

Modyfikacja i doskonalenie metodyki wyznaczania wektorowego pola prędkości przepływającego płynu w oparciu o metodę anemometrii obrazowej za pomocą ultradźwięków.

mgr inż. Wit STRYCNIEWICZ

Kierownik naukowy

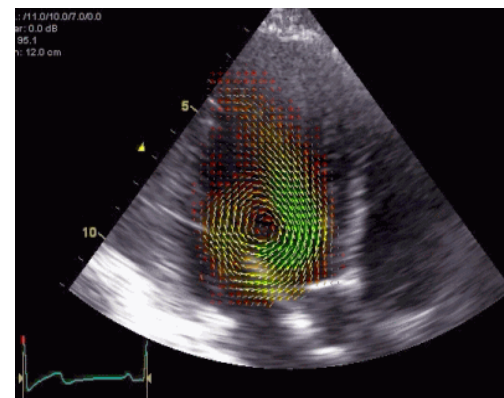
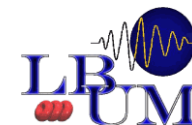
prof. dr hab. inż. Andrzej PANAS

Plan wystąpienia

- Wprowadzenie - EchoPIV
- Przedstawienia propozycji modyfikacji
- Część doświadczalna
- Podsumowanie

Geneza i Motywacja

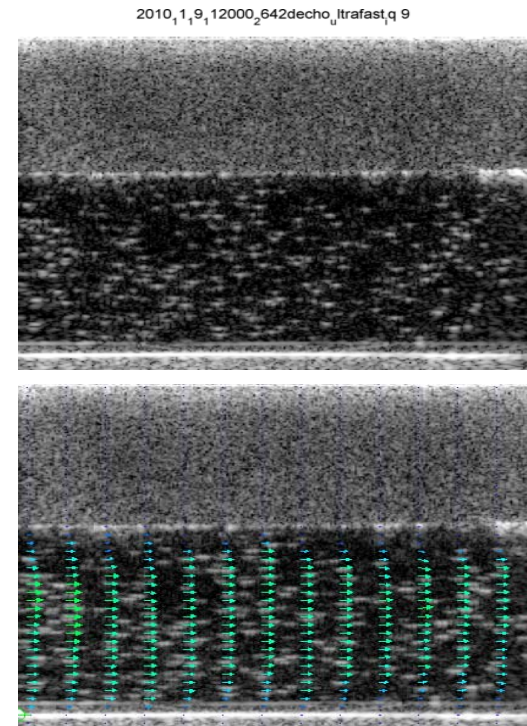
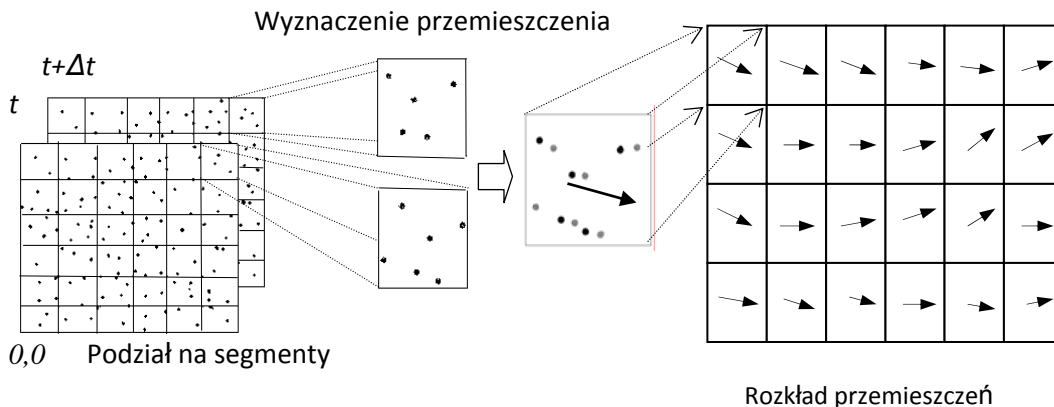
- Staż w Laboratorium Bioreologii i Ultrasonografii Medycznej w Montrealu
- Jednostka Badawcza Biomechaniki oraz Obrazowania w Kardiologii pod kierownictwem prof. nadzw. dr inż. Damien Garcia
- Głównym celem realizowanych projektów jest rozwój nowych nieinwazyjnych metod i wskaźników mogących znaleźć zastosowanie w diagnostyce medycznej przy wykorzystaniu aktualnie użytkowanej aparatury.
- Projekt: Opracowanie nowej metodyki analizy przepływu w naczyniach krwionośnych w oparciu o metodę EchoPIV.



Metoda

EchoPIV - połączenie obrazowania ultrasonograficznego z metodyką cyfrowej anemometrii obrazowej (DPIV) pozwala na opracowanie metodyki wyznaczania dwuwymiarowego wektorowego pola prędkości dla przepływów nieprzeźroczystych optycznie jak przepływ krwi w naczyniach krwionośnych. [1]

Anemometria obrazowa (ang. Particle Image Velocimetry) jest metodą do wyznaczania przemieszczeń układów poruszających się cząstek. Jest ona używana głównie do wyznaczania prędkości przepływu.



[1] Development and validation of echo PIV. Kim et al. 2004 Exp Fluids 36:455-462

EchoPIV

	Color Doppler	EchoPIV
Wektorowe pole prędkości	Nie “-”	Tak “+”
Środek kontrastujący	Nie “+”	Tak/[4] “-”
Zależność od kąta	Tak “-”	Nie “+”
Zastosowanie kliniczne	Tak “+”	Rozwój

Walidacja metody:

- In vitro: [1] – zastosowanie algorytmów PIV dla obrazów prezentacji B w trybie obrazowania harmonicznego. Przepływ znacznikowany został za pomocą środka kontrastującego. [2] – szeroka kontrola nad parametrami akwizycji za pomocą specjalnie opracowanego układu.
- In vivo: Tętnica szyjna [3], Powierzchniowa żyła człowieka [4], Serce świni [5]

[2] Development of a custom-designed echo particle image velocimetry system for multi-component hemodynamic measurements: system characterization Liu L, Zheng H, Williams L, Zhang F, Wang R, Hertzberg J, Shandas R (2008)

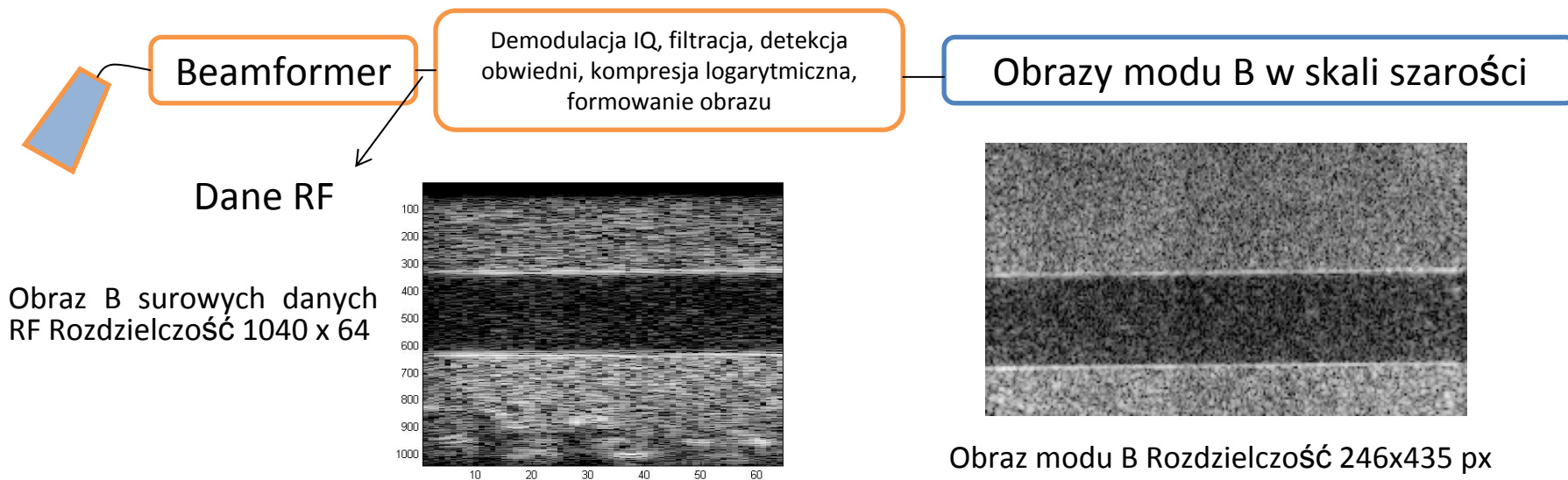
[3] *In Vitro* and preliminary *In Vivo* validation of echo Particle Image Velocimetry in Cartoid vascular imaging, Zhang 2010, Ultrasound in Med. & Biol.

[4] Velocity field measurements of valvular blood flow in a human superficial vein using high-frequency ultrasound speckle image velocimetry, Kweon-Ho Nam 2010, Int J Cardiovasc Imaging

[5] Left Ventricular Isovolumic Flow Sequence During Sinus and Paced Rhythms, Sengupta et al. 2007, Jurnal of the American College of Cardiology

Modyfikacja i doskonalenie

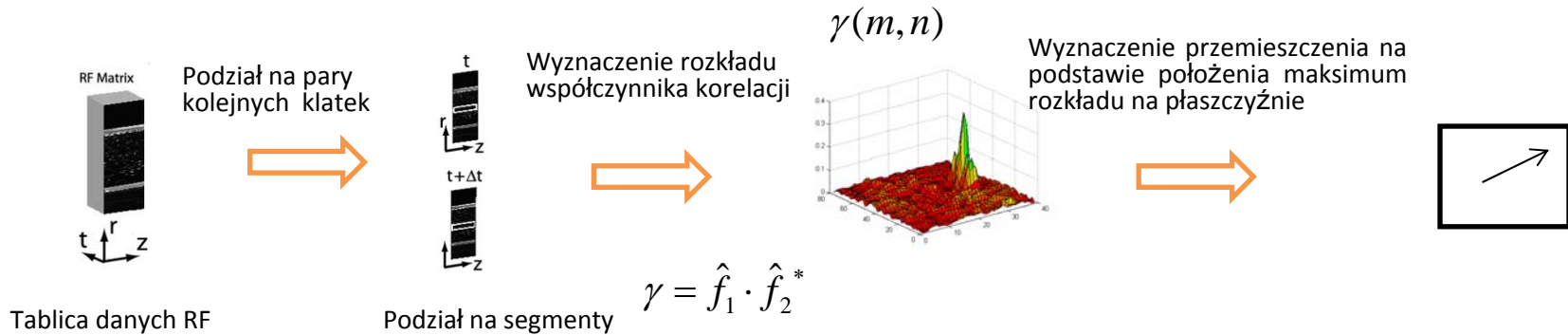
- Propozycja rozwinięcia metody pozwalającej na jednoczesne wyznaczenie rozkładu prędkości przepływającego płynu oraz pozycji ścianek naczynia [6] – możliwość dokładnego wyznaczenia charakteru przepływu oraz wydatku
- Praca z surowymi danymi RF – własny proces filtracji oraz detekcja pozycji ścianek i wyznaczenie ich przemieszczenia



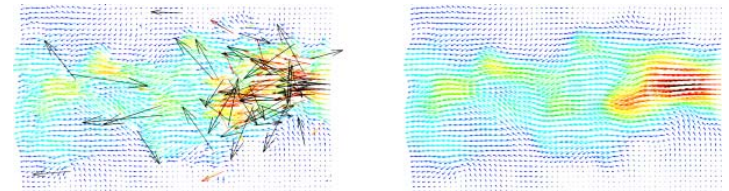
- Własny algorytm PIV dopasowany do charakteru danych wejściowych
- Sprawdzenie różnych schematów formowania wiązek ultradźwiękowych celem uzyskania najlepszej jakości danych przy wysokiej częstotliwości powtarzania obrazów

[6] Perpendicular ultrasound velocity measurement by 2D cross correlation of RF data. Part A, Beulen 2010, Exp Fluids; [7] Part B

Opracowany algorytm



- Korelacja krzyżowa realizowana za pomocą algorytmu Szybkiej Znormalizowanej Korelacji [7]
- Dokładne wyznaczenie przemieszczenia na poziomie poniżej jednego piksela poprzez aproksymację krzywą Gaussa [6]
- Post-processing za pomocą algorytmu pppiv [8]



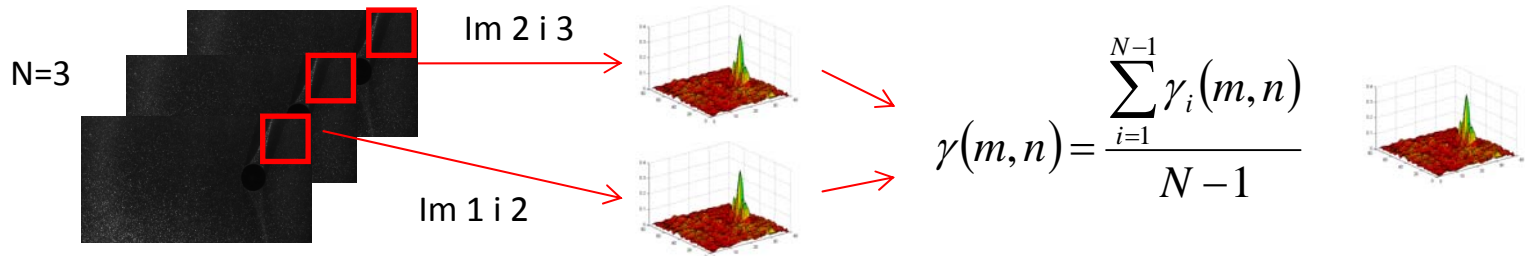
[6] PIV: Direct Cross-Correlation compared with FFT-based Cross-Correlation, Oliver Pust, 10th International Symposium on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics. Lisbon, Portugal, 2000

[7] Fast Normalized Cross-Correlation, J. P. Lewis, Industrial Light & Magic

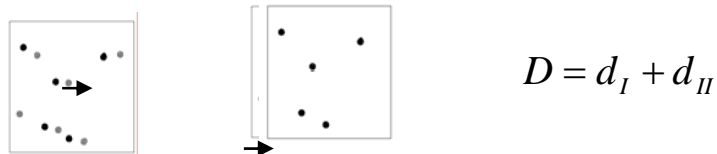
[8] A fast all-in-one method for automated post-processing of PIV data, Damien Garcia, Exp Fluids,

Metody poprawienia skuteczności algorytmu

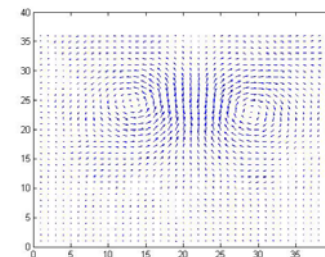
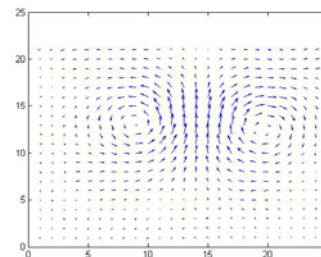
- Określenie przemieszczenia z uśrednionych dwuwymiarowych rozkładów korelacji z $N > 2$ klatek (ang. Ensemble Correlation Method)



- Dwustopniowy proces wyznaczenia przemieszczenia – wyznaczenie zgrubne i następnie bazujące na jego wynikach wyznaczenie dokładne

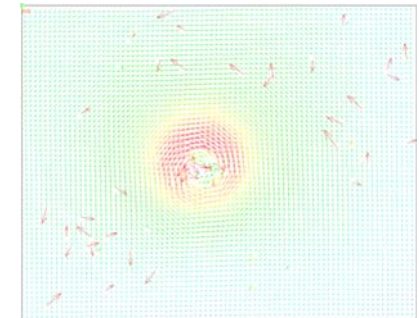
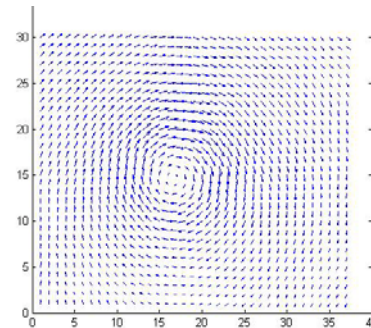
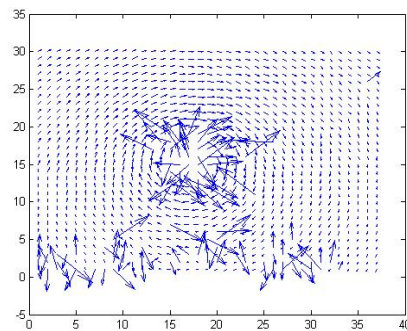
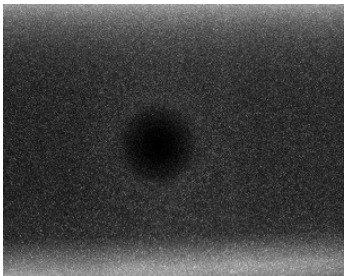
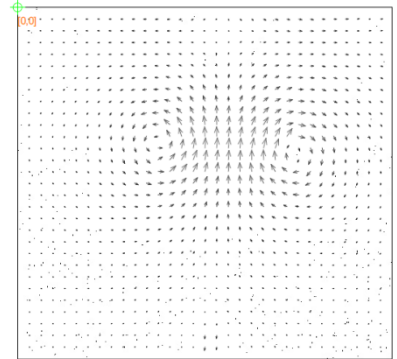
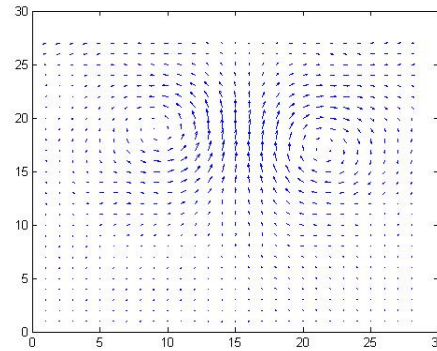
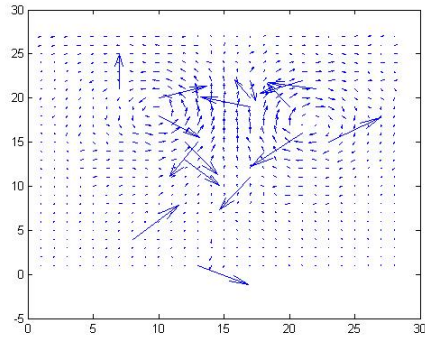
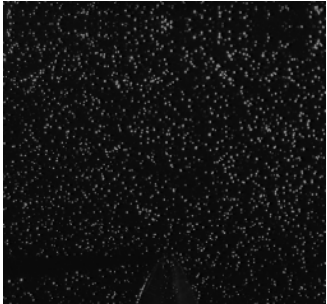


- Nakładanie się pozycji obszarów próbkowania – zwiększenie rozdzielczości wyników



Dwukrotne zwiększenie rozdzielczości – 50% nałożenia się pozycji okien

Porównanie działania opracowanego algorytmu z oprogramowaniem komercyjnym



Obraz cząsteczek*

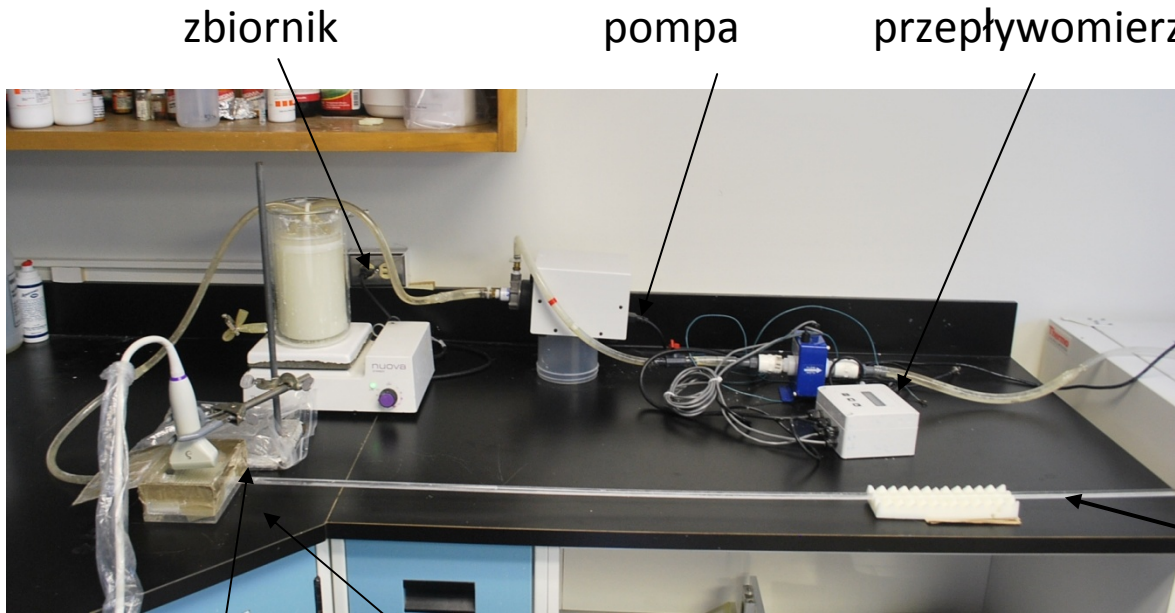
Pole wektorowe
uzyskane za pomocą
opracowanego
algorytmu

Dane opracowane za
pomocą pppiv

Pole wektorowe
uzyskane za pomocą
programu PIVview

* Obrazy pobrane z <http://www.pivtec.de>

Część eksperymentalna



Cząsteczki wskaźnikowe:

Sfery ze szkła

Średnica: $8-12\mu\text{m}$

Gęstość: $1050-1150\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Koncentracja:

$\approx 54\text{g} / 3000\text{g} = 1,8\%$

$$Z = \frac{r \cdot \text{Re}}{15}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu}$$

$$650 < \text{Re} < 4500$$

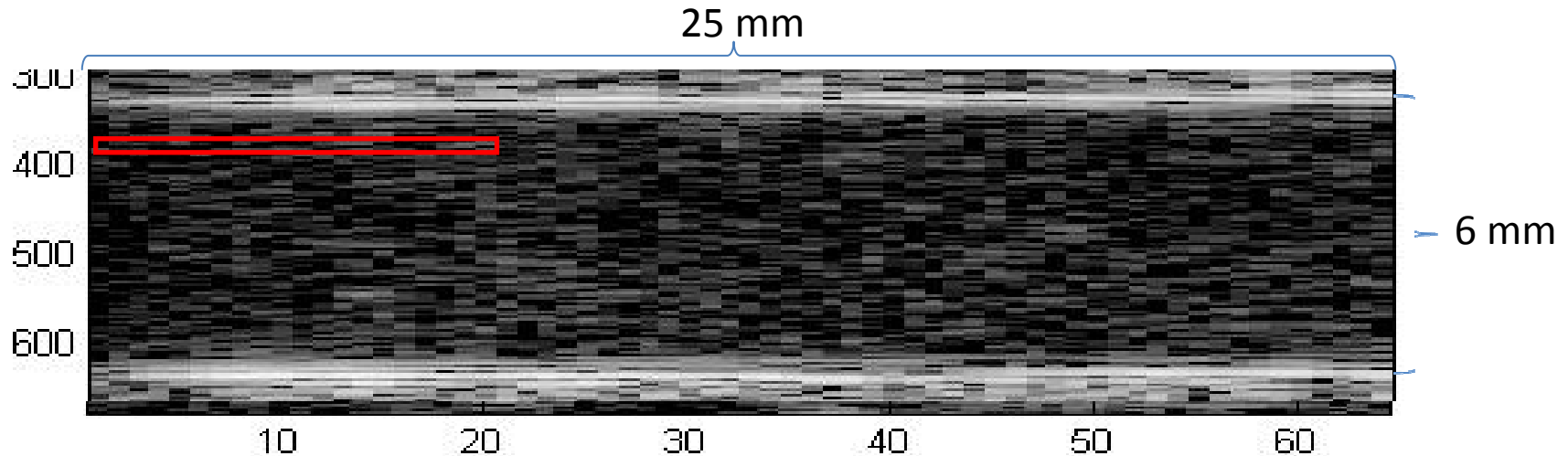
Model wykonany z Żelu Agar $d = 6\text{ mm}$

Akwizycja danych za pomocą aparatury USG:

Ultrasonix

Aixplorer

Analizowane dane



Zbadano przepływ w zakresie prędkości: 0,3 do 1,2 m/s

Parametry akwizycji: częstość powtarzania obrazów $f=315$ Hz

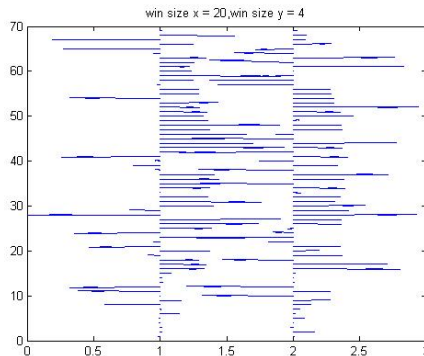
Maksymalna prędkość jaką można wykryć:

Rozmiar okna W_{FOV}	V_{max} [m/s]
64	1,7
32	0,89
16	0,44

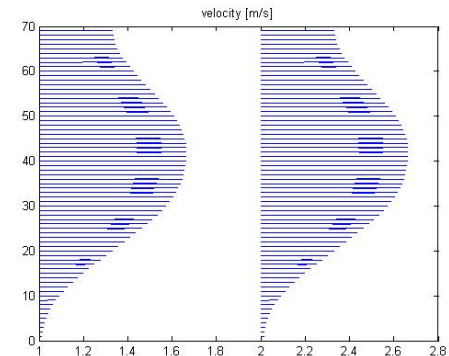
$$V_{max} = \frac{f \cdot W_{FOV}}{4} \quad [7]$$

Uzyskane wyniki

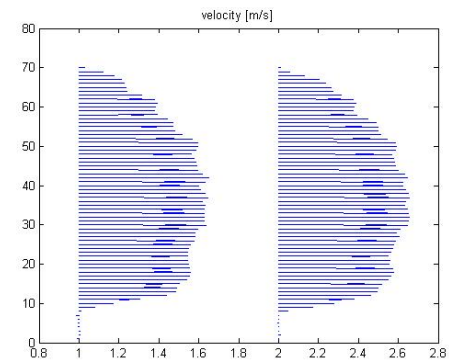
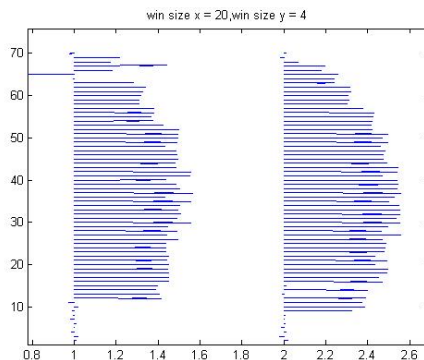
Korelacja pomiędzy 2 klatkami
Okna nie nakładają się



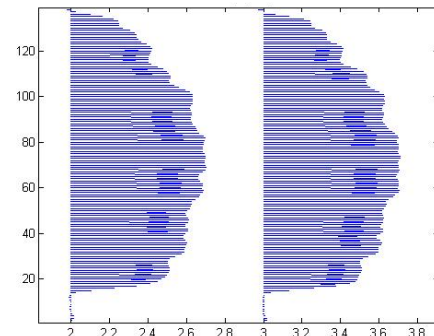
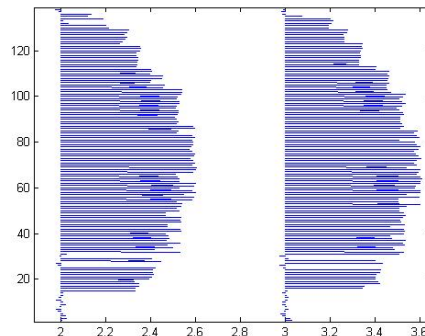
pppiv



Średnia korelacja z N = 30 klatel



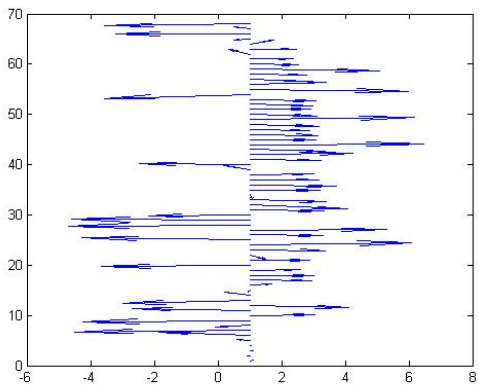
Średnia korelacja N = 30
Nakładanie się okien = 50%



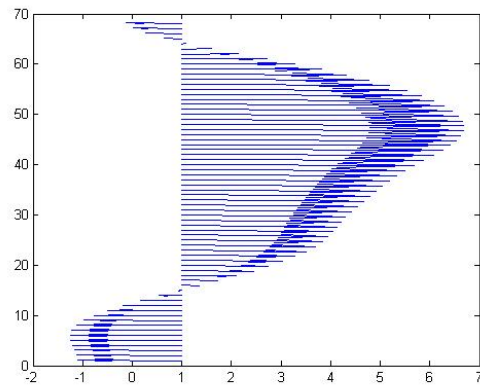
Uzyskane wyniki

Dwustopniowy algorytm

Liczba klatek, $N = 2$

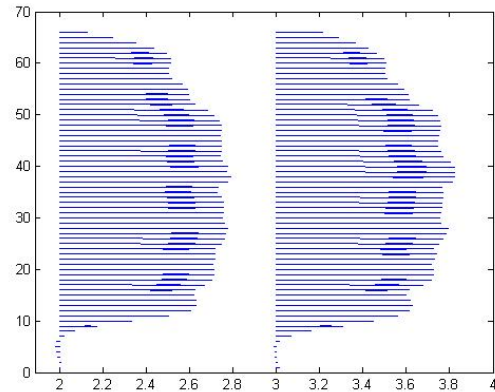
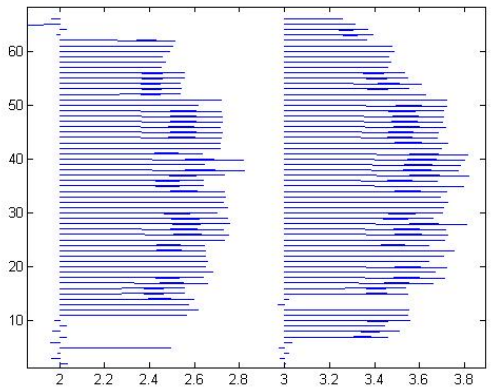


pppiv



Dwustopniowy algorytm

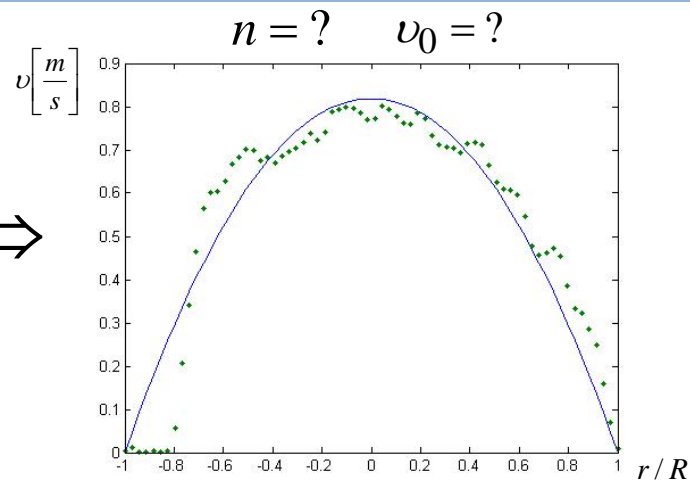
Liczba klatek, $N=30$



Ilościowa ocena przepływu

$$v(r) = v_0 \left(1 - \left(\frac{r}{R} \right)^n \right)$$

⇒

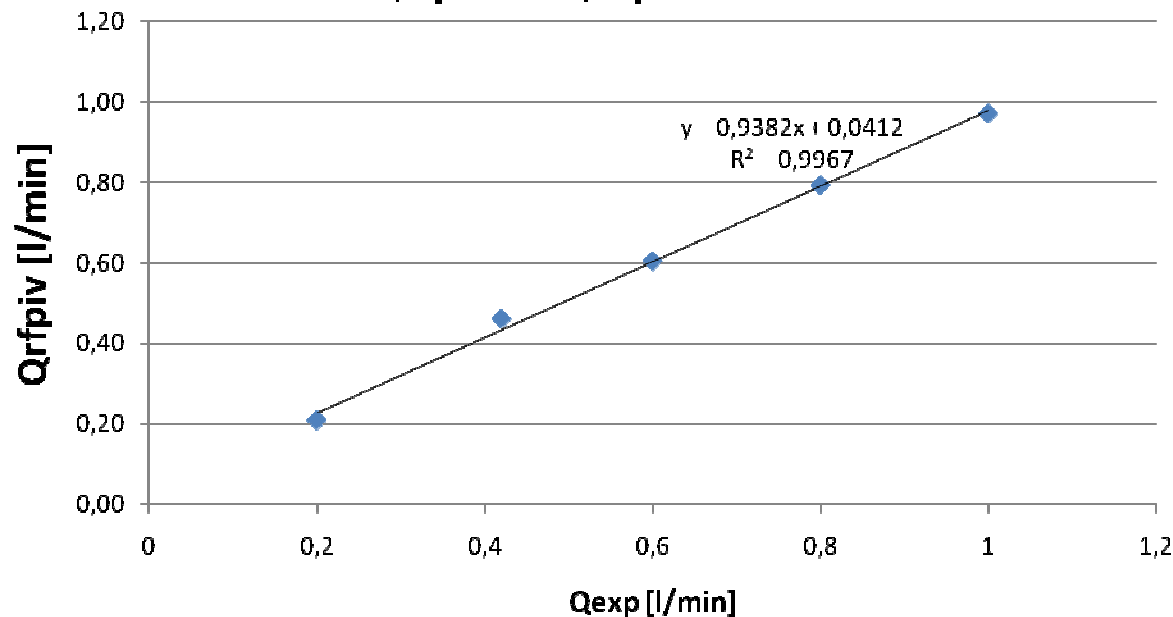


⇒ $n = 2$

Wydatek objętościowy:

$$Q = 2\pi \int_0^R r \cdot v(r) dr$$

Qrfpiv vs Qexp



Podsumowanie

- Potwierdzono poprawność działania algorytmu w badaniach ilościowych i jakościowych.
- Spośród sprawdzanych ulepszeń w algorytmie, najlepsze wyniki dla analizowanych danych daje określenie przemieszczenia ze średniej wartości płaszczyzn korelacji z kilku kolejnych klatek (użyteczne tylko dla przepływów ustalonych, konieczne jest zwiększenie jakości danych dla przepływów fizjologicznych)
- Zastosowany Post-processing potwierdził swoją skuteczność

Cele badawcze

- Opracowanie algorytmu pozwalającego na jednoczesne wyznaczania rozkładu prędkości przepływającego płynu wraz z detekcją położenia i przemieszczenia ścianek kanału
- Zbadanie możliwości wyeliminowania konieczności znacznikowania in vivo dla płytko położonych naczyń poprzez zastosowanie wysokich częstotliwości ultradźwięków

Problemy badawcze istotne dla postępu dalszych prac:

- Sprawdzenie różnych schematów formowania wiązek (STA, PW):
 - polepszenia jakości danych – możliwość eliminacji UCA
 - uzyskania wysokich częstości powtarzania obrazów co pozwoli na zwiększenie rozdzielczości otrzymywanych wyników w kierunku prostopadłym do wiązki.
- Ocena wpływu oddziaływania wiązki fal ultradźwiękowych na środek kontrastujący znajdujący się w przepływającym płynie.

Dziękuję za uwagę