

Mariusz R. RZAŚA

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

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

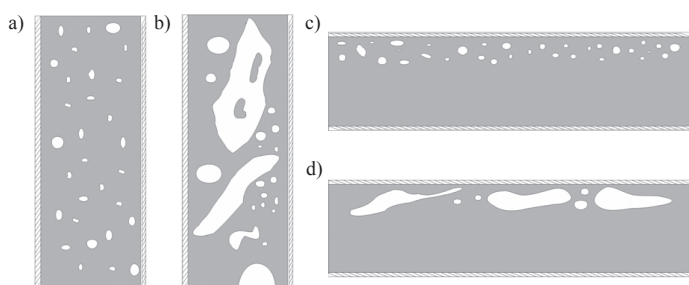
Metoda wyznaczania kształtu pęcherzyków powietrza poruszających się w przepływie dwufazowym gaz – ciecz z wykorzystaniem tomografu optycznego

Wstęp

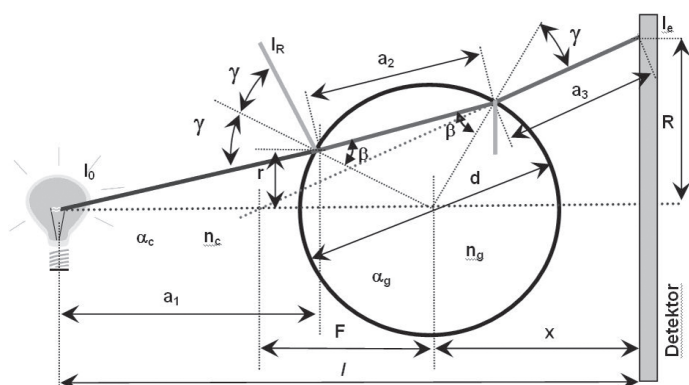
Podczas przepływu dwufazowego gazu i cieczy w rurociągach pionowych i poziomych w zależności od strumieni doprowadzonych faz, a także własności fizykochemicznych obu faz, mogą się pojawić różne struktury przepływu. Niejednokrotnie ocena struktury przepływu odbywa się przez obserwację wizualną w przezroczystym kanale. Ze względu na to, że zakwalifikowanie obserwowanego przepływu do danej struktury jest wysoce subiektywne, uśrednianie rozkładu koncentracji faz w czasie i przestrzeni odbywa się intuicyjnie. W pracy przedstawiono rozwiązanie umożliwiające ocenę przepływu gaz – ciecz za pomocą metody pomiarowej opartej na tomografii optycznej. Pomiar struktury pozwala na zarejestrowanie kształtu poruszających się pęcherzyków a następnie analizę ich wymiarów oraz wyznaczenie parametrów takich jak prędkość poruszania się pęcherzyków i objętość, co może posłużyć do wyznaczenia udziału objętościowego gazu i cieczy. W pracy przedstawiono rozwiązanie pozwalające na pomiar pęcherzyków poruszających się w rurociągach pionowych i poziomych dla struktur pęcherzykowych i spienionych (Rys. 1).

Zasada działania tomografu optycznego

Idea tomografii optycznej oparta jest na zjawiskach optycznych zachodzących na granicy faz. Zasada działania polega na prześwietlaniu badanego przekroju wiązką światła, a następnie pomiarze natężenia światła przechodzącego (Rys. 2). Światło emitowane ze źródła przechodzą



Rys. 1. Struktury przepływu gaz i cieczy rekonstruowane przez tomograf optyczny
a) pęcherzykowa w przepływie pionowym, b) spieniona w przepływie pionowym,
c) pęcherzykowa w przepływie poziomym, d) korkowy w przepływie poziomym



Rys. 2. Idea działania tomografu optycznego

dząc przez przekrój badany ulega częściowej absorpcji zarówno przez gaz jak i ciecz. Ponadto strumień światła po natrafieniu na pęcherzyk gazu ulega na granicy faz odbiciu i rozproszeniu, co powoduje znaczne osłabienie natężenia światła docierającego do detektora.

Dla układu z pojedynczym pęcherzykiem osłabienie wiązki światła wyraża się jako stosunek natężenia promieniowania światła I_e padającego na czujnik do natężenia promieniowania światła emitowanego ze źródła I_0 .

Rozkład pola natężenia światła zależy od geometrii układu, a pęcherzyk gazu można potraktować jak cienką soczewkę, na której następuje załamanie promienia świetlnego z jednoczesnym odbiciem i częściową absorpcją światła, zatem stosunek natężenia światła wyraża się ogólną zależnością [1, 2].

$$\frac{I_e}{I_0} = \delta r \delta b \delta a, \quad (1)$$

gdzie:

δr – współczynnik utraty natężenia z powodu odbicia światła,
 δb – współczynnik utraty natężenia z powodu rozproszenia światła,
 δa – współczynnik utraty natężenia z powodu absorpcji światła.

Wartości poszczególnych współczynników utraty natężenia światła omówiono w pracy [6].

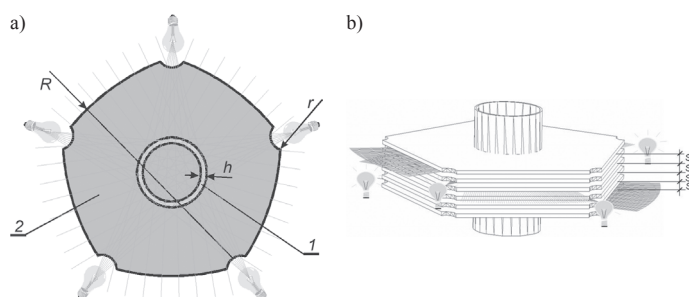
Budowa tomografu optycznego

Prześwietlanie rozproszoną wiązką światła jest znacznie łatwiejsze w realizacji technicznej, jednakże komplikuje to algorytm rekonstrukcji. Polega ono na emitowaniu wiązki z jednego punktowego źródła światła, a następnie dokonywaniu detekcji w promieniu pola rozproszenia wiązki (Rys. 3a).

Prototypowy tomograf został wykonany w oparciu o rurociąg o średnicy 76 mm w stosunku do którego umieszczono 5 źródeł światła. Źródło światła stanowi żarówka o mocy 55W. Żarówki umieszczono w pięciu płaszczyznach względem osi rurociągu (Rys. 3b), co umożliwia wyznaczenie prędkości poruszających się obiektów. Odległość pomiędzy kolejnymi warstwami wynosi 7 mm. Jako detektory wiązki światła zastosowano matrycę 64 fototranzystorów dla każdej z pięciu projekcji.

Ze względu na wzajemne przesunięcie wszystkich projekcji konieczne było opracowanie algorytmu wyznaczania prędkości poruszającego się pęcherzyka, opartego na metodzie korelacji macierzy opóźnień. [5].

Rekonstrukcję obrazu zrealizowano w oparciu o algorytm oparty na metodzie macierzowej [4], gdzie macierz czułości wyznaczono metodą śledzenia obszaru ograniczonego wiązką światła [3].



Rys. 3. Czujnik optyczny o 5 projekcjach: a) budowa, b) widok

Przestrzenna rekonstrukcja kształtu pęcherzyka

Na rys. 4 przedstawiono sekwencję obrazów pochodzących z tomografu optycznego. Na podstawie takich poklatkowych obrazów przepływu możliwe jest zrekonstruowanie kształtu pęcherzyka, a następnie obliczenie jego objętości lub pola powierzchni.

Obraz tworzony przez tomograf optyczny składa się z regularnej siatki, a każda kolejna ramka obrazu jest rejestrowana ze stałym krokiem czasowym. Można więc obliczyć objętość gazu w sposób przedstawiony na rys. 5. Poszczególne pola obrazu mają jednakowy kształt i tę samą objętość. Zatem wyznaczenie objętości w zasadzie sprowadza się do określenia liczby pól zajętych przez gaz i pomnożenie tej wielkości przez objętość jednostkową.

$$V_g = n_g V_j = n_g \left(\frac{D}{N}\right)^2 d_z, \quad (2)$$

gdzie:

V_j – objętość jednostkowa,

D – średnica wewnętrzna tomografu,

d_z – wysokość plastra,

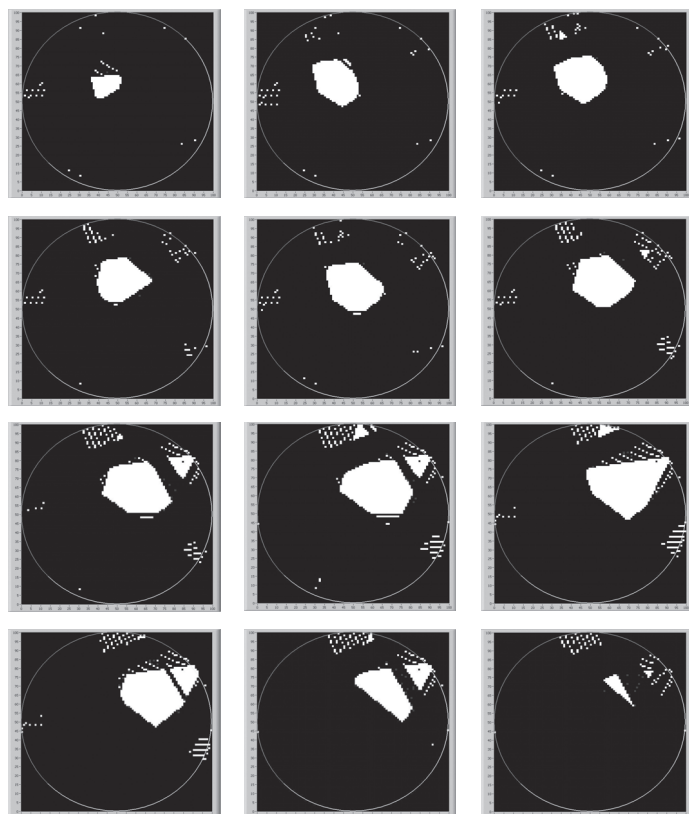
n_g – liczba pikseli obrazu zajęta przez gaz,

N – rozdzielczość obrazu z tomografu.

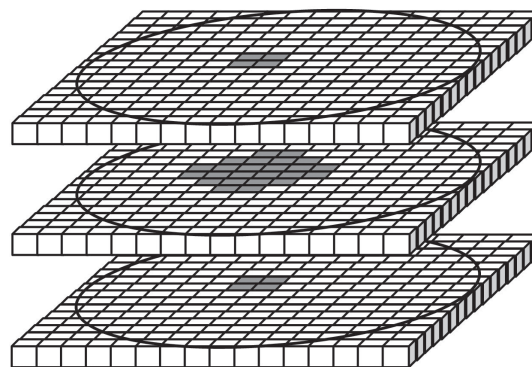
Wyznaczenie odległości d_z następuje na podstawie znajomości prędkości poruszania się gazu. Ponieważ odstęp czasu pomiędzy następującymi po sobie kolejnymi obrazami z tomografu jest znany i stały i stały – wielkość d_z wyznacza się na podstawie zależności:

$$d_z = w_s t_p, \quad (3)$$

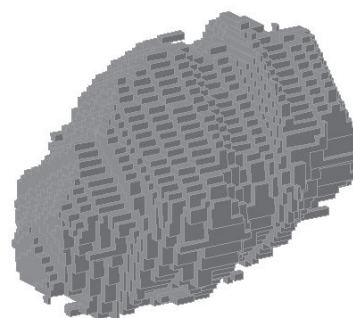
Przykładowo czas próbkowania dla pęcherzyka zmierzonego tomografem optycznym i przedstawionego na rys. 6 wynosi $t_p = 10$ ms, przy czym rozdzielczość obrazu $N = 100$, dla średnicy



Rys. 4. Przykładowe sekwencje obrazów poruszającego się pęcherzyka zmierzone tomografem optycznym



Rys. 5. Idea wyznaczania objętości gazu na podstawie obrazu z tomografu



Rys. 6. Przykładowy przestrzenny obraz pęcherzyka

czujnika $D = 76$ mm, prędkość poruszania się pęcherzyka $w_s = 0,045$ m/s. Pęcherzyk składa się z $n_g = 54183$ elementów, co w konsekwencji prowadzi do wyznaczenia objętości $V_g = 0,000014 \text{ m}^3 = 14 \text{ ml}$.

Podsumowanie

Przedstawione rozwiązanie oparte na tomografii optycznej umożliwia pomiar nawet bardzo małych obiektów umieszczonych w przestrzeni pomiarowej. Możliwe jest rekonstruowanie kształtu poruszających się pęcherzyków oraz obliczenie ich podstawowych parametrów. Zastosowanie dyskretnego przetwarzania sygnałów znacznie upraszcza konstrukcję tomografu, kalibrację czujnika i algorytm rekonstrukcji. Jest to szczególnie istotne w układach, gdzie wymagana jest duża szybkość rejestracji danych. Prototypowy tomograf umożliwia rejestrowanie do 1000 ramek obrazu na sekundę. Zaproponowane rozwiązanie posiadające 5 projekcji wydaje się być optymalne i dalsze zwiększanie liczby detektorów w większości zastosowań może być zbędne.

LITERATURA

- [1] P. Dugdale, R.G. Green, A.J. Hartley, R.G. Jackson, J. Landau: Characterisation of Single Bubbles by an Optical Tomographic System. Conference and Workshop on Process Tomography, Karlsruhe 1993.
- [2] P. Dugdale, R.G. Green, A.J. Hartley, R.G. Jackson, J. Landau: Optical sensors for process tomography; "Tomographic techniques for process design and operation", M.S. Beck et al. Computational Mechanics Publications 1993.
- [3] R. Przywarski, K. Grudzien, A. Romanowski, M.R. Rząsa, R. Wajman: Zesz. Naukowe AGH Kraków, Automatyka, t.11, z.3 (2007).
- [4] M.R. Rząsa: Przegląd Elektrotechniczny, nr 1, 233 (2010).
- [5] 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.
- [6] M.R. Rząsa: Nuclear Engineering and Design, **239**, nr 4, 699 (2009).