

Łukasz Tomczak\*, Joanna Chałubiec\*\*

## **Pomiar parametrów pęcherzy gazu w kolumnie aeracyjnej z wykorzystaniem technik przetwarzania i analizy obrazów**

### **1. Wprowadzenie**

W wielu dziedzinach przemysłu mamy do czynienia z przepływem dwufazowym typu gaz-ciecz. Co więcej powyższy przepływ dwóch różnych struktur pozwala na poprawny przebieg procesu wymiany masy.

Aeracja, czyli napowietrzanie polega na wtłoczeniu pęcherzyków powietrza do wody i ścieków za pomocą różnego typu urządzeń mechanicznych w sposób ciągły. Zjawisko aeracji cieczy ma miejsce w wielu procesach przemysłowych takich jak: reaktory chemiczne, procesy flotacji, odkwaszanie wody oraz biologiczne oczyszczalnie ścieków [1].

Przez pojęcie powierzchni międzyfazowej rozumie się ogół wytworzonych pojedynczych pęcherzy, znajdujących się w cieczy. Jest to również ściśle uwarunkowane z ich kształtem, średnicą, prędkością oraz trajektorią ruchu, co decyduje o pozytywnej wymianie masy [2]. Powierzchnia ta może być zwiększana lub zmniejszana w zależności od wielkości pęcherzy powietrza jak również od ilości tych pęcherzy.

Komory napowietrzania powinny być tak skonstruowane, aby zapewniały odpowiedni czas aeracji, intensywność oraz dobre i stałe mieszanie zawartości komory.

W niniejszym artykule przedstawiono metodę, która dzięki zastosowaniu technik przetwarzania i analizy obrazów [3] pozwala na bezinwazyjne określenie pola powierzchni i objętości pęcherzy gazu w kolumnie aeracyjnej, a więc także na określenie powierzchni międzyfazowej.

### **2. Konfiguracja stanowiska pomiarowego**

System pomiarowy składa się z pionowej, szklanej kolumny aeracyjnej, do której wtłaczane jest powietrze z butli gazowej, układu luster, systemu oświetlenia, kamery CCD

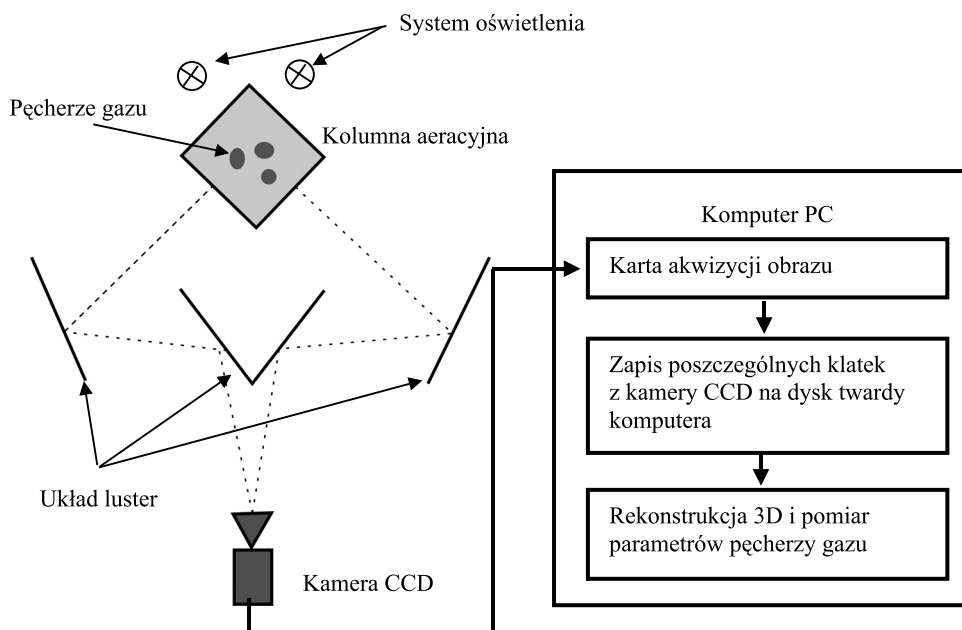
---

\* Katedra Informatyki Stosowanej, Politechnika Łódzka w Łodzi

\*\* Katedra Techniki Ciepłej i Aparatury Przemysłowej, Politechnika Opolska w Opolu

oraz komputera PC wyposażonego w kartę do akwizycji obrazu firmy National Instruments. Schemat systemu został przedstawiony na rysunku 1.

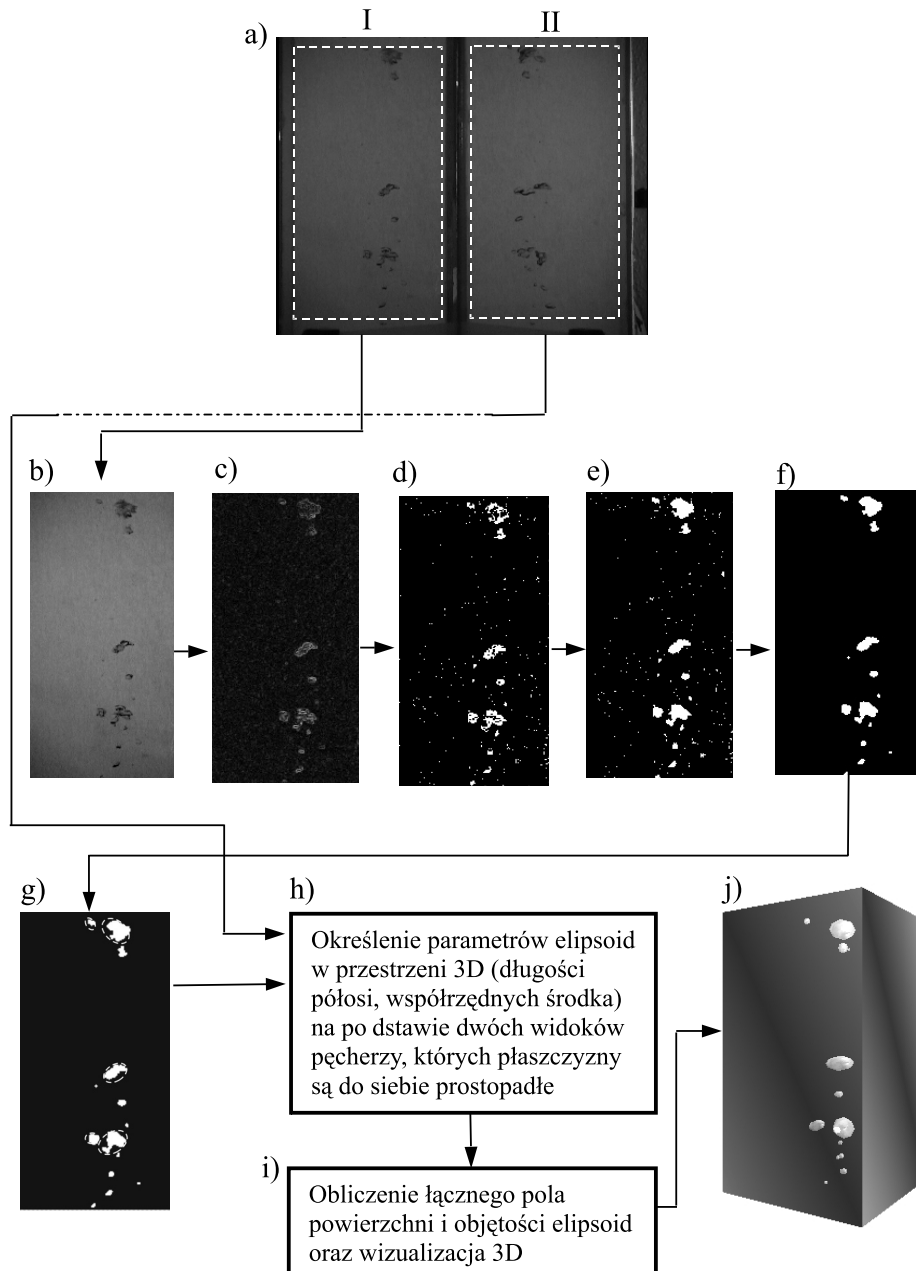
Poszczególne obrazy z kamery CCD trafiają do komputera za pośrednictwem karty do akwizycji obrazu. Ze względu na dużą szybkość przechwytywania i niedostateczną moc obliczeniową komputera obrazy są najpierw zapisywane na dysk twardy. Ich analiza, przez opracowany program komputerowy, następuje dopiero po zakończeniu procesu akwizycji w systemie off-line.



**Rys. 1.** Schemat systemu pomiarowego do rekonstrukcji 3D i pomiaru parametrów pęcherzy gazu w przepływie dwufazowym, znajdujący się w Katedrze Techniki Ciepłej i Aparatury Przemysłowej Politechniki Opolskiej

### 3. Opis metody pomiaru parametrów pęcherzy gazu w przepływie dwufazowym

Dzięki zastosowaniu układu luster poszczególne klatki o rozdzielczości  $720 \times 578$  pikseli (rys. 2a), otrzymane za pomocą kamery CCD, pokazują dwa widoki pęcherzy gazu w przepływie dwufazowym (rys. 2a<sub>I</sub>, 2a<sub>II</sub>), których płaszczyzny akwizycji są do siebie prostopadłe. W pierwszym etapie przetwarzania zostają one wyodrębniane z pojedynczej klatki, a następnie każdy z nich podlega oddzielnej analizie. W kolejnym kroku następuje zwiększenie jasności i kontrastu uzyskanych fragmentów klatki (rys. 2b).



**Rys. 2.** Kolejne etapy algorytmu rekonstrukcji 3D i pomiaru parametrów pęcherzy gazu w przepływie dwufazowym  
Opis w tekście

W celu wyodrębnienia z obrazu krawędzi analizowanych pęcherzy gazu wykorzystano detekcję krawędzi za pomocą filtra Sobela (rys. 2c), a następnie uzyskane obrazy poddano operacji segmentacji z wykorzystaniem progowania z automatycznym doбором progu, w oparciu o dwumodalny charakter histogramu [4] (rys. 2d). Następnie zastosowano morfologiczną operację zamykania oraz wypełnienie dziur [5] w celu pogrubienia krawędzi pęcherzy i usunięcia z nich ewentualnych przerw (rys. 2e). W kolejnym etapie z obrazu usuwane są obiekty o bardzo dużym i małym polu powierzchni, co do których jest pewność, że nie są pęcherzami gazu (rys. 2f).

Następnie w dwóch uzyskanych obrazach binarnych, przedstawiających dwa widoki pęcherzy, wyznaczana jest wysokość i współrzędna  $y$  środka ciężkości każdego pęcherza. Parametry te są wykorzystane jako cechy pozwalające na określenie par odpowiadających sobie pęcherzy w dwóch obrazach o prostopadłych do siebie płaszczyznach akwizycji. Pęcherz gazu z obrazu I jest uznawany za odpowiadający pęcherzowi z obrazu II jeśli jego odległość w przestrzeni cech do pęcherza z obrazu II jest najmniejsza spośród wszystkich dostępnych pęcherzy z obrazu II. Po etapie dopasowywania uzyskuje się tablicę pęcherzy o dwóch prostopadłych do siebie widokach. W kolejnym kroku krawędzie każdego z dwóch widoków pęcherza są aproksymowana elipsą (rys. 2g). Jej parametry takie jak: długości półosi i współrzędne środka są wykorzystane do określenia parametrów elipsoidy służącej do przybliżenia pęcherza gazu w przestrzeni. Ostatecznie prezentowany algorytm dokonuje wizualizacji pęcherzy gazu w przestrzeni 3D z wykorzystaniem elipsoid oraz wyznaczenia ich łącznego pola powierzchni i objętości (rys. 2j).

Pole powierzchni i objętość każdego pęcherza zostają przeskalowane z pikseli na odpowiednie jednostki zgodnie z zależnościami:

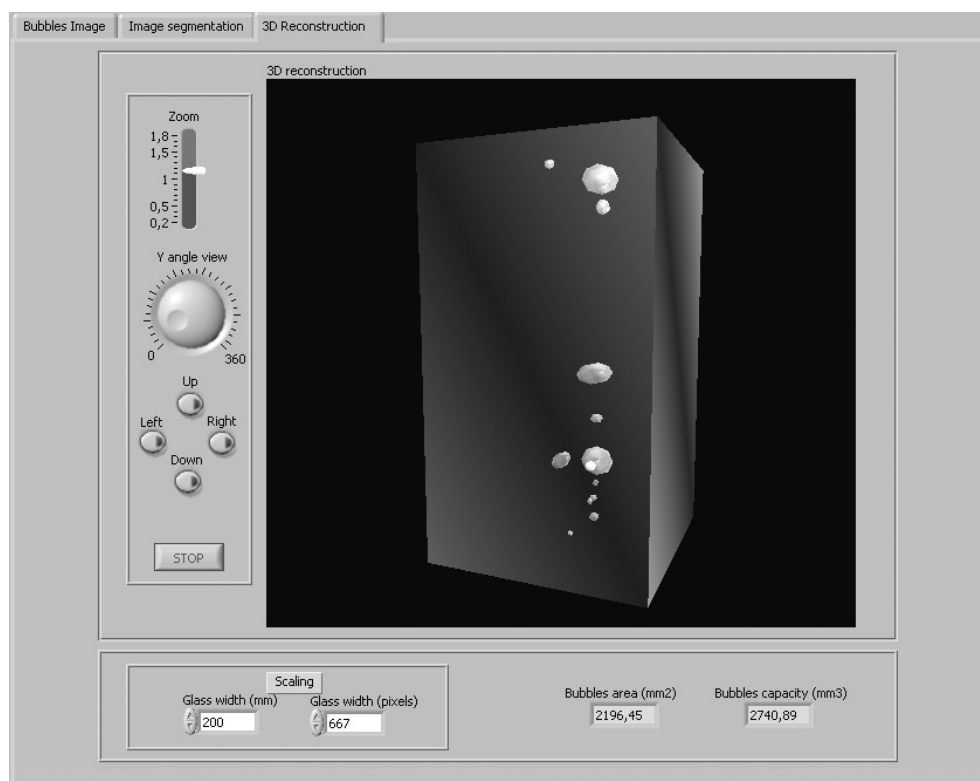
$$P = K \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^2 \quad (1)$$

$$V = L \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^3 \quad (2)$$

gdzie :

- $P$  – pole powierzchni pęcherza gazu w [mm<sup>2</sup>],
- $K$  – pole powierzchni pęcherza gazu w pikselach,
- $V$  – objętość pęcherza gazu w [mm<sup>3</sup>],
- $L$  – objętość pęcherza gazu w pikselach,
- $d$  – szerokość lustra widzianego przez kamerę CCD w [mm],
- $l$  – szerokość lustra widzianego przez kamerę CCD w pikselach.

Prezentowana metoda rekonstrukcji 3D pęcherzy gazu w przepływie dwufazowym oraz pomiaru ich parametrów zaimplementowano przy wykorzystaniu dwóch środowisk Lab-View 7.1 z pakietem Vision oraz Visual C++ 6.0. Ze względu na to, że w środowisku LabView brakowało modułu wizualizacji 3D został on zaimplementowany w kontrolce ActiveX przy wykorzystaniu biblioteki OpenGL, którą następnie wykorzystano w przygotowanym programie. Na rysunku 3 przedstawiono okno wykonanego programu.




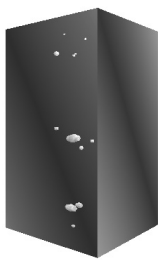

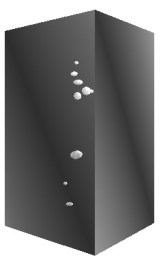
**Rys. 3.** Okno zaimplementowanego programu rekonstrukcji 3D i pomiaru parametrów pęcherzy gazu w przepływie dwufazowym

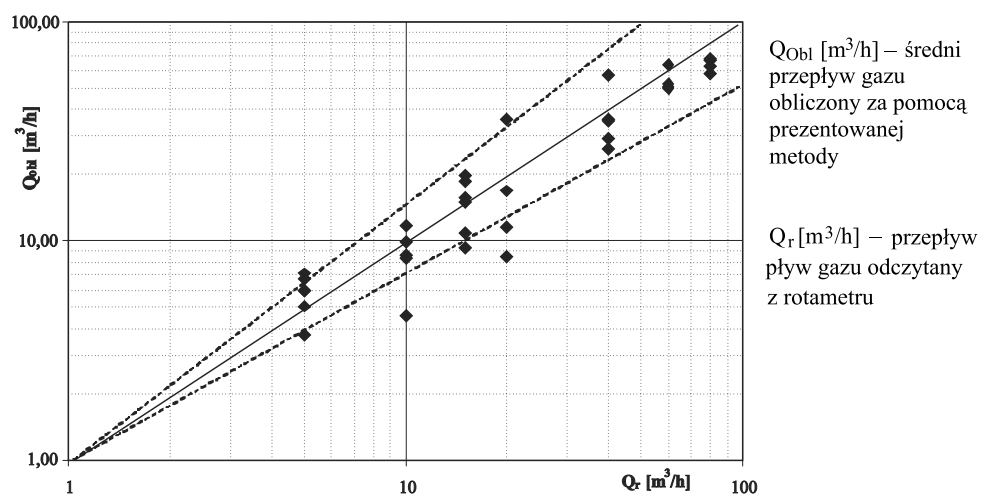
#### 4. Wyniki eksperymentu

W celu przetestowania przedstawiona metoda została wykorzystana do rekonstrukcji 3D i pomiaru parametrów pęcherzy powietrza włączanych do kolumny aeracyjnej. Przykładowe wyniki przedstawiono w tablicy 1.

Dodatkowo porównano wartości pomiarów objętości pęcherzy gazu uzyskanych za pomocą prezentowanej metody z wartościami przepływu strumienia gazu z rotametry. Wyniki przedstawiono na rysunku 4. Z wykresu na rysunku 4 widać, że dla małych przepływów do  $20 \text{ m}^3/\text{h}$  metoda daje zadowalające wyniki, natomiast w przypadku większych ilości grup pęcherzy następuje zaniżanie wyników pomiarowych. Prawdopodobnie może to być spowodowane wzajemnym przesłanianiem się badanych pęcherzyków gazu, co w konsekwencji prowadzi do utraty informacji o rzeczywistej objętości gazu w przestrzeni pomiarowej.

**Tablica 1**  
Przykładowe wyniki rekonstrukcji i pomiaru parametrów pęcherzy gazu

Obraz z kamery CCD	Rekonstrukcja	Pole powierzchni pęcherzy gazu [mm <sup>2</sup> ]	Objętość pęcherzy gazu [mm <sup>3</sup> ]
		767,6	582,3
		928,0	718,0



**Rys. 4.** Porównanie przepływów obliczonych i odczytanych z przyrządu pomiarowego

## 5. Wnioski

W niniejszym artykule zaproponowano nową metodę pomiarową pozwalającą na wyznaczenie pola powierzchni, objętości badanych pęcherzy gazu w kolumnie aeracyjnej, jak również obliczenie udziału objętościowego gaz-ciecz.

Przeprowadzono szereg badań testowych mających na celu oszacowanie zakresu stosowalności przedstawionego podejścia, które wykazały że dla małych przepływów daje ono zadowalające wyniki. Ze względu na pewną utratę danych będących rezultatem przybliżania pęcherzy gazu elipsoidami, która ma szczególnie duże znaczenie podczas szybkich przepływów, dalszym etapem prac będzie korekta i ulepszenie powyżej metody.

## Literatura

- [1] Chang M.Y., Morsi B.: *Solubilities and Mass Transfer Coefficients of Carbon Monoxide in a Gas-Inducing Reactor Operating With Organic Liquids Under High Pressures and Temperatures*. Chemical Engineering Science, nr 13/14, 1992
- [2] Orzechowski Z., Prywer J., Zarzycki R.: *Mechanika płynów w inżynierii środowiska*. Warszawa, WNT 1997
- [3] Jahne B.: *Digital image processing*. Berlin, Springer 2002
- [4] Malina W., Ablameyko S., Pawlak W.: *Podstawy cyfrowego przetwarzania obrazów*. Warszawa, Exit 2002
- [5] Tadeusiewicz R., Korohoda P.: *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*. Kraków, Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji 1997