

APARATURA

BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Generator minipęcherzy w minikanale

GRZEGORZ GÓRSKI, ROMUALD MOSDORF

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY, KATEDRA MECHANIKI
I INFORMATYKI STOSOWANEJ

Słowa kluczowe: minikanal, przepływ dwufazowy, analiza nieliniowa, generator minipęcherzy

STRESZCZENIE

W pracy przeprowadzono analizę porównawczą rozwiązań konstrukcyjnych mieszalników fazy ciekłej z fazą gazową. Pokazano, że w zaproponowanych rozwiązaniach trudno jest sterować ilością pęcherzy w podłączonym do nich minikanale, a tym samym niemożliwe jest uzyskanie wszystkich rodzajów przepływu dwufazowego. W pracy przedstawiono własną koncepcję generatora mini i mikropęcherzy, który pozwala na formowanie oczekiwanej struktury przepływu dwufazowego w minikanale. Generator wykorzystano do wytworzenia minipęcherzy w minikanale. Urządzenie testowano dla czterech różnych przewodów o średnicach wewnętrznych: 1, 2, 4, 5 mm. We wszystkich przypadkach generator tworzył pęcherze o różnych średnicach.

Mini bubbles generator in mini channel

Keywords: mini channel, two-phase flow, nonlinear analysis, mini bubble generator

ABSTRACT

The gas-liquid mixers construction were compared in this paper. New conception of mini and micro bubbles generator is presented. The generator is used to form of mini bubbles in mini channel. The testing was conducted in tubes with the internal diameters of 1, 2, 4 and 5 mm. The different diameters of bubbles were formed for each generator constructions.

1. WPROWADZENIE

Liczne badania eksperymentalne prowadzone w ostatnich latach w wielu ośrodkach badawczych dotyczyły przepływów dwufazowych w mini i mikrokanałach [1-3]. Z uwagi na małą średnicę minikanalów zwykle występuje w nich przepływ korkowy. Uzyskanie przepływu pęcherzykowego wymaga zastosowania specjalnych rozwiązań konstrukcyjnych mieszalników faz. W pracy przeprowadzono analizę porównawczą rozwiązań konstrukcyjnych mieszalników fazy ciekłej z fazą gazową. Przedstawiono również własną koncepcję generatora mini i mikropęcherzy, który pozwala na tworzenie minipęcherzy w przepływie dwufazowym w minikanale.

Badania nad opracowaniem tego rodzaju generatorów prowadzono od wielu lat. W pracy Zun przedstawiono dwa rozwiązania mieszalników fazy ciekłej i gazowej [4] (Rys. 1a, b). Na Rysunku 1a pokazano rozwiązanie konstrukcyjne mieszalnika, w którym zastosowano materiał porowaty (spiek). Do elementu porowatego przykręcony jest trójnik. W zaproponowanym rozwiązaniu średnice przewodów są rzędu $3\text{ mm} \geq \geq 200\ \mu\text{m}$.

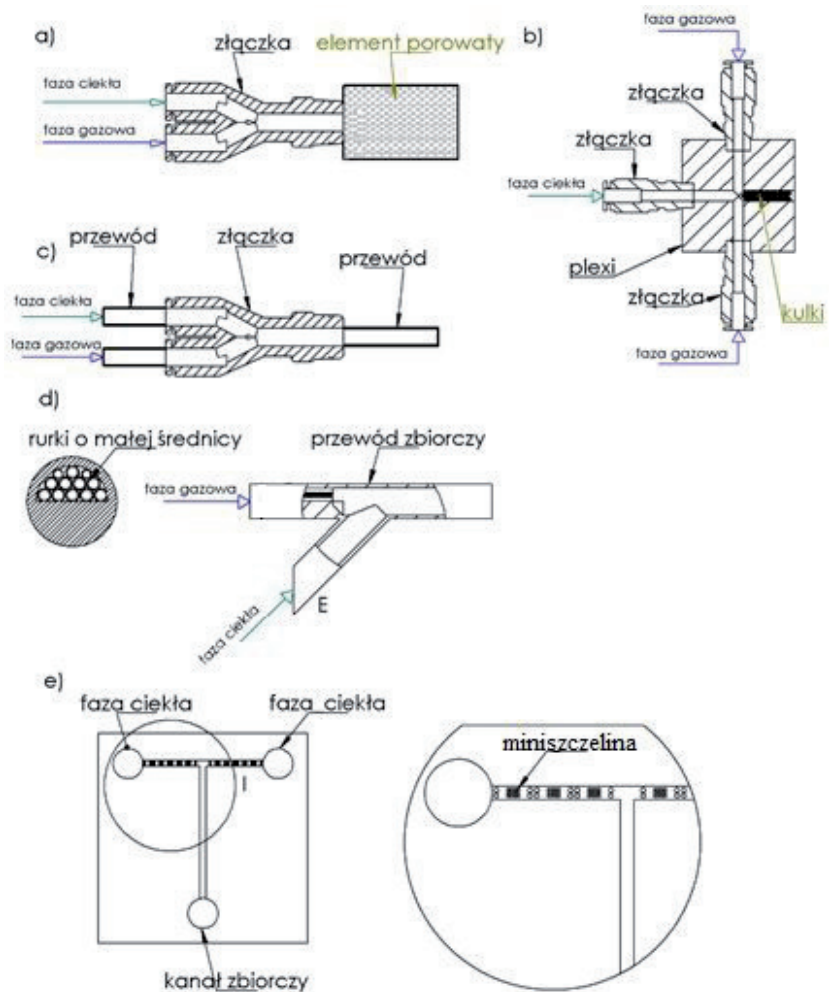
Następnym rozwiązaniem mieszalnika jest urządzenie wykonane z tworzywa typu pleksi, w którym wykonano otwory pokazane na Rysunku 1b [4]. Zastosowanie pleksi miało na celu kontrolę powstających w komorze mieszającej przepływów dwufazowych. W kostce zrobiono trzy otwory zasilające. Środkowym otworem o średnicy 1,2 mm był doprowadzony czynnik ciekły, dwoma pozostałymi otworami o średnicy 1,2 mm, które były prostopadłe do otworu środkowego, doprowadzona była faza gazowa (Rys. 1b). Wewnątrz komory mieszającej umieszczono szklane kulki o średnicy 0,5 mm, które intensyfikowały tworzenie się pęcherzy gazowych.

Kolejne rozwiązanie konstrukcyjne mieszalnika przedstawiono w pracy [5]. Głównym elementem urządzenia jest trójnik, do którego podłą-

czono przewody o średnicach wewnętrznych 2,16 mm, dostarczające fazę ciekłą oraz gazową. W trójniku następowało wymieszanie dwóch faz i w rezultacie otrzymywano mieszaninę dwufazową, która była transportowana przewodami o średnicy wewnętrznej 2,16 mm. Schemat mieszalnika przedstawiono na Rysunku 1c.

W następnym rozwiązaniu konstrukcyjnym mieszalnika (Rys. 1d), na wlocie fazy gazowej na długości 150 mm w górnej części przewodu, umieszczono rurki plastikowe o średnicy wewnętrznej 6 mm [6]. Za tym odcinkiem podłączony jest przewód pod kątem 45 stopni, którym wpływa faza ciekła. Minipęcherze powstają w kanale o średnicy wewnętrznej 18 mm.

Na Rysunku 1e przedstawiono rozwiązanie mieszalnika [7] z zastosowaniem miniszczelin przez które do komory mieszającej dostarczana była faza gazowa. Rozmieszczenie szczelin oraz kształt komory mieszającej pokazano na Rysunku 1e. Zewnętrzną część mieszalnika wykonano z prze-

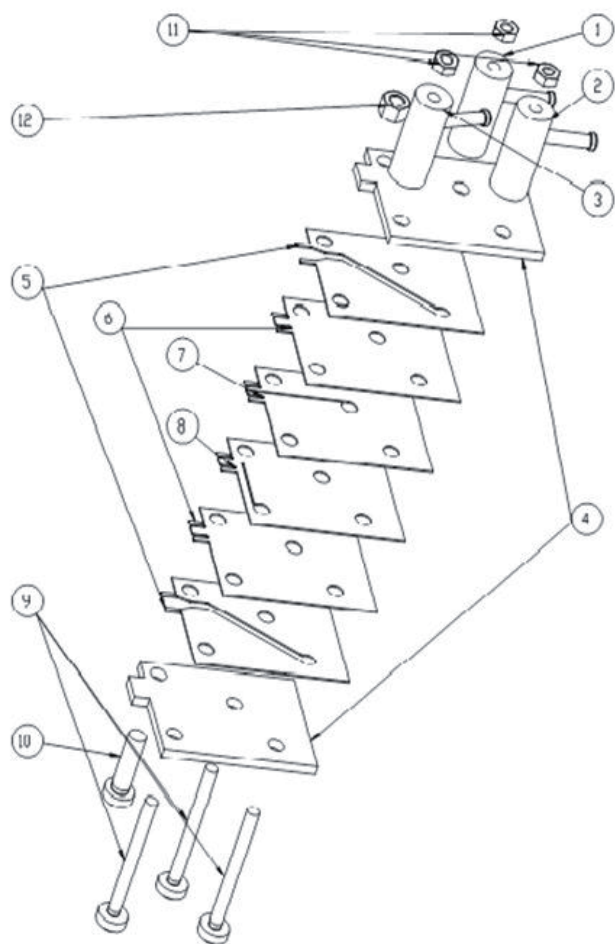


Rysunek 1 Typy mieszalników: a) mieszalnik z materiałem porowatym, b) mieszalnik typu „Y” wykonany z pleksiglasu, c) mieszalnik dwufazowy, d) rurowy mieszalnik dwufazowy, e) mieszalnik

zroczystej płyty akrylowej pozwalającej na obserwację powstających struktur przepływu. Niektóre przedstawione rozwiązania, takie jak rurowy mieszalnik dwufazowy oraz mieszalnik dwufazowy typu „T”, nie mogą być stosowane do formowania przepływów pęcherzykowych w minikanalach. W zaproponowanych rozwiązaniach trudno jest również sterować ilością pęcherzy w podłączonym do nich minikanale. Dlatego zaproponowano własną konstrukcję mieszalnika pozwalającą na kontrolowanie zarówno rozmiarów, jak i ilości pęcherzy w minikanale.

2. GENERATOR MINI I MIKROPĘCHERZY

Schemat generatora pokazano na Rysunku 2.



Rysunek 2 Kompaktowy generator mikro i minipęcherzy:

1 – króciec zasilający układ fazą ciekłą, 2 – króciec zasilający układ fazą ciekłą, 3 – króciec zasilający układ fazą gazową, 4 – blachy zewnętrzne (korpus generatora), 5 – blachy płaszcza fazy ciekłej, 6 – blachy izolujące, 7 – blacha odcinająca przepływ gazu, 8 – blacha generująca przepływ gazu, 9 – śruby skręcające generator razem z króćcami zasilającymi, 10 – śruba montażowa, 11 – nakrętka skręcająca generator razem z króćcami zasilającymi, 12 – nakrętka śruby montażowej

Rozwiązanie konstrukcyjne generatora mikro i minipęcherzy jest chronione wzorem użytkowym [8]. Taka konstrukcja generatora pozwala na podłączanie go do kanałów o różnych kształtach i wymiarach.

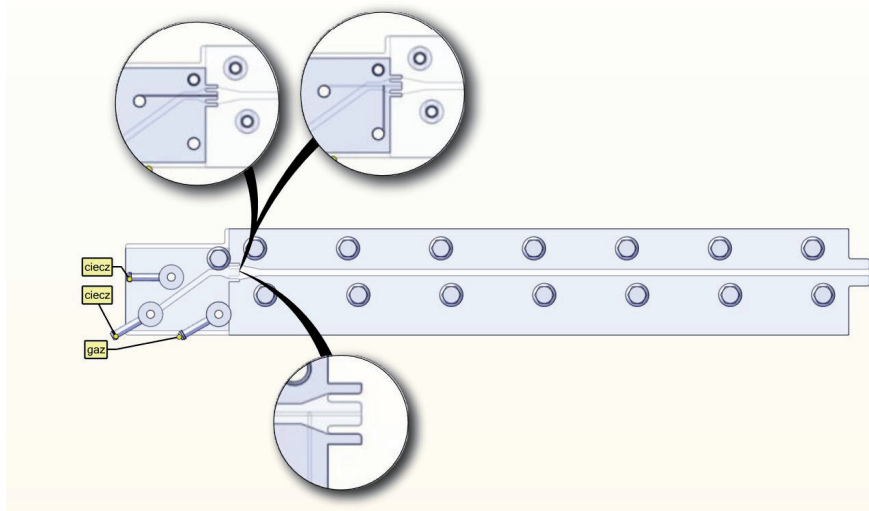
Istotą rozwiązania jest odpowiednie zmontowanie płyt wykonanych z blachy nierdzewnej, do których zamocowano trzy króćce. Dwa z nich zasilają układ cieczą (1, 2), a jeden króciec zasilają fazą gazową (3). Faza ciekła transportowana jest minikanalem wykonanym w płycie (7), a faza gazowa minikanalem (8). W wyniku nałożenia się tych płyt powstaje mikroszczelina, w której generowane są mikro i minipęcherze. Szczegółowy rzut miniszczeliny pokazany jest na Rysunku 3. Położenie szczeliny ma duży wpływ na prędkość przepływu pęcherzy gazu. Jest ona usytuowana jak najbliżej krawędzi generatora, w celu skrócenia drogi wypływu pęcherzy. W innym przypadku pęcherze zaczynają łączyć się ze sobą. W celu odizolowania czynników roboczych na płycie (7, 8) nałożono płytę (6). Na płytę (6) nałożona jest płytka (5) z wyciętym kanałem, przez który przepływała faza ciekła. Ciecz ułatwia odrywanie się pęcherzy gazowych. Za pomocą blach zewnętrznych (4) układ jest odizolowany od otoczenia. Całość skręcona jest za pomocą śrub mocujących (9, 10). Przez króciec (1) dostarczana jest ciecz odpowiedzialna za odcinanie pęcherzy. Następnie wygenerowane pęcherze powietrza są transportowane z określoną prędkością do mini lub mikrokanalu (Rys. 3).

Przedstawione rozwiązanie konstrukcyjne generatora pozwalało na szybką wymianę blach z odpowiednio naciętymi szczelinami (o odpowiedniej szerokości).

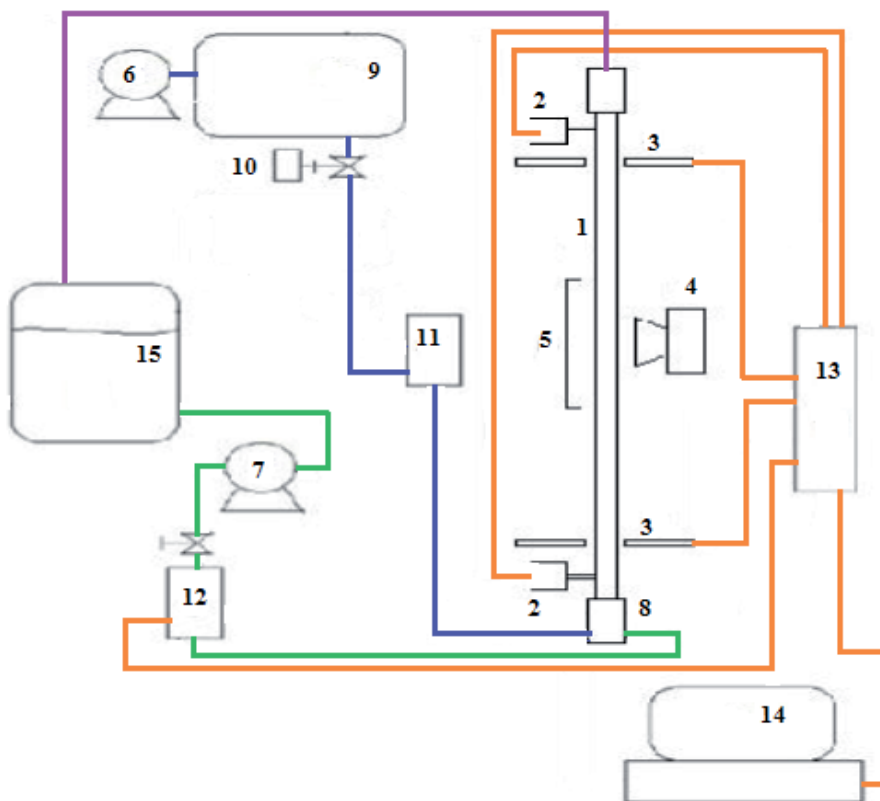
3. STANOWISKO POMIAROWE

Eksperymentalne sprawdzenie pracy generatora mini i minipęcherzy powietrza w minikanale o przekroju kwadratowym, wymagało zastosowania specjalnie w tym celu zaprojektowanego stanowiska badawczego, dla którego przewidziano możliwość obserwacji i rejestracji wytworzonych przepływów dwufazowych przy użyciu szybkiej kamery cyfrowej (Rys. 4).

Ciecz transportowano do generatora (8) ze zbiornika (15), za pomocą pompy (7) i rotametrze (12). Zawór w rotametrze służy do ustawienia odpowiednich wydatków cieczy, która następnie trafia



Rysunek 3 Tworzenie się mikro i minipęcherzy w minikanale



Rysunek 4 Schemat stanowiska pomiarowego:

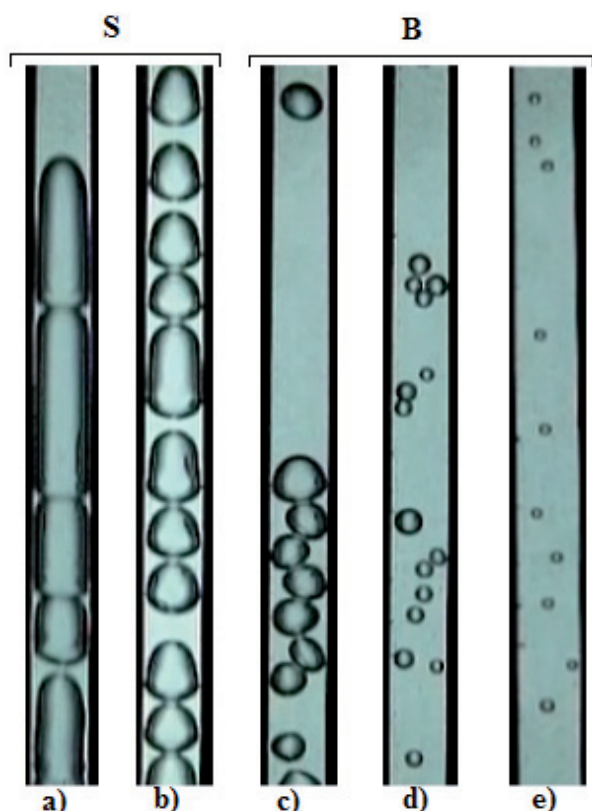
- 1 – minikanal 3x3 mm, 2 – czujnik ciśnienia (MPX12DP), 3 – czujnik laser-fototranzystor, 4 – kamera Casio (EX FX1), 5 – oświetlenie, 6 – sprężarka, 7 – pompa cieczy, 8 – generator mikro i minipęcherzy, 9 – zbiornik powietrza, 10 – zawór redukcyjny, 11 – rotametr gazu, 12 – rotametr cieczy, 13 – zasilacz, 14 – komputerowy system akwizycji danych pomiarowych (DT9800), 15 – zbiornik wody

do generatora (8). Powietrze dostarczano sprężarką (6) poprzez zawór redukcyjny (10) do zbiornika (9). Zbiornik (9) połączono z rotametrem (11) przewodem elastycznym. Za pomocą rotametu (11) regulowano wydatek powietrza, które następnie trafiło do generatora (8). Do minikanalu podłączono czujnik ciśnienia (2) oraz dwa czujni-

ki typu laser-fototranzystor (3). W celu uzyskania lepszej jakości filmu nagranych za pomocą szybkiej kamery (4), wykonano specjalne oświetlenie minikanalu (5). Dane uzyskane z czujnika ciśnienia oraz z laserów rejestrowano przy użyciu stacji akwizycji danych pomiarowych (14).

4. WYNIKI

Podstawowym parametrem oceny struktur przepływu był udział objętościowy obu faz w przestrzeni kanału. Uzyskanie odpowiednich rodzajów struktur odbywało się poprzez regulację strumienia fazy gazowej i fazy ciekłej. Na Rysunku 5 przedstawiono struktury zaobserwowane podczas prowadzenia eksperymentu. Zdjęcia wykonano kamerą do szybkich zdjęć. Dla przepływu pionowego mieszaniny dwufazowej uzyskano następujące rodzaje struktur: korkową (S) oraz pęcherzykową (B). Na Rysunku 5 przedstawiono sklasyfikowane struktury przepływu gaz-ciecz w minikanale.



Rysunek 5 Struktury przepływu dwufazowego uzyskane za pomocą generatora w kanale o wymiarach 3x3 mm a-b) korkowa, c-d) pęcherzykowa, e) mikropęcherzykowa

5. PODSUMOWANIE

Konstrukcja generatora mikro i minipęcherzy pozwala tworzyć przepływ pęcherzykowy i korkowy w minikanale. Wielkości korków podczas przepływu wynoszą 3 mm. Uzyskano je podczas wydatku powietrza 0,00166 i wydatku wody 0,000983 (Rys. 5a) oraz przy wydatku powietrza 0,00155 i wydatku wody 0,000706 (Rys. 5b). Rozmiar pęcherzy zmieniał się, a najmniejszy uzyskany wynosił 0,2 mm, co odpowiadało wydatkowi powietrza 0,000016 i wydatku wody 0,002833 (Rys. 5e). Podczas zwiększenia wartości wydatku powietrza do 0,0066 oraz wydatku wody do 0,0001378 uzyskano pęcherze o rozmiarze 1 mm (Rys. 5d).

Zastosowane rozwiązanie konstrukcyjne:

- pozwala na łatwą modyfikację rozmiarów generowanych pęcherzy poprzez wymianę odpowiednich płyt,
- pozwala na kontrolę wielkości mini i mikropęcherzy,
- umożliwia jego montaż do kanałów o różnych kształtach i rozmiarach.

Generator może służyć również jako mieszalnik różnego typu substancji ciekłych. Zaproponowana konstrukcja generatora, oparta na montażu wielu płyt, pozwala na umieszczenie wielu tego typu generatorów pęcherzy w jednym urządzeniu.

Badania finansowane z grantu NCN; decyzja numer: DEC-2013/09/B/ST8/02850.

Pan mgr inż. Grzegorz Górski jest uczestnikiem projektu „Stypendia dla doktorantów województwa podlaskiego”, współfinansowanego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, Działanie 8.2 Transfer Wiedzy, Poddziałanie 8.2.2 Regionalne Strategie Innowacji, ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego, budżetu państwa oraz środków budżetu województwa podlaskiego.

LITERATURA

- [1] Akbar M. K., Plummer D. A., Ghiaasiaan S. M., On gas-liquid two-phase flow regimes in microchannels. *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 29, 855-865, 2003.
- [2] Zhao L., Rezkallah K. S., Gas-liquid flow patterns at microgravity conditions. *International Journal of Multiphase Flow*, 19, 1993, 751-763.
- [3] Fukano T., Kariyasaki A., Characteristics of gas-liquid two-phase flow in a capillary tube. *Nuclear Engineering and Design*, 141, 1993, 59-68.

- [4] Gregorc J., Zun I., Inlet conditions effect on bubble to slug flow transition in mini-channels. *Chemical Engineering Science*, 102, 2013, 106-120.
- [5] Lee C. Y., Lee S. Y., Pressure drop of two-phase dry-plug flow in round mini-channels: Effect of moving contact line. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34, 2010, 1-9.
- [6] Wongwises S., Pipathattakul M., Flow pattern, pressure drop and void fraction of two-phase gas-liquid flow in an inclined narrow annular channel, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 30, 2006, 345-354.
- [7] Elazhary A. M., Soliman H. M., Two-phase flow in a horizontal mini-size impacting T-junction with a rectangular cross-section, *International Journal of Multiphase Flow*, 42, 2012, 104-114.
- [8] Górski G., Mosdorf R. P., Kompaktowy generator mikro i minipecherzy, Zgłoszenie wzoru użytkowego W.122131, Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej, 2014.