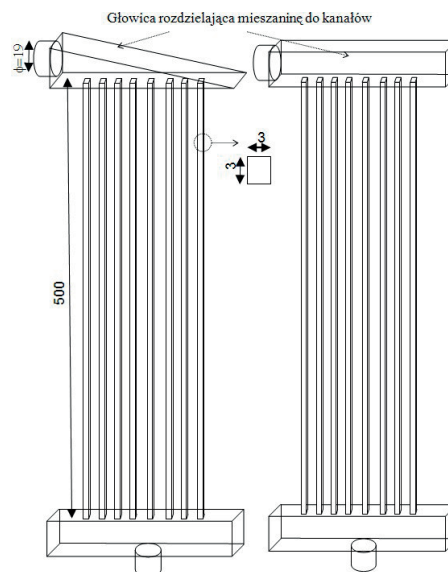
Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze zbudowano z układu dostarczającego wodę oraz powietrze do mieszalnika faz. Strumienie objętościowe obu faz regulowano za pomocą rotametrów. Następnie mieszanina po przejściu przez głowicę badanego układu rozptywała się do poszczególnych kanałów.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – zbiornik wody, 2 – pompa wody, 3 – bateria rotametrów cieczy, 4 – mieszalnik fazy ciekłej i gazowej, 5 – kanał badawczy, 6 – powietrze z sieci, 7 – bateria rotametrów powietrza, 8 – układ oświetlenia kanału badawczego, 9 – konsola sterowania mocą oświetlenia, 10 – kamera cyfrowa, 11 – stacja robocza przetwarzania i analizy obrazów, 12 – powietrze uwalniane do atmosfery

W analizowanym przypadku mieszanina doprowadzana była króćcem bocznym, natomiast odprowadzana króćcem środkowym, zastosowano dwa typy geometrii głowicy, o przekroju podłużnym w kształcie trójkąta i prostokąta (Rys. 2). Kanał pomiarowy wykonano z przezroczystego szkła organicznego i odpowiednio go oświetlono, dzięki czemu można było zastosować nieinwazyjną metodę badawczą. Rejestracja przepływu za pomocą kamery pozwoliła na uzyskanie obrazów o wysokiej jakości, których analiza dostarczyła cennych informacji o charakterze rozptyłu zarówno w aspekcie ilościowym jak i jakościowym.



Rys. 2. Analizowane układy kanałów współpracujących równoległe

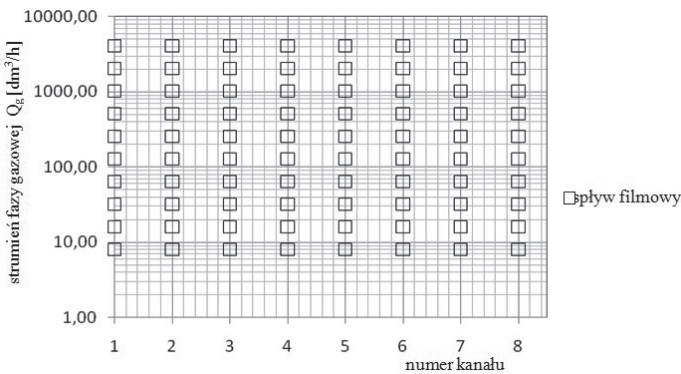
Metodykę badań oparto na ocenie charakteru przepływu na podstawie rejestracji przepływu za pomocą kamery cyfrowej i poddaniu analizie otrzymanych sekwencji obrazów. Podstawowym parametrem analizy była fluktuacja poziomu szarości zarejestrowanych sekwencji map bitowych.

Wyniki

Jakościowego opisu charakteru rozplywu mieszaniny dwufazowej do poszczególnych kanałów można dokonać na podstawie obserwacji wizualnej filmów w zwolnionym tempie a także za pomocą rozkładu funkcji gęstości prawdopodobieństwa poziomów szarości. Na podstawie tych obserwacji dokonano oceny równomierności dystrybucji faz pod względem zgodności występowania określonych struktur w poszczególnych kanałach.

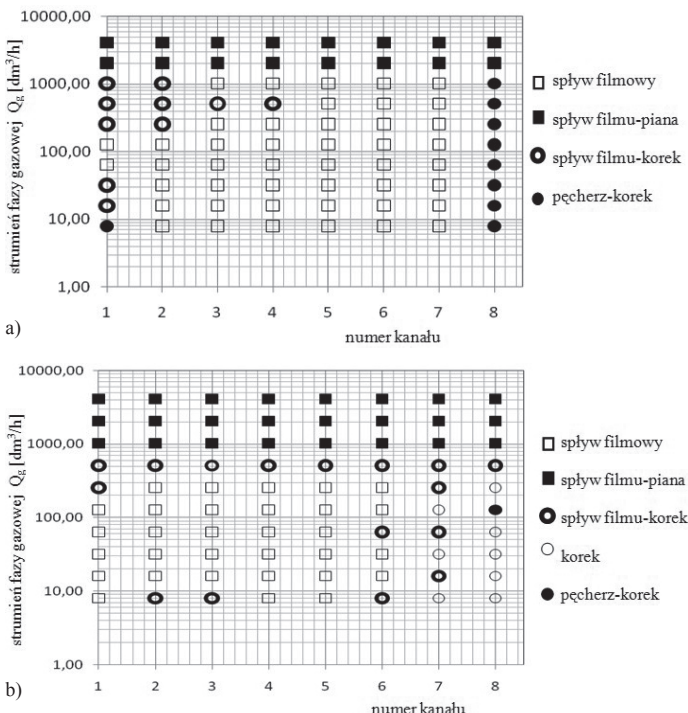
Przedstawione poniżej wyniki pozwalają na określenie wpływu wielkości strumienia fazy gazowej dostarczanej do głowicy, przy utrzymywanych na stałym poziomie strumieniach fazy ciekłej, oraz geometrii głowicy na charakter powstających nierównomierności w strukturach przepływu.

Na podstawie rys. 3 można zauważyć, że dla niskich wartości strumienia cieczy, niezależnie od wartości strumienia gazu oraz zastosowanej geometrii głowicy, praktycznie we wszystkich kanałach obserwuje się spływ filmowy cieczy.



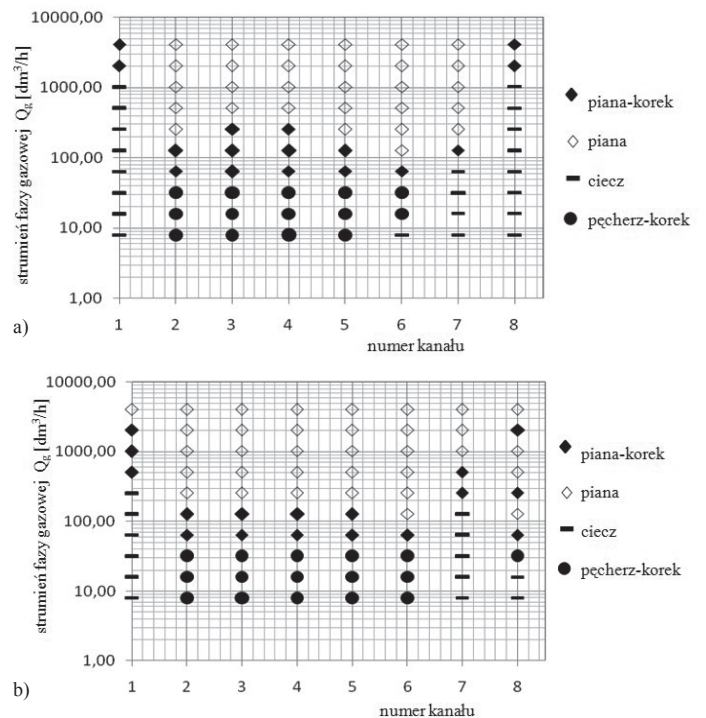
Rys. 3. Wpływ strumienia fazy gazowej na występowanie struktur przepływu w poszczególnych kanałach przy stałym strumieniu fazy ciekłej $Q_l = 8 \text{ dm}^3/\text{h}$ w układzie z głowicą prostokątną i trójkątną

Sytuacja zmienia się wraz ze wzrostem strumienia fazy ciekłej (Rys. 4). Obserwuje się znaczną asymetrię rozplywu szczególnie w zakresie strumieni fazy gazowej poniżej $1000 \text{ dm}^3/\text{h}$ dla obu typów za-



Rys. 4. Wpływ strumienia fazy gazowej na występowanie struktur przepływu w poszczególnych kanałach przy stałym strumieniu fazy ciekłej $Q_l = 32 \text{ dm}^3/\text{h}$ a) głowica trójkątna, b) głowica prostokątna

stosowanej głowicy. W przypadku układu z głowicą trójkątną (Rys. 4a) zakres występowania poszczególnych struktur można podzielić na trzy strefy, w kanałach usytuowanych w pobliżu wlotu i tylnej ścianki głowicy występują struktury korkowe, natomiast w centralnej części przepływ jest równomierny (spływ filmowy cieczy). Dla wyższych strumieni fazy gazowej (powyżej $1000 \text{ dm}^3/\text{h}$) przepływ normuje się i we wszystkich kanałach obserwuje się spływ filmu przechodzący w strukturę pianową. W przypadku układu z dystrybutorem prostokątnym (Rys. 4b) zaobserwowano inny charakter asymetrii rozplywu mieszaniny. Dla zakresu strumienia fazy gazowej od 8 do $250 \text{ dm}^3/\text{h}$ w kanałach położonych w pobliżu wlotu mieszaniny dominującą strukturą jest spływ filmu cieczy, natomiast w pobliżu tylnej ścianki dystrybutora przepływ ma charakter korkowy. Przy dalszym wzroście strumienia fazy ciekłej zaobserwowano istotną nierównomierność dystrybucji faz (Rys. 5). W kanale pierwszym i ostatnim w szerokim zakresie strumienia fazy gazowej (szerszym dla układu z głowicą trójkątną) występował przepływ samej cieczy.



Rys. 5. Wpływ strumienia fazy gazowej na występowanie struktur przepływu w poszczególnych kanałach przy stałym strumieniu fazy ciekłej $Q_l = 260 \text{ dm}^3/\text{h}$ a) głowica trójkątna, b) głowica prostokątna

Wnioski

Przeprowadzona analiza pozwoliła wykazać istotny wpływ wartości strumienia fazy gazowej doprowadzanej do głowicy na równomierność występowania określonych struktur przepływu w poszczególnych kanałach. Szczególnie wyraźna asymetria występuje przy przepływie gazu poniżej $1000 \text{ dm}^3/\text{h}$. Powyżej tych wartości przepływ staje się bardziej równomierny, praktycznie we wszystkich kanałach występuje jeden rodzaj struktury przepływu. Oprócz strumieni doprowadzanych faz istotny wpływ na równomierność dystrybucji faz wywiera geometria samej głowicy.

LITERATURA

[1] C.T. Joen and M. De Paepei: Experimental Heat Transfer, **19**, 281 (2006).
 [2] B. Prabhakara Rao, B. Sunden, S.K. Das: Journal of Heat Transfer Transactions of ASME, **127**, 332 (2005).
 [3] S. Lalot, P. Florent, S.K. Lang, A.E. Bergles: Applied Thermal Engineering, **19**, 847 (1999).

Praca współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego.