

Mariusz R. RZAŚA

e-mail: m.rzasa@po.opole.pl

Katedra Techniki Ciepłej i Aparatury Przemysłowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole

Identyfikacja przepływu pęcherzyków powietrza za pomocą tomografii optycznej – przegląd metod

Wstęp

Struktury przepływów dwufazowych są bardzo zróżnicowane zarówno pod względem występowania poszczególnych struktur jak i charakteru przepływu, a różnorodność map przepływu świadczy o tym, że niemożliwe jest poprawne wyznaczenie struktury mierząc tylko jeden lub kilka parametrów przepływu, takich jak prędkość mieszaniny, gęstość mieszaniny lub prędkości poszczególnych faz. W literaturze spotyka się wiele prób określania struktur na podstawie wybranych parametrów przepływu jednakże znajduje to zastosowanie jedynie wąskim zakresie, a zastosowanie tej samej metody pomiarowej (bez modyfikacji) jest często niemożliwe.

Można na tej podstawie wysunąć wniosek, że celowe jest poszukiwanie bezinwazyjnych metod pomiarowych które umożliwiają bezpośredni pomiar udziału objętościowego mieszaniny dwufazowej. Metody te powinny umożliwiać wyznaczenie w sposób pośredni podstawowych parametrów przepływu. Wydaje się, że w tym zakresie duże możliwości ma tomografia procesowa. Obecnie dziedzina ta dynamicznie się rozwija, a się tomografy są coraz tańsze. Najczęściej oparte są na metodach elektrycznych, ultradźwiękowych lub optycznych. W niniejszej pracy przedstawiono przegląd metod optycznych w zastosowaniu do badania przepływów gaz – ciecz oraz przeprowadzono badania mające na celu określenie możliwości zastosowania oraz określenia ich przydatności w badaniach przepływu.

Rozwiązania tego typu torują drogę do sparametryzowania przepływów i wyznaczania niektórych parametrów w sposób powtarzalny i znormalizowany, a nie jedynie opartych na obserwacji i subiektywnej ocenie, jak to niejednokrotnie ma miejsce podczas badania przepływów dwufazowych.

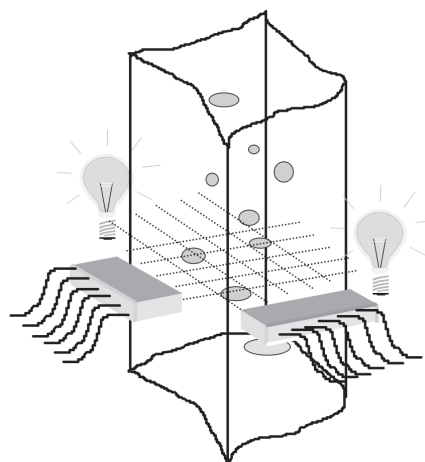
W pracy przedstawiono trzy rozwiązania tomografów optycznych możliwych do zastosowania w badaniu przepływów pęcherzykowych, działających na zasadzie pomiaru wiązki światła prześwietlającego przekrój badany [1]. Omówiono zasady ich działania oraz przedstawiono badania przepływów dwufazowych z ich wykorzystaniem. Opracowanie to pomoże ocenić zakres zastosowania jak i zwraca uwagę na wady i zalety tych rozwiązań.

Tomograf optyczny z wiązką równoległą

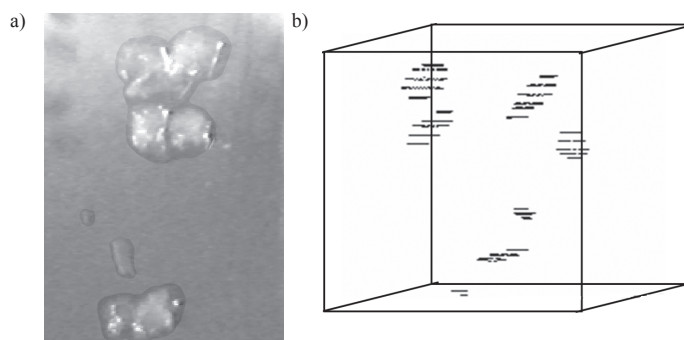
Prześwietlenie równoległą wiązką światła polega na takim skonstruowaniu źródła światła aby promienie świetlne były względem siebie równoległe [2]. Efekt ten można osiągnąć poprzez zastosowanie odpowiedniego układu soczewek lub zastosowanie pakietu nadajników. Niejednokrotnie do tego celu wykorzystuje się odpowiednio uformowany pakiet światłowodów.

Bardzo prostym konstrukcyjnym rozwiązaniem jest tomograf optyczny w którym wykorzystuje się prześwietlenie przekroju badanego z dwóch stron (Rys. 1). Rozwiązanie to posiada jednak ograniczenie, że nie może być stosowane w układach gdzie występuje duże zagęszczenie pęcherzyków. Rekonstrukcja kształtu pęcherzyka polega na przybliżeniu szeregiem elips wpisanych w prostokąt będący rzutem obrazu pęcherzyka na dwie prostopadłe płaszczyzny.

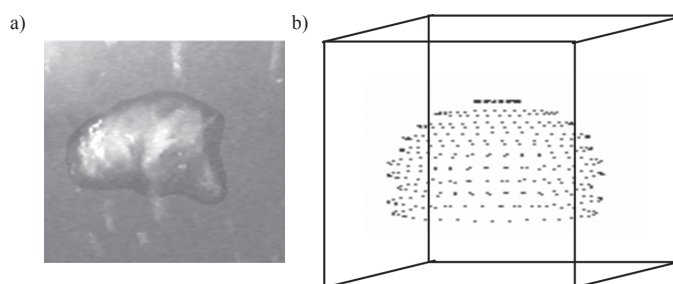
Przykładową rekonstrukcją dla kilku przesłaniających się pęcherzyków przedstawiono na rys. 2. Wyniki można uznać za zadowalające jednakże dla większej ilości jednocześnie przesłaniających się pęcherzyków ich poprawne zrekonstruowanie niejednokrotnie jest niemożliwe.



Rys. 1. Tomograf z prześwietlaniem z dwóch stron



Rys. 2. Przykładowa rekonstrukcja kształtu dla trzech jednocześnie poruszających się pęcherzyków

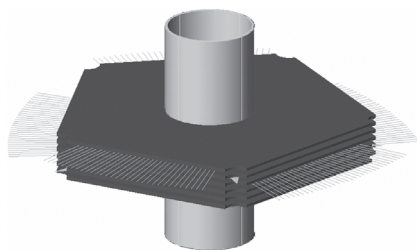


Rys. 3. Rekonstrukcja kształtu dla pęcherzyka o nieregularnym kształcie

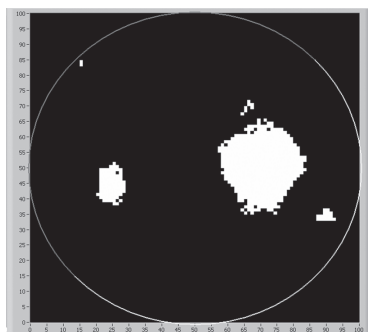
Inną wadą są duże błędy w przypadku rekonstrukcji kształtu pęcherzyka o nieregularnym kształcie (Rys. 3). Im bardziej nieregularny kształt pęcherzyka tym większe są błędy przybliżenia.

Tomograf z wiązką rozproszoną

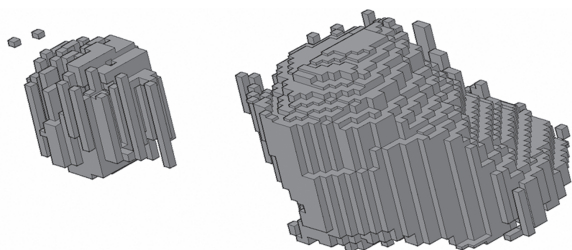
Prześwietlenie rozproszoną wiązką światła jest znacznie łatwiejsze do realizacji technicznej jednakże algorytm rekonstrukcji jest znacznie bardziej złożony (Rys. 4). Rozwiązanie to polega na emitowaniu wiązki z jednego punktowego źródła światła a następnie dokonywaniu detekcji w promieniu pola rozproszenia wiązki [3]. Pozwala ono na uzyskiwanie



Rys. 4. Tomograf z rozproszoną wiązką światła dla pięciu projekcji



Rys. 5. Obraz z tomografu z rozproszoną wiązką światła



Rys. 6. Obraz 3D dwóch poruszających się pęcherzyków

stosunkowo dobrych rezultatów nawet dla struktur w których poruszają się zarówno duże jak i małe pęcherzyki.

Na rys. 5 przedstawiono wyniki rekonstrukcji dla dwóch poruszających się pęcherzyków. Zastosowano algorytm rekonstrukcji obrazu oparty na metodzie macierzowej [1, 5], przy zastosowaniu algorytmu korekty obrazu z opartego na progowaniu [1]. Mapę czułości wygenerowano za pomocą algorytmu ze śledzeniem obszaru ograniczonego wiązką światła [4].

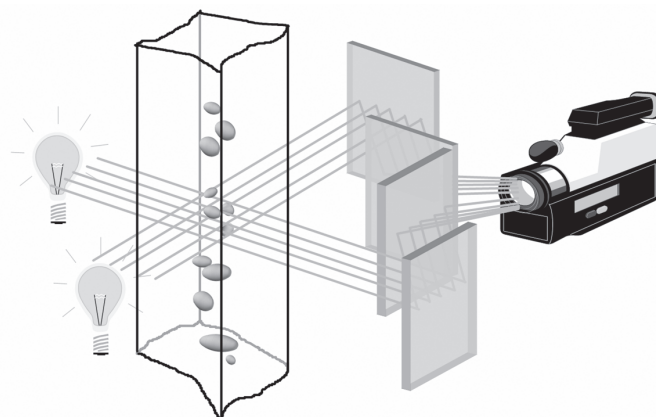
Dla kolejnych sekwencji obrazów z tomografu z wiązką rozproszoną możliwe jest zrekonstruowanie kształtu poruszających się pęcherzyków (Rys. 6). Rekonstrukcja pozwala na uchwycenie nieregularnego kształtu pęcherzyka, a złożenie jego obrazu z elementarnych prostopadłościaków umożliwia łatwe określenie jego objętości.

Tomograf obrazowy

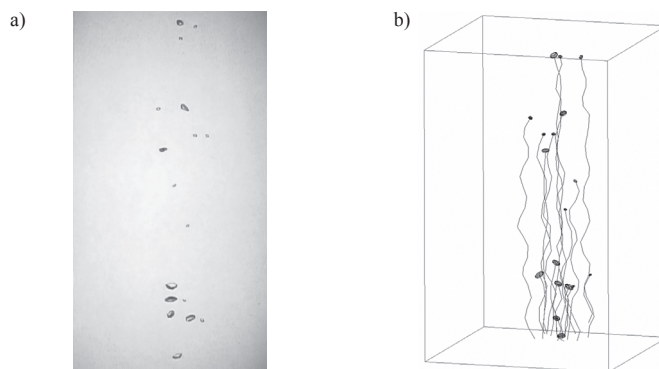
Tomografia obrazowa opiera się na zastosowaniu metody fotograficznej, połączonej z analizą obrazu. W przypadku cyfrowej rejestracji obrazu możliwe jest nie tylko obserwacja przepływu, lecz po poddaniu obrazu cyfrowej analizie można wyznaczyć pewne parametry charakteryzujące przepływ. Metody fotograficzne pozwalają nie tylko na określenie kształtu pęcherzyków czy struktury przepływu, ale również na wyznaczenie prędkości poruszania się pęcherzyków. Wadą tych rozwiązań jest duży nakład obliczeniowy w przypadku przestrzennego odwzorowania kształtu pęcherzyka.

Budowę takiego tomografu przedstawiono na rys. 7. Składa się on z kamery wideo, która rejestruje obraz będący widokiem przekroju badanego przezświetlanego z dwóch prostopadłych kierunków. Jest to możliwe poprzez zastosowanie odpowiedniego układu lusterek [6].

Przeprowadzono przykładowe badania przepływu pęcherzyków w kolumnie aeracyjnej dla strumienia powietrza: 0,001 m³/h (Rys. 8). Rozwiązanie to umożliwia nie tylko zrekonstruowanie wielkości poruszających się pęcherzyków, lecz umożliwia także wyznaczenie trajektorii



Rys. 7. Budowa tomografu obrazowego

Rys. 8. Obraz przepływu pęcherzyków dla strumienia gazu 0,001 m³/h: a) obraz z kamery wideo, b) obraz po rekonstrukcji przestrzennej

rii ruchu pęcherzyków. Metoda ta jest bardzo pomocna w zastosowaniu do badania zjawisk zachodzących podczas ruchu pęcherzyków gazu.

Podsumowanie

Przedstawione rozwiązanie oparte na tomografii optycznej umożliwia pomiar i rekonstrukcję kształtu pęcherzyków poruszających się podczas przepływu dwufazowego. Różne rozwiązania konstrukcyjne umożliwiają dopasowanie metody pomiarowej do potrzeb. Metody o prostej konstrukcji i nie złożonym algorytmie rekonstrukcji obrazu umożliwiają wyznaczenie podstawowych parametrów przepływu z dużą szybkością. Posiadają one jednak pewne ograniczenia co do zagęszczenia pęcherzyków, a wynik jest obciążony pewnymi błędami. Metody oparte na prześwietlaniu wiązką rozproszoną charakteryzują się dobrym odwzorowaniem nawet nieregularnych kształtów pęcherzyka, co może być bardzo istotne w przypadku dokładnego wyznaczenia objętości poruszających się pęcherzyków. Do wyznaczenia trajektorii ruchu jak i wektorów prędkości poruszających się pęcherzyków najlepiej nadaje się tomografia obrazowa, aczkolwiek wymaga ona znacznego nakładu obliczeniowego.

LITERATURA

- [1] M.R. Rząsa: Nuclear Engineering and Design, **239**, nr 4, 699 (2009).
- [2] M.R. Rząsa, A. Piąskowski: Measurement Science and Technology; Institute of Physics Publishing 14, nr 2, (2003).
- [3] M.R. Rząsa, K. Grudzień, R. Przywarski, A. Romanowski, R. Wajman: The Discrete Optical Tomograph Including Five Projections; 5th World Congress on Industrial Process Tomography, Bergen Norway, 2007.
- [4] R. Przywarski, K. Grudzień, A. Romanowski, M.R. Rząsa, R. Wajman: Zesz. Naukowe AGH Kraków, Automatyka, t. 11, z. 3 (2007).
- [5] D. Mewes, R. Renz: Meß- und Rekonstruktionsmethoden für tomografische Messungen; Chemie Ingenieur Technik, **63**, nr 7, 699 (2004).
- [6] J. Chałubiec, M.R. Rząsa: Inż. Ap. Chem. **46**, nr 4-5, 24 (2007).