

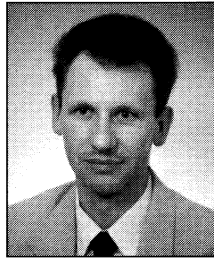
Mariusz R. RZĄSA

POLITECHNIKA OPOLSKA
KATEDRA TECHNIKI CIEPLNEJ I APARATURY PRZEMYSŁOWEJ

Pomiar kształtu pęcherzy powietrza metodą optyczną

Mgr inż. Mariusz R. RZĄSA

– absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Opolskiej o specjalności Automatyka i Metrologia. Zatrudniony w Katedrze Techniki Ciepłej i Aparatury Przemysłowej Politechniki Opolskiej oraz w Zespole Szkół Elektrycznych w Opolu. Zajmuje się pomiarami przepływów dwufazowych i tomografią procesową.



Streszczenie

W pracy przedstawiono stanowisko badawcze do pomiaru parametrów aeracji cieczy w pionowej kolumnie. Jednym z ważnych parametrów jest kształt i wielkość pęcherzyków powietrza. W artykule zaproponowano pomiar kształtu metodą optyczną. Wykorzystano metodę prześwietlania kolumny jednorodną wiązką światła, a następnie detekcję promienia świetlnego. Przedstawiono wyniki pomiaru kształtu pęcherzyków oraz dokonano analizy niepewności pomiaru.

Abstract

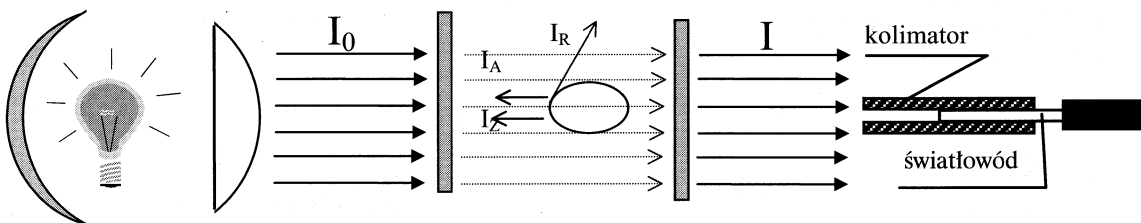
A test stand for measurements of parameters of liquid aeration has been described in the paper. Shapes and sizes of air bubbles belong to the most important parameters. The author proposed the optical method for the shape measurement. The method consists in sending a uniform light beam through the column and next detection of the light ray. The paper contains the method description and the results of experiments. The paper contains the results of measurement of bubble shape and analysis of errors.

Wstęp

Zjawisko aeracji ma zastosowanie w wielu procesach przemysłowych, a w szczególności przy napowietrzaniu cieczy. Można tu wymienić biologiczne oczyszczalnie ścieków, reaktory chemiczne oraz wszelkiego rodzaju natleniacze i mieszalniki. Jednym z podstawowych zagadnień technologicznych jest określenie intensywności cyrkulacji cieczy mające bezpośredni wpływ na wymianę masy [1,2]. Cyrkulacja z kolei jest związana z ilością, wymiarami i kształtem pęcherzyków. Do pomiaru tych wielkości opracowano oryginalną metodę pomiarową, prezentowaną w niniejszym artykule.

Idea metody

Metoda optyczna polega na prześwietlaniu badanego przekroju jednorodną wiązką światła a następnie detekcji natężenia światła przechodzącego przez ciecz z poruszającymi się pęcherzykami (rys.1).



Rys. 1. Rozkład składowych natężenia światła prześwietlającego kolumnę

Światło emitowane ze źródła, przechodząc przez kolumnę z cieczą, ulega częściowej absorpcji przez płyn. Jednakże w przypadku natrafienia na pęcherzyk strumień światła ulega dodatkowo rozkładowi na kilka składowych. Jest to przyczyną znacznego osłabienia natężenia światła docierającego do detektora. Miarą tego osłabienia jest estymacja E [3]. Spadek natężenia światła poniżej wartości granicznej dla promienia przechodzącego przez ciecz stanowi informację o obecności pęcherzyka w przekroju pomiarowym. Odtworzenie kształtu i pozycji pęcherzyka odbywa się na drodze numerycznego algorytmu rekonstrukcji obrazu.

$$E = \lg \frac{I_0}{I} = \lg \frac{I + I_R + I_Z + I_A}{I} \quad (1)$$

gdzie:

I_0 - natężenie wiązki światła emitowane ze źródła

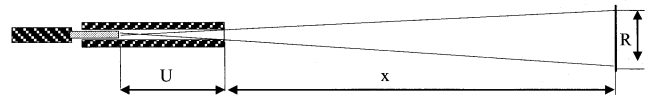
I - natężenie wiązki światła odebrane przez detektor

I_R - natężenie wiązki światła rozproszonej przez pęcherzyk

I_Z - natężenie wiązki światła odbitej od pęcherzyka

I_A - natężenie wiązki światła zaabsorbowanej przez pęcherzyk

Detektory zostały zbudowane ze światłowodów umieszczonych w tulejkach kolimacyjnych. Zastosowanie tulejki kolimacyjnej powoduje zmniejszenie kąta aperturowego (rys.2). Dobiera się ją w taki sposób, aby średnica pola widzianego przez światłowód na końcu kolumny nie była większa od odległości pomiędzy kolejnymi czujnikami. Zapewnia to zachowanie żądanej rozdzielczości w całym przekroju badanym.



Rys. 2. Kąt aperturowy detektora

Długość tulejki kolimacyjnej U dla zadanej rozdzielczości oblicza się na podstawie wzoru:

$$U > \frac{2rx}{R-r} \quad (2)$$

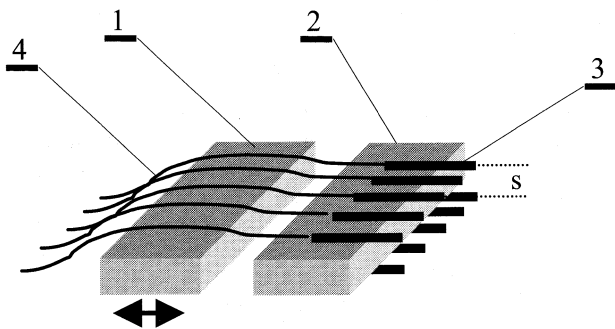
gdzie:

r - średnica światłowodu,

x - szerokość kolumny z cieczą,

R - zadana rozdzielczość.

Ponieważ zjawiska odbicia i załamania są uzależnione od długości fali świetlnej, wskazane jest zastosowanie źródła światła monochromatycznego lub o stosunkowo wąskim widmie emisyjnym. W celu uzyskania jednolitej wiązki konieczne jest zastosowanie układu optycznego.

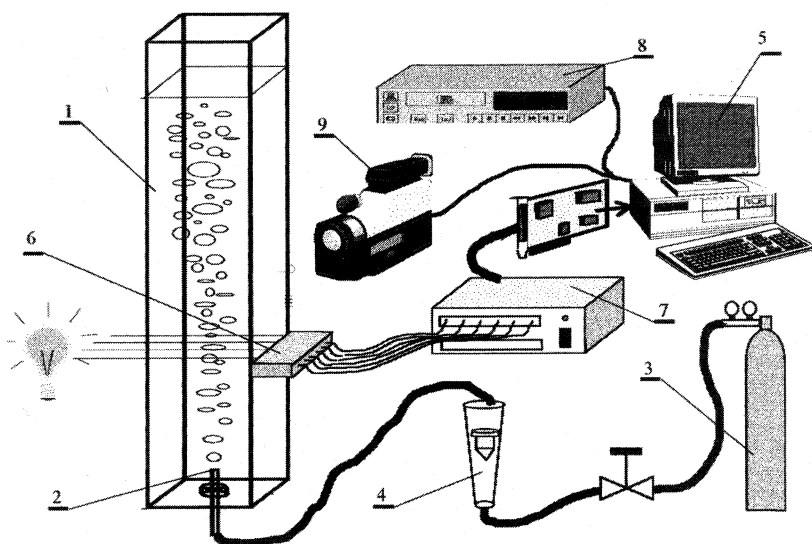


Rys. 3. Budowa detektora

Detektor składa się z dwóch równolegle ułożonych warstw czujników światłowodowych (rys. 3). Umożliwia to pomiar prędkości pęcherzyka poruszającego się w cieczy [4]. Płytkę 2 jest nieruchoma i służy do mocowania detektora do konstrukcji nośnej kolumny. Na niej są zamocowane tulejki kolimacyjne 3, w które włożone są końcówki światłowodów 4. Światłowody zamocowane są na płytce ruchomej 1. Regulując odległością pomiędzy płytkami jednocześnie zmienia się długość szczeliny kolimacyjnej.

Stanowisko badawcze

Do celów badawczych skonstruowano kolumnę aeracyjną w taki sposób aby było możliwe przeprowadzenie badań dla różnych natężeń przepływu gazu oraz przy zmiennej wysokości słupa cieczy (rys.4.). Podstawowym elementem jest pionowa szklana kolumna 1 o wymiarach $0.2 \times 0.2 \times 1.5$ m, wypełniona cieczą. W dnie kolumny znajduje się wymienna dysza 2 przez którą zostaje wprowadzane powietrze. W celu zapewnienia niezmienności parametrów wprowadzanego gazu (ciśnienie i temperatura), jako źródło sprężonego powietrza zastosowano butlę

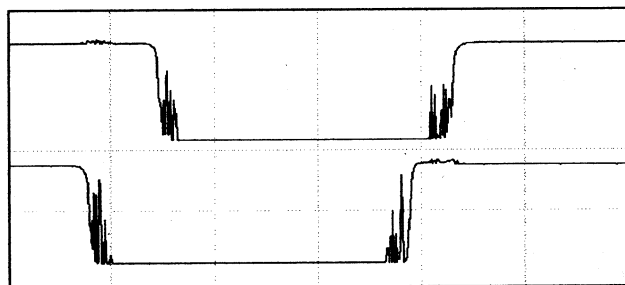


Rys. 4. Schemat stanowiska badawczego

gazową 3 z reduktorem. Strumień powietrza mierzono rotametrem 4. Akwizycja danych jest prowadzona na komputerze 5 wyposażonym w kartę pomiarową. Sygnały pomiarowe z detektorów 6 wzmocniono i ukształtowano w przetworniku pomiarowym 7. Dodatkowo stanowisko wyposażono w tor pomiarowy do rejestracji obrazu. Składający się z kamery przemysłowej 9 o czasie otwarcia migawki $1/10000$ s. połączonej z magnetowidem 8 i komputerem wyposażonym w kartę video.

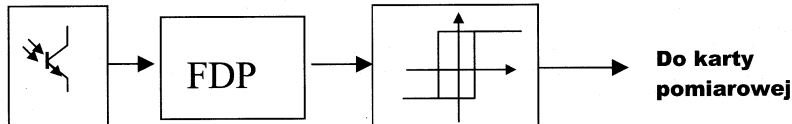
Jako źródło światła zastosowano żarówki halogenowe o mocy 150 W emitujące światło o długości fali $\lambda=580$ nm. Żarówki umieszczone w ognisku zwierciadła wklęsłego skierowanego na układ soczewek w celu uzyskania jednolitej wiązki światła.

Sygnał pomiarowy uzyskiwany z czujnika posiada znaczne zakłócenia (rys. 5.). Zakłócenia są spowodowane rozmywaniem się brzegów krawędzi oraz drganiem powierzchni pęcherzyka. W celu



Rys. 5. Typowe przebiegi czasowe sygnału pochodzące z czujników

znielowania wpływu zakłóceń zastosowano przetwornik pomiarowy, którego zadaniem jest dopasowanie do standardu TTL. Schemat blokowy przetwornika przedstawiono na rys. 6. Składa się



Rys. 6. Schemat blokowy przetwornika pomiarowego

on z fototranzystora który zamienia sygnał świetlny na elektryczny. W celu wyeliminowania zakłóceń zastosowano filtr dolnoprzepustowy, a następnie przerzutnik Schmitta formujący sygnał. Dane są gromadzone w komputerze za pomocą 96 bitowej karty pomiarowej.

Metodyka pomiaru

Opisanie kształtu pęcherzyka polega na przybliżeniu za pomocą szeregu walców (rys. 7a). Między płaszczyznami π_1 i π_2 odległymi od siebie o h_i znajduje się pas sferyczny. Objętość tego pasa można określić przybliżając go walcem eliptycznym o średnicy podstawy $d_{x(i)}$, $d_{y(i)}$ i wysokości h_i . Całkowita objętość pęcherzyka jest sumą objętości walców eliptycznych składających się na pęcherzyk [5] (rys. 7b):

$$V_w = \sum_{i=1}^N V_i = \frac{h_i \pi}{4} \cdot \sum_{i=1}^N d_{x(i)} d_{y(i)} \quad (3)$$

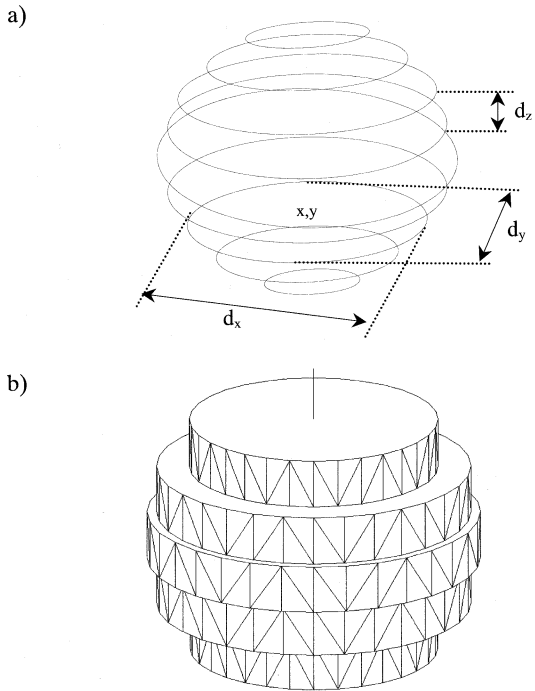
gdzie:

V_i - objętość elementarna,

$d_{x(i)}$, $d_{y(i)}$ - średnice elipsy w przekroju poprzecznym,

h_i - wysokość elementarna,

N - liczba objętości elementarnych.



Rys. 7. Przybliżenie kształtu pęcherzyka, a) idea metody, b) kształt pęcherzyka po przybliżeniu

Dokładność wyznaczenia średnic $d_{x(i)}$, $d_{y(i)}$ jest uzależniona jedynie od rozdzielczości detektorów i jakości toru optycznego. Wyznaczenie wysokości h_i jest bardziej złożone i polega na określeniu drogi przebytej przez pęcherzyk pomiędzy kolejnymi pomiarami. Wielkość ta jest uzależniona od prędkości poruszania się pęcherzyka oraz od czasu próbkowania t_p :

$$a = v \cdot t_p \quad (4)$$

gdzie:

v – prędkość pęcherzyka, t_p – czas próbkowania.

Prędkość pęcherzyka obliczona jest na podstawie przebiegów czasowych zarejestrowanych na dwóch czujnikach usytuowanych jeden nad drugim. Znając odległość pomiędzy czujnikami s oraz przesunięcie czasowe sygnałów spowodowane przejściem pęcherzyka od jednego czujnika do drugiego, można wyznaczyć prędkość pęcherzyka na podstawie zależności:

$$v = \frac{s}{n \cdot t_p} \quad (5)$$

gdzie:

n – liczba taktów zegara,

t_p – czas próbkowania.

Ilość taktów zegara została określona metodą korelacyjną, poprzez określenie liczby n dla której wartość funkcji korelacji osiąga wartość maksymalną:

$$K_{\max} = \sum_{n \rightarrow N} \sum_{i=0}^{N-n} d_i^1 \cdot d_{i+n}^2 \quad (6)$$

gdzie:

n – liczba taktów zegara,

d^1 – dane pomiarowe pochodzące od czujnika dolnego,

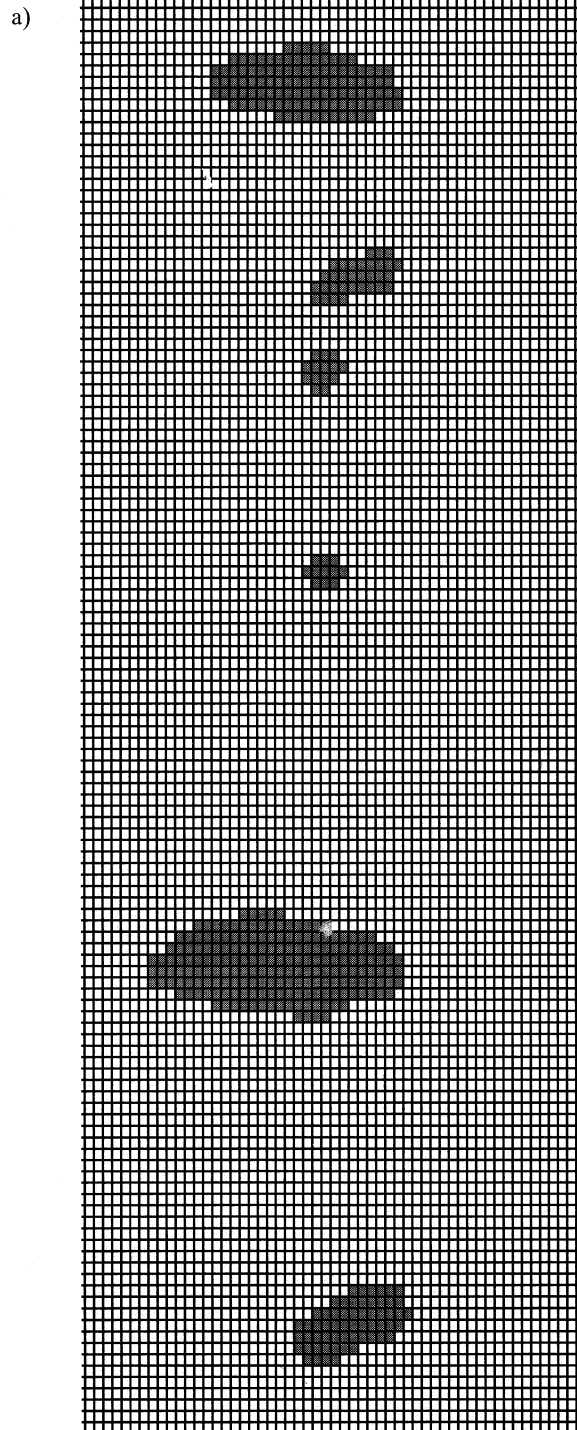
d^2 – dane pomiarowe pochodzące od czujnika górnego,

N – liczba próbek.

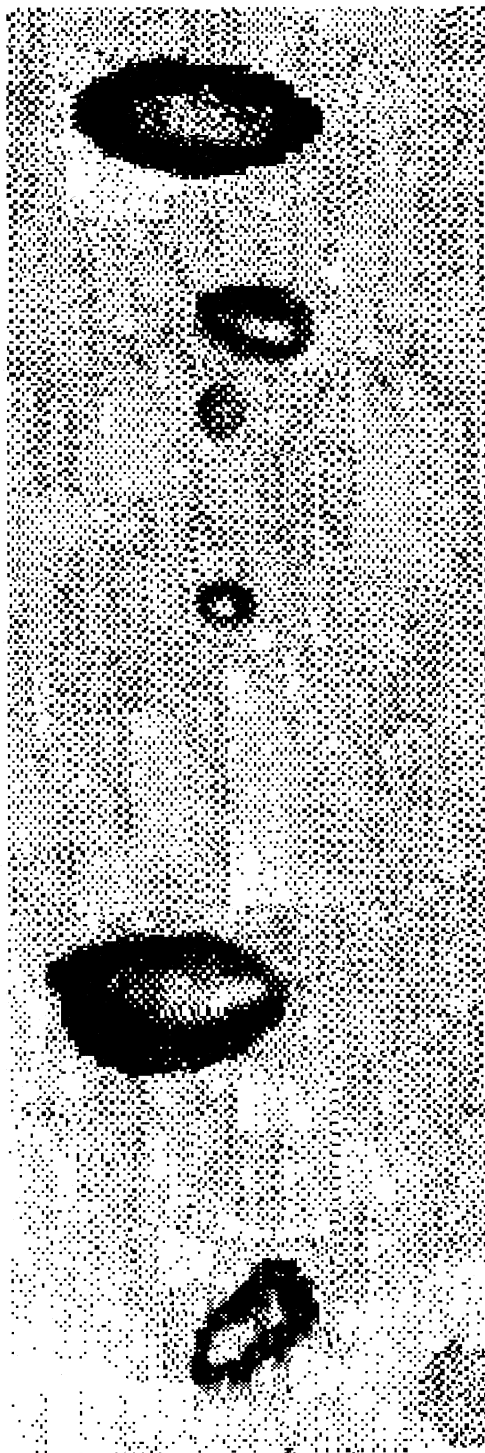
Wyniki badań

W celu wywzorcowania stanowiska przeprowadzono pomiar kształtu kul szklanych o znanych wymiarach. Jako wzorec kształtu użyto kul szklanych o średnicy 24, 16 i 10 mm, które wrzucano do wody. Układ ustawiono tak, aby dla rozdzielczość detektora wynosiła 1mm, a sumaryczny błąd toru optycznego był mniejszy od 1mm [6].

Przeprowadzono pomiar kształtu pęcherzyków powietrza poruszających się w kolumnie z cieczą (rys. 8a). Wyniki pomiaru porównano z obrazem tych samych pęcherzyków zarejestrowanym za pomocą kamery video (rys. 8b). Wyniki badań przedstawiono w skali 1:1. Wymiary pęcherzyków zarejestrowane za pomocą kamery video są nieco większe od wymiarów otrzymanych w wyniku rekonstrukcji,



b)



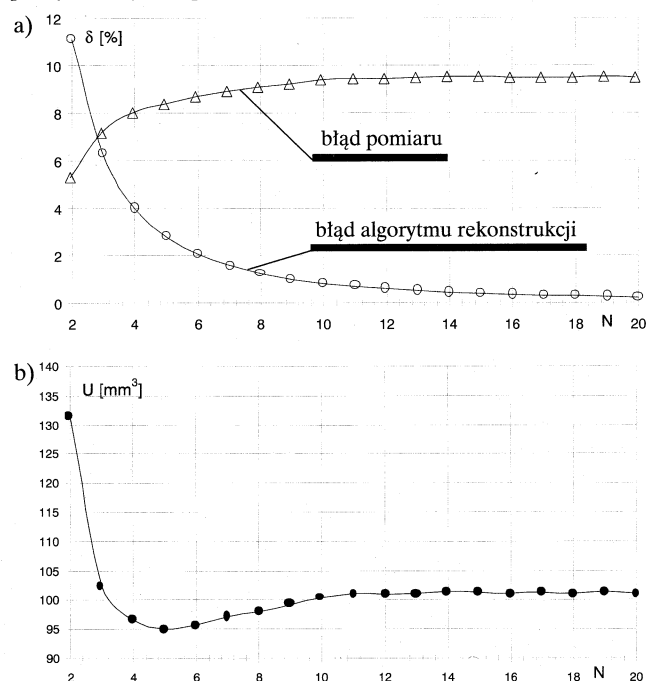
Rys. 8. Obrazy pęcherzyków powietrza, a) zarejestrowany metodą optyczną, b) zarejestrowany kamerą video

jest to spowodowane zniekształceniami wprowadzonymi przez obiektyw kamery. Na rysunku dostrzegalne są pewne niejednorodności (ułożenie przestrzenne oraz kształt pęcherzyków różni się pomimo tego, że jest to ten sam pęcherzyk). Powodem tego jest różnica w sposobie rejestracji obrazów. Obraz z kamery video pochodzi z jednej chwili czasowej (stop klatka). Rejestracja z użyciem detektora odbywa się w jednym wybranym przekroju, gdzie próbkowane są tylko pewne fragmenty przepływających pęcherzyków. Zatem dla pęcherzyków znajdujących się u góry rysunku obserwujemy największe różnice, ponieważ różnica czasu jest największa.

Podsumowanie

Zaprezentowana metoda pozwala na otrzymanie przestrzennego rozkładu pęcherzyków. Zaletą zaproponowanej metody jest bezinwazyjność oraz możliwość zastosowania w badaniach aeracji zachodzącej w aparatach chemicznych, nawet o znacznych wymiarach. Zakres stosowalności odnosi się jedynie do cieczy przezroczystych dla określonej długości fali świetlnej.

Na niepewność pomiaru składa się błąd zastosowanej metody numerycznego przybliżenia kształtu oraz niepewność pomiaru poszczególnych parametrów. Na rys. 9 przedstawiono błąd i niepewność dla pomiaru kuli szklanej o objętości 523.6 mm³. Błąd metody numerycznej zmniejsza się wraz ze zwiększaniem liczby próbek (rys. 9a). Jednakże zwiększanie liczby próbek prowadzi do zwiększenia błęd pomiaru, co z kolei jest niekorzystne. Na rys. 9b przedstawiono zależność niepewności określenia objętości pęcherzyka od liczby próbek. Na tej podstawie można dobrać częstotliwość próbkowania w taki sposób, aby liczba próbek przypadająca na jeden pęcherzyk zawierała się w granicach od 4 do 6.



Rys. 9. Rozkłady błędów i niepewności określenia objętości pęcherzyka, a) błędy metody numerycznej w zależności od liczby próbek, b) niepewność określenia objętości dla rozkładu normalnego i przedziału ufności 95%

Literatura

- [1] H. FOGT, W. HÄFNER: Application of Two-phase Modelling to the Time Dependent Flow in a Gas-stirred Ressel; ASME 1996. FED-Vol.236. Volume 1,
- [2] Y. MURAI, Y. MATSUMOTO; Numerical Simulation of Turbulent Bubble Plumes Using Eulerian-lagrangin Bubbly Flow Model Equations; ASME 1996. FED-Vol. 236.
- [3] J. KOSZEWSKI, B. SAWICKI, W. ZARĘBSKI: Fotometryczny monitor stężenia pyłów w gazach odlotowych; Pomiary Automatyka Kontrola 2,1991r.
- [4] M.R. RZAŚA, J. WYDRYCH; Pomiary prędkości i wielkości pęcherzyków powietrza w kolumnie cieczy metodą optyczną; Materiały XXVIII MKM'96, Częstochowa 23-25 września 1996 r.
- [5] M.R. RZAŚA, B. DOBROWOLSKI: Evaluation of Accuracy of Reconstruction of Air Bubbles Shape in The Computer-Assisted Optical Tomograph for Tests of Liquid Aeration, 1st International Symposium on Process Tomography in Poland, Jurata 2000 r.
- [6] M.R. RZAŚA: Analiza błędów w pomiarze kształtu pęcherzyków powietrza, Materiały XXX MKM'98, Szczecin-Międzyzdroje, 2-4 września 1998 r.