

OPTYCZNA WIZUALIZACJA PRZEPŁYWU PŁYNU – METODA ANEMOMETRII OBRAZOWEJ DPIV

ŚLEZIAK Mariusz, RP

Abstract

The results of flow visualization and digital image processing methods allowed to obtain detailed conclusions about the hydrodynamics of two-phase flow. Optical techniques of measurement, based on correlation algorithms, allow accurate determination of flow parameters. Quantitative measurements of flow and turbulence characteristics are obtained using DPIV.

Keywords: flow visualization, particle image velocimetry (PIV)

1 Introduction

Eksperymentalna wizualizacja przepływu ma długą historię i obecnie dostępny jest szeroki wybór technik wizualizacji przepływu płynu. [Merzkirch 1987] zaprezentował przegląd fundamentalnych technik dla wizualizacji przepływu oraz zastosowań tych technik w różnych dziedzinach techniki. [Merzkirch 1987], wyróżnił trzy podstawowe typy wizualizacji:

- wizualizacja z użyciem technik optycznych,
- wizualizacja z użyciem znacznika dodawanego do przepływu,
- wizualizacja poprzez dostarczanie ciepła i energii.

Techniki optycznej wizualizacji przepływu są oparte na efekcie zmiany gęstości spowodowanej zmianą współczynnika załamania światła. Techniki te są stosowane tylko wtedy gdy gęstość płynu nie jest stała. Wyróżniamy trzy podstawowe techniki: cieniowe, smugowe oraz interferometrię. Najprostsza z nich jest technika widmowa. Wykresy widma są wytwarzane przez przechodzącą równoległą wiązkę światła przez poruszający się płyn. Zmiany gęstości będą powodować odbicie części promieni światła. Jeśli wiązki światła są skoncentrowane na fotograficznej kliszy, odbicie wiązek światła w ciemnym jasnym obszarze.

Do metod optycznej wizualizacji przepływu zaliczamy technikę wizyjną, która polega na rejestracji obrazu przepływu przez szybką kamerę cyfrową z matrycą CMOS o wysokiej częstotliwości rejestracji obrazu oraz rozdzielczości. W badaniach przepływu zastosowano do rejestracji sekwencji obrazów przepływu technikę wizyjną i w związku z tym szczegółowo omówiono wizualizację z wykorzystaniem techniki wizyjnej. Wizualizacja przepływu jest jednym z wielu ważnych eksperymentalnych narzędzi pozwalających studiować przepływ płynu oraz wymianę ciepła. Jest to obiektywna metoda, która czyni, że przepływ i pole temperatura są zwykle widoczne pod pewnym względem (wiele mediów jest przezroczystych, tak więc ruch i temperatura są niewidoczne dla oka).

Metody wizualizacyjne oraz przetwarzania obrazu są dodatkowym narzędziem w badaniach eksperymentalnych przepływu zarówno w obiektach rzeczywistych, jak i w ich modelach, a ponadto mogą stanowić weryfikację doświadczalną badań numerycznych. Mogą być one podstawą do oceny skuteczności działania oraz optymalizacji urządzeń i instalacji, przepływowych.

2 Metoda anemometrii obrazowej DPIV

Metoda DPIV (*ang. Digital Particle Image Velocimetry*) z wykorzystaniem cząstek znacznikowych, pozwala na wyznaczenie wektorów prędkości przepływającego płynu metodą korekcji obrazu. Zastosowanie cząstek znacznikowych umożliwia obserwację przepływu oraz zachowania się warstw płynu. Przemieszczenie cząstek znacznikowych w płynie jest funkcją prędkości cieczy co pozwala odnajdując przemieszczenia cząstek na analizowanych obrazach

wyznaczyć z ich pomocą wektory prędkości unoszącej ich cieczy. Właściwe założenia dla metody PIV, [Adrian 1991]:

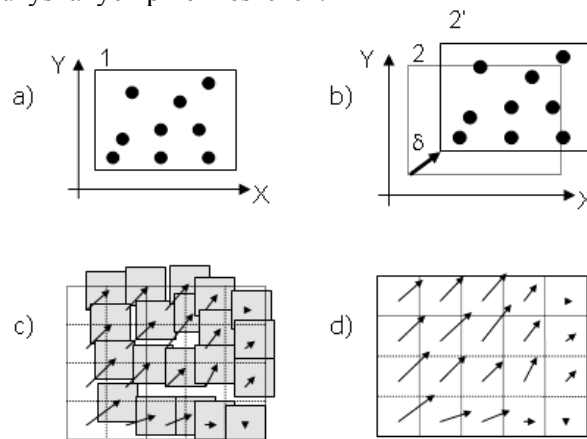
1. Cząstki znacznikowe płyną zgodnie z ruchem płynu,
2. Cząstki znacznikowe są rozmieszczone równomiernie,
3. Jednolite przemieszczenie wewnątrz sekcji obrazu.

Obrazami przepływu cieczy są kolejne klatki filmu rejestrowanego cyfrową kamerą wideo CCD i zapisywanego na dysku twardym komputera. Obrazy powstają w dwuwymiarowych przekrojach pola przepływu. Dla znalezienia przemieszczania się cząstek poszukiwana jest funkcja korelacji (splotu) obrazów położeń cząstek dla dwóch kolejnych rejestracji.

DPIV jest techniką, która pozwala na znalezienie wektorów prędkości przepływającego płynu metodą korelacji obrazów. Tymi obrazami są kolejne klatki z zarejestrowanej sekwencji przepływu. Metoda wymaga zastosowania w obszarze przepływu specjalnych cząstek znacznikowych, które odpowiednio dobrane, zachowują się jak cząstki płynu. Właśnie przemieszczenia tych traserów są podstawą do wyznaczania wektorów prędkości.

Dla znalezienia przemieszczeń cząstek poszukiwana jest funkcja korelacji obrazów położeń cząstek dla dwóch kolejnych klatek. Poszukiwanie przemieszczeń oraz przeliczanie ich na wektory prędkości odbywa się wg rysunku (rys. 1):

- podział analizowanych obrazów na sekcje,
- znalezienie przemieszczenia sekcji obrazu 2 względem obrazu 1 metodą korelacji,
- uwzględniając współczynniki skali i czas między rejestracją obu obrazów 1 i 2, wyznaczenie wektorów prędkości z uzyskanych przemieszczeń.



Rys.1. Zasada wyznaczania prędkości cząstek trasera. a) 1 – sekcja obrazu 1, b) 2 – sekcja obrazu 2, c) 2' – sekcja obrazu 1 odnaleziona na obrazie 2, d) δ – przemieszczenie sekcji 2' względem sekcji obrazu 1 wg [Bieńkowski 1999]

Zastosowanie techniki PIV jest możliwe wówczas, gdy obrazy poddane analizie spełniają następujące warunki:

- odpowiednio duża koncentracja cząstek na scenach,
- równomierne nasycenie i jasność analizowanych scen,
- brak dużych różnic prędkości między poszczególnymi fragmentami obrazu,
- badany przepływ nie powinien być zbyt szybki ze względu na poprawność pomiarów,

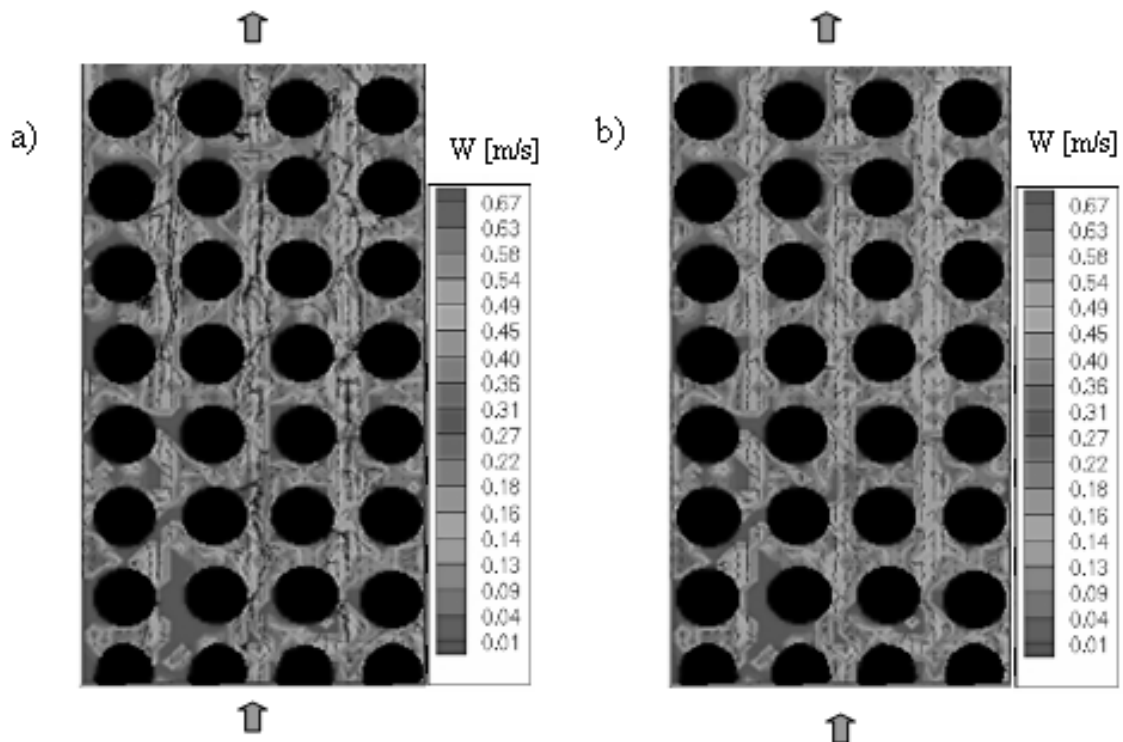
Właściwości cząstek znacznikowych :

- cząstki poruszają się zgodnie z ruchem płynu,
- niewielkie rozmiary cząstek znacznikowych,
- nie powinny zmieniać się właściwości płynu oraz przepływu,
- odpowiednia koncentracja cząstek znacznikowych.

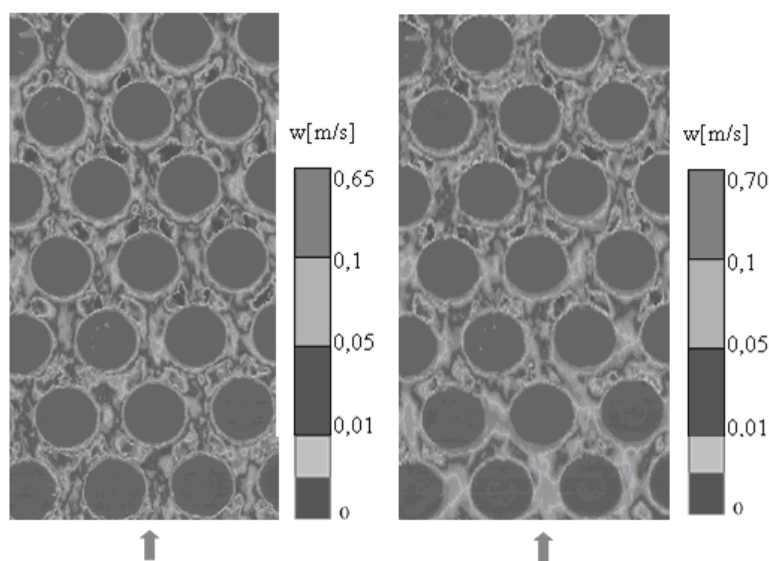
Wyznaczenie prędkości następuje na podstawie ruchu cząstek znacznikowych, których ruch jest funkcją ruchu płynu (ruch ściśle związany z ruchem fazy ciągłej). Liczba znaczników w danej sekcji obrazu (~ 5-10).

Dla metody DPIV obrazy są rejestrowane bezpośrednio za pomocą kamer z matrycami cyfrowymi w postaci sekwencji klatek i badane bez konieczności opóźnienia. Zastosowanie PIV pozwala na pojedynczą realizację techniki „krzyżowej korelacji” dla pary dwóch oddzielnych obrazów. Usuwa niejasność przemieszczenia cząstek i ulepsza dynamikę sygnału. W metodzie DPIV, która jest metodą statystyczną podobieństwo jest wykorzystywane do odszukiwania przemieszczeń cząstek. Miarą podobieństwa jest współczynnik korelacji. Statystyczny charakter algorytmu DPIV (uśrednianie prędkości w obszarze sekcji) pozwala na wyznaczenie przesunięcia znaczników pomiędzy parą obrazów będących w postaci dwuwymiarowego rozkładu poziomu szarości. Technika znalazła zastosowanie w analizie obrazów cyfrowych. Obszar obrazu dzielony jest na sekcje badawcze w celu wyznaczenia średniego przemieszczenia między znacznikami na dwóch kolejnych obrazach. O średnim przemieszczeniu decyduje lokalizacja średniego piksu korelacyjnego, a amplituda piksu wskazuje na dokładność obliczeń. Wyznaczana jest również prędkość w obszarze badawczym poprzez stosunek przemieszczenia do rozdzielczości czasowej. Obszar badawczy powinien być odpowiednio dobrany w odniesieniu do średnich przemieszczeń znaczników na obrazach cyfrowych. Powierzchnia obszaru badawczego ma wpływ na dokładność obliczeń za pomocą funkcji korelacji krzyżowej.

Poniżej zaprezentowano przykładowe wyniki badań przepływu (rys.2, rys.3) uzyskane metodami korelacyjnymi [Śleziak 2005]



Rys.2. Przepływ dwufazowy w przestrzeni międzyrurowej:
a) pola prędkości cieczy b) rozkład linii prądu



Rys.3. Wizualizacja stref stagnacji (strefy za powierzchnią rur) w przestrzeni międzyrurowej z wykorzystaniem algorytmu korelacji obrazu

3 Podsumowanie

Na podstawie przeglądu metod pomiarowych można stwierdzić, że metody optyczne są uniwersalne i znacznie bardziej precyzyjne niż pozostałe techniki pomiarowe posiadające znacznie więcej ograniczeń w zastosowaniu. Szczególnie ważną cechą metod nieinwazyjnych jest brak ingerencji w proces, co ma duże znaczenie zwłaszcza wtedy, gdy strumienie przepływu są nieznaczne, a inwazyjne sondy pomiarowe mogą w znaczny sposób wpłynąć na błąd pomiaru. Zastosowanie metod analizy i przetwarzania obrazu w analizie danych pomiarowych znacznie rozszerza zakres otrzymywanych jakościowych oraz ilościowych wyników. W ten sposób rezultatem przetwarzania obrazów jest możliwość znacznie precyzyjnej oceny struktury przepływu oraz analizy parametrów przepływu w porównaniu do innych technik pomiarowych.

4 Literatura

1. ADRIAN R.J.: Particle- Imaging techniques for experimental fluid mechanics. ARFM, Vol.23, p.261-304, 1991
2. BIENKOWSKI G.: Zastosowanie cyfrowej anemometrii obrazowej do wyznaczania pól prędkości, Praca magisterska dyplomowa, Politechnika Warszawska, Płock, 1999
3. GRIGORIEV V.: Materiały dotyczące wizualizacji przepływu, strona www.kfj.usk2wam.pl, 2002
4. MERZKIRCH W.: Flow visualization, 2nd Edition, Academic Press, Orlando, 1987
5. ŚLEZIAK M.: Przepływ dwufazowy gaz-ciecz w przestrzeni międzyrurowej wymiennika ciepła, praca doktorska, Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, 2005

Recenzował: Prof. dr hab. inż. Viktor Vlasenko

Contact address:

Mariusz Śleziak, Dr inż., Katedra Technologii, Wydział Przyrodniczo - techniczny,
Uniwersytet Opolski, 45-365 Opole, ul. Dmowskiego 7/9, tel. +48665958378, e-mail:
mariusz_sleziak@poczta.fm