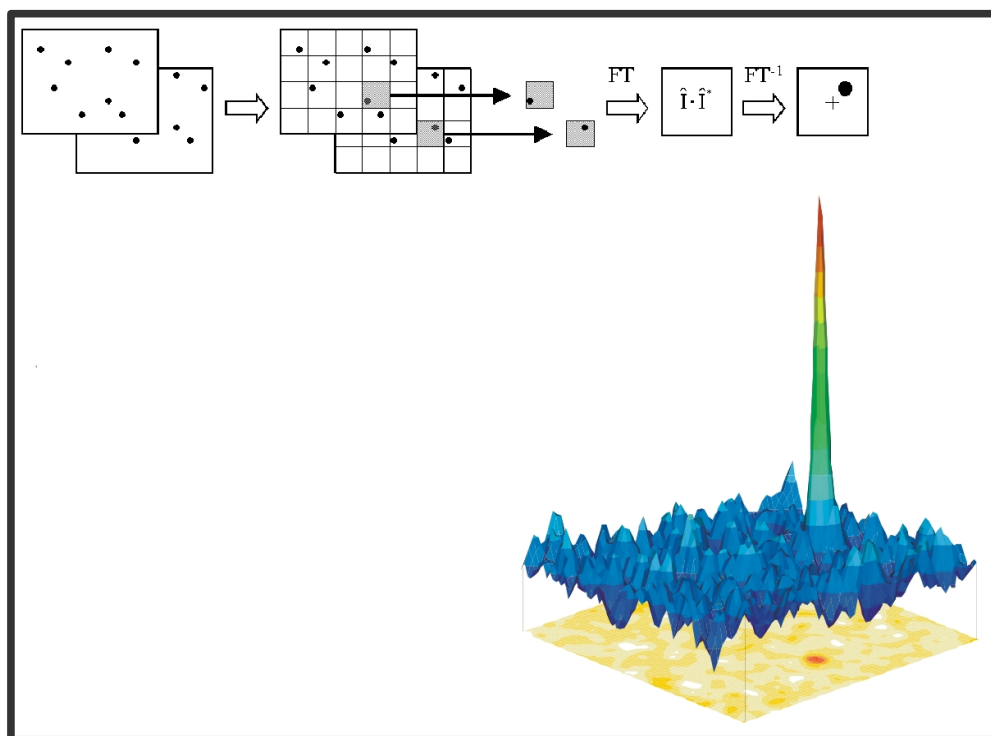


## Anemometria obrazowa PIV

### Wstęp teoretyczny

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z techniką pomiarową w tzw. anemometrii obrazowej (Particle Image Velocimetry PIV). Jest to bezinwazyjna metoda pomiaru prędkości pola prędkości. Polega na porównywaniu obrazów przedstawiających tę samą scenę i przemieszczający się obiekt, kluczową informacją jest czas między obrazami. Z porównania obrazów przez użycie funkcji korelacji  $I(\mathbf{s})$  uzyskujemy informacje o porównaniu w zależności od przemieszczenia  $\mathbf{s}$ . Jako wynik przyjmujemy takie  $\mathbf{s}$  dla którego uzyskano najlepsze porównanie. Ta niejednoznaczność wynika z niejednoznaczności samego porównywania obrazów. Zwykle rozpatrywane obrazy są dzielone na pod obszary, i te same pod obszary z poszczególnych obrazów są między sobą porównywane. Dla zobrazowania tego procesu kolejne kroki przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1: Zasada pomiaru PIV oraz przykładowy rozkład funkcji  $I(\mathbf{s})$ .

Każde porównanie pod obszarów da przemieszczenie dla danego pod obszaru i wynikającą dla niego prędkość w danym miejscu. Rozdzielczość pola prędkości  $\mathbf{E}_v$  będzie zatem wynikała z ilości pod obszarów  $\mathbf{n}$ . Zasadniczą rolę w wyznaczaniu przemieszczeń odgrywa rozmiar pixela  $\xi$  [mm], który odpowiada za przeliczanie przemieszczenia w układzie kamery na przemieszczenie fizyczne. Przemieszczenie w układzie kamery wyrażane jest w ilości pixeli matrycy lub obrazu. Wsp.  $\xi$  zostanie zdefiniowany jako wsp. wymiarujący uzyskiwany na drodze kalibracji.

$$\xi = \frac{L_{\text{Rzeczywiste}}}{L_{\text{matrycy}}}$$

Gdzie  $L_{\text{Rzeczywiste}}$  jest mierzone najczęściej w mm, zaś  $L_{\text{matrycy}}$  podawane jest w ilości pixeli. Należy o tym pamiętać i używać do ewentualnego przeliczania gdyż rozmiar pod obszaru podawany jest w układzie matrycy.

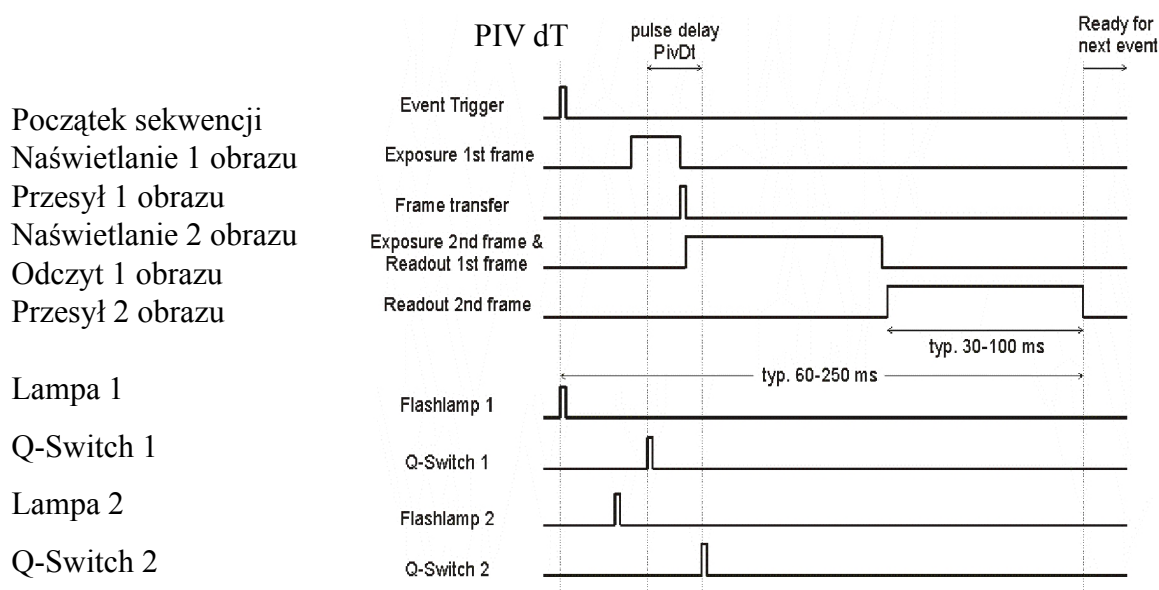
We wczesnych latach istnienia tej metody (w fazie eksperymentalnej około 1980) rejestracja odbywała się jeszcze na taśmie filmowej i sam proces porównywania uniemożliwiał praktyczno użycia. We wczesnych latach rejestracji cyfrowej nosiła miano DigitalPIV, obecnie rozwój głównie w dziedzinie kamer cyfrowych pozwala na udoskonalanie tej metody.

W zależności od **ilości wymiarów** (ilości składowych wektorów prędkości oraz wymiarów przestrzeni pomiarowej) istnieje wiele odmian tej metody:

1. 2C2D – jest to najprostsza odmiana w której mierzone są dwie składowe wektora prędkości 2C (dwa komponenty) w płaszczyźnie 2D tj. w dwóch wymiarach. Znajduje zastosowanie w pomiarach dwuwymiarowego pola prędkości lub w płaszczyźnie symetrii np. skrzydło nieskończone lub płaszczyzna symetrii za przeszkodami 3D.
2. 3C2D – (StereoPIV) wymaga rejestracji trzech składowych wektora prędkości tj. zastosowania podwójnego układu optycznego tzw. stereo. Niemniej jednak rejestracja odbywa się na płaszczyźnie 2D. W odróżnieniu od wcześniejszej pomiar pozwala na odtworzenie rzeczywistego pola prędkości (wszystkie składowe wektora prędkości).
3. 3C3D – (ThomoPIV lub VolumetricPIV) pozwala na rejestrację pełnego pola prędkości 3C w obszarze przestrzeni 3D. Jest najbardziej zaawansowaną technicznie odmianą ze względu na konieczność perspektywicznej rejestracji w przestrzeni 3D.

Ze względu na charakterystykę czasową anemometrię obrazową dzielimy na:

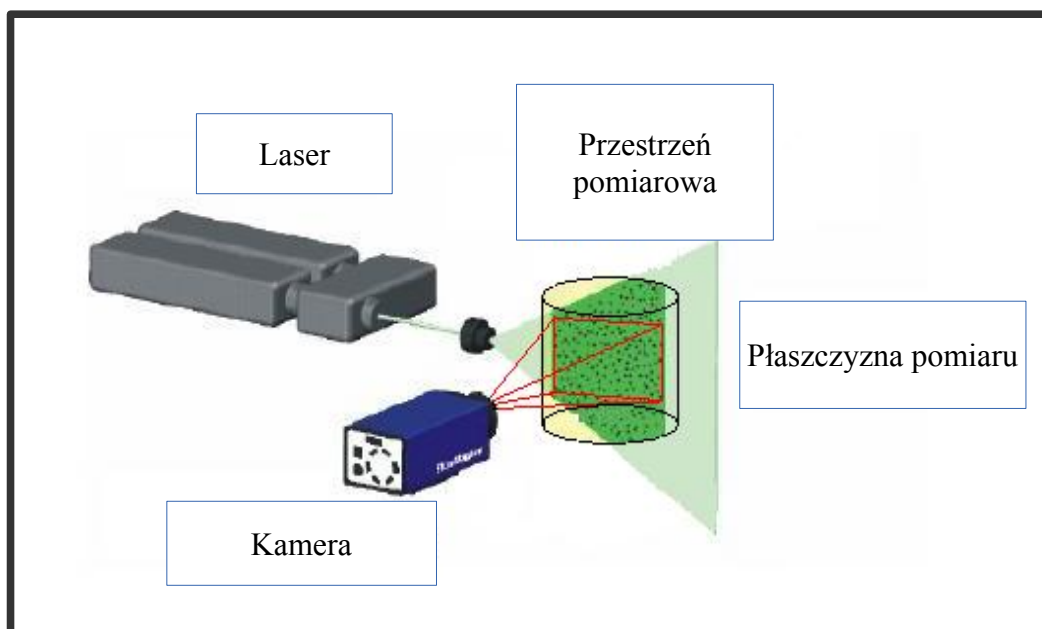
1. Pomiar chwilowy – jest to pomiar w którym uzyskujemy pola prędkości w znacznych odstępach czasu. Rejestracja obrazów odbywa się w sekwencji dwóch obrazów biorących udział w korelacji przy odstępie czasu  $dT$  natomiast następna para obrazów jest rejestrowana w odstępie czasu znacznie przewyższającym  $dT$  (kilka rzędów wielkości). Przykład takiej sekwencji umieszczono na rysunku 2.
2. Pomiar ciągły – jest to pomiar w którym pola prędkości uzyskujemy w niewielkich odstępach w czasie. Rejestracja obrazów biorących udział w korelacji odbywa się w stałych odstępach czasu  $dT$  a korelacja przeprowadzana jest pomiędzy poszczególnymi obrazami. Ta metoda w praktyce przy większych prędkościach przepływu wymaga większej ilości pamięci do przechowywania obrazów a także ma ograniczenia wynikające z wymaganej prędkości rejestracji (wynikających z mierzonych prędkości).



Rysunek 2: Sekwencja rejestracji jednej pary obrazów.

### Stanowisko pomiarowe

Doświadczenie z użyciem systemu PIV zostanie przeprowadzone w tunelu o obiegu zamkniętym z zamkniętą przestrzenią pomiarową. Do rejestracji obrazów zostanie użyta kamera ustawiona prostopadłe do kierunku przepływu powietrza a obszar pomiaru zostanie podświetlony przez płaszczyznę światła pochodzącą z lasera.

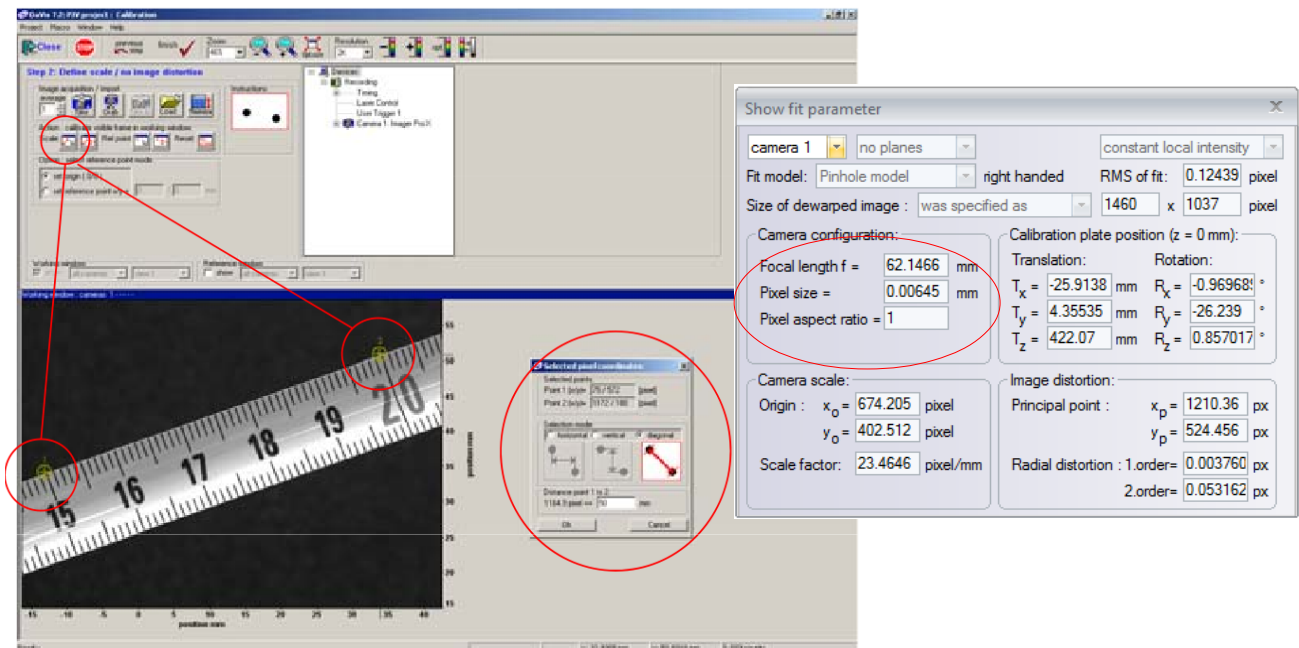


Rysunek 3: Schemat ustawienia elementów systemu pomiarowego.

Do uzyskania poprawnych obrazów o wysokim kontraście konieczne jest wykluczenie światła przypadkowego (w tym naturalnego) dlatego przestrzeń pomiarowa podczas rejestracji powinna zostać przykryta kurtyną i zacieniona. Światło z lasera podświetli wówczas tylko ten obszar w którym planowana jest rejestracja. Do zaznaczania pozycji i dalej wyznaczania przemieszczeń poruszającego się powietrza zostaną użyte krople oleju pochodzące z generatora posiewu.

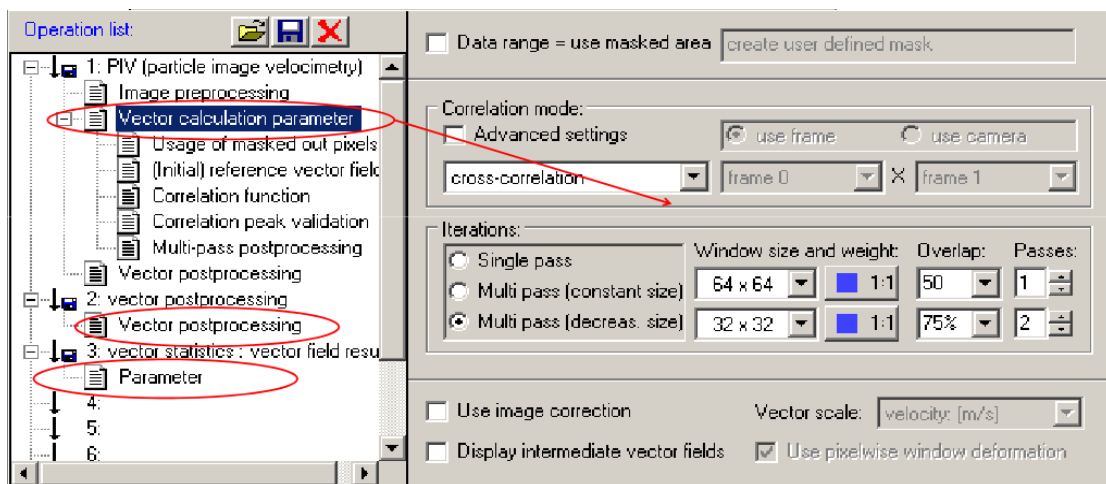
**Obsługa programu do kontroli systemu pomiarowego**

Do obsługi systemu pomiarowego zostanie użyty program DaVis firmy LaVision. Za pomocą tego programu zostanie przeprowadzona akwizycja (rejestracja) sekwencji obrazów oraz zostaną przeprowadzone obliczenia pól prędkości. W początkowym etapie konieczne jest przeprowadzenie niezbędnych ustawień i regulacji (głównie związanych z kamerą). W kolejnym etapie należy przeprowadzić kalibrację w której na podstawie obrazy wzorca będzie można wskazać punkty charakterystyczne na obrazie na podstawie których zostanie wyznaczony  $L_{matrycy}$  użytkownik zaś podając  $L_{Rzeczywiste}$  dostarcza informacji z których zostanie wyznaczony wsp.  $\zeta$ . Na rysunku 4 przedstawiono okno w którym podawane są punkty na obrazie oraz wymiar fizyczny odpowiadający odległości między tymi punktami. Po prawej zaś pokazano okno szczegółów z zaznaczoną informacją o rozmiarze pixela w mm.



Rysunek 4: Okno kalibracji oraz okno ze szczegółami z kalibracji.

Kolejną kluczową operacją jest konfiguracja listy operacji które mają być wykonane na zarejestrowanej już sekwencji obrazów. Na rysunku 5 przedstawiono okno konfiguracji w którym zaznaczono przejście wielokrotne z malejącym obszarem poszukiwania przemieszczenia. Jako ostateczne podano okno 32x32pixele. W podanym przykładzie uzyskano wektory co 0,2mm.



Rysunek 5: Okno konfiguracji rozmiaru okna korelacji.

## Wykonanie ćwiczenia.

W ćwiczeniu zostanie zastosowane ustawienie prostopadłe w którym światło z lasera będzie podświetlało cząsteczki rozpylonego oleju wewnątrz zamkniętej przestrzeni pomiarowej tzw. tunelu przepływu niestacjonarnego. Podczas ćwiczenia należy:

1. **ustawić kamerę** (za pośrednictwem głowicy mocującej) tak aby obejmowała obszar zainteresowania i krawędzie obrazu były równoległe do kierunku przepływu.
2. **Ustawić ostrość obrazu** przez ustawienie obiektywu tak aby obiekt odniesienia ustawiony w płaszczyźnie pomiaru był wyraźny.
3. **Przeprowadzić kalibrację** w programie przetwarzającym, zanotować uzyskany wsp.  $\zeta$
4. **Nagrać po 20 sekwencji**, przy 3 różnych prędkościach przepływu (w zależności od ilości podgrup, jedna prędkość przepływu dla 2 osób).
5. **Przeprowadzić proces obliczeń** dla dwóch różnych wielkości okna korelacji. Proces obliczeń należy tak przygotować aby wynikiem były prędkość średnia i RMS prędkości.
6. Dla użytych okien korelacji **obliczyć rozdzielczość uzyskanych pól prędkości** w oparciu o wsp.  $\zeta$ .
7. **Wyeksportować** uzyskane wyniki do pliku tekstowego (ASCII lub TecPlot).
8. **Przeprowadzić konwersję** uzyskanych plików do formatu macierzy w celu dalszej pracy przy pomocy arkusza kalkulacyjnego.
9. **W sprawozdaniu zaprezentować** profile prędkości pulsacji i turbulencji w formie wykresów dla wybranego przekroju tj.  $U(y)$ ,  $u_{RMS}(y)$ ,  $T(y)$ .