

Badania przepływów dynamicznych w tunelu aerodynamicznym przy użyciu cyfrowej anemometrii obrazowej

MAREK GAWOR, JACEK SOBCZYK, WALDEMAR WODZIAK

Instytut Mechaniki Górotworu PAN, ul. Reymonta 27; 30-059 Kraków

Streszczenie

Celem pracy było wykonanie badań dynamiki przepływów w przestrzeni pomiarowej nowego tunelu aerodynamicznego. Generowanie nieustalonych pól prędkości realizowane było poprzez użycie modułu wymuszeń przepływów dynamicznych, zainstalowanego na wlocie do komory pomiarowej. Pomiary przy użyciu cyfrowej anemometrii obrazowej przeprowadzono dla trzech trybów pracy modułu. Przedstawiono chwilowe pola skalarne prędkości oraz wirowości w czasie trwania jednego cyklu zamykania i otwierania łopat. Porównano przebiegi czasowe prędkości w wybranym punkcie dla trzech trybów pracy modułu.

Słowa kluczowe: przepływy nieustalone, moduł wymuszeń przepływów dynamicznych, cyfrowa anemometria obrazowa, tunel aerodynamiczny

1. Wstęp

W ramach badań nad czynnikami generującymi błędy pomiarów prędkości przepływu powietrza przeanalizowano działanie modułu przepływów dynamicznych w zamkniętym tunelu aerodynamicznym. Do pomiarów prędkości przepływu powietrza wykorzystano cyfrową anemometrię obrazową (PIV – *Particle Image Velocimetry*), dzięki której można zobrazować płaskie pola przepływu w wybranej płaszczyźnie pomiarowej.

2. Moduł wymuszeń przepływów dynamicznych i jego charakterystyka

Moduł wymuszeń przepływów dynamicznych (MWPD) przedstawiono na rysunku 1. Zasada jego działania polega na zmianach pola przekroju na wlocie do komory pomiarowej tunelu. Realizowane jest to poprzez ruch poruszających się z określoną częstotliwością oraz amplitudą łopat. Charakterystykę tunelu z zamontowanym MWPD, czyli zależność prędkości w komorze pomiarowej od częstotliwości falownika, przedstawiono na rysunku 2. Prędkość mierzono za pomocą rurki spiętrzającej.

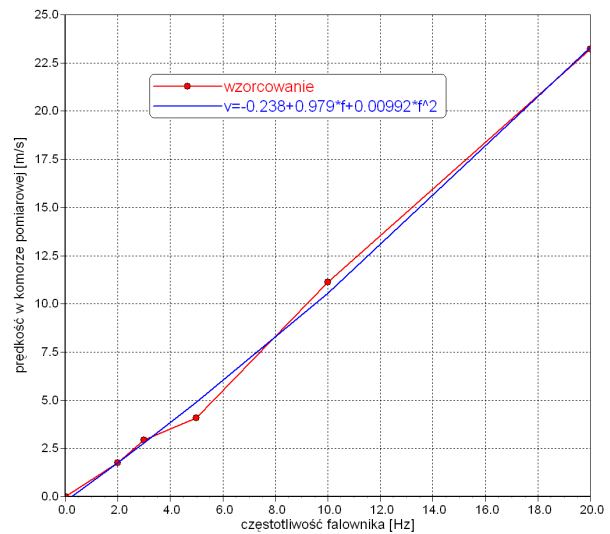
W celu określenia zaburzeń przepływu w komorze pomiarowej wywołanych przez MWPD wykonano pomiary przy prędkości napływu 1,75 m/s, dwóch amplitudach przemykania przekroju przez każdą z łopat, oraz dwóch prędkościach ruchu łopat. Odpowiednie wartości powyższych parametrów oraz trybów pracy modułu przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Tryby pracy MWPD

Tryb pracy modułu	Amplituda przemykania przekroju przez każdą z łopat A , [cm]	Szybkość ruchu postępowego krawędzi łopat V_a , [cm/s]	Częstotliwość generowanej fali prędkości f_a , [Hz]
Tryb 1	7,7	6,58	0.42
Tryb 2	7,7	3,77	0.24
Tryb 3	3,1	6,58	0.73

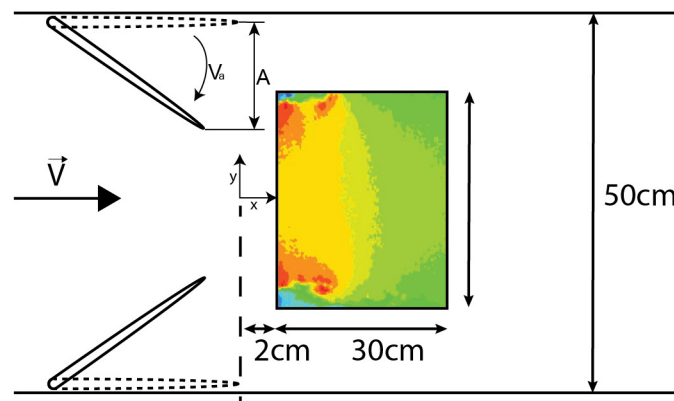


Rys. 1. Moduł wymuszeń przepływów dynamicznych



Rys. 2. Charakterystyka tunelu z zamontowanym MWPD

Badany obszar przedstawiono schematycznie na rysunku 3.



Rys. 3. Obszar pomiarowy

3. Wyniki pomiarów PIV

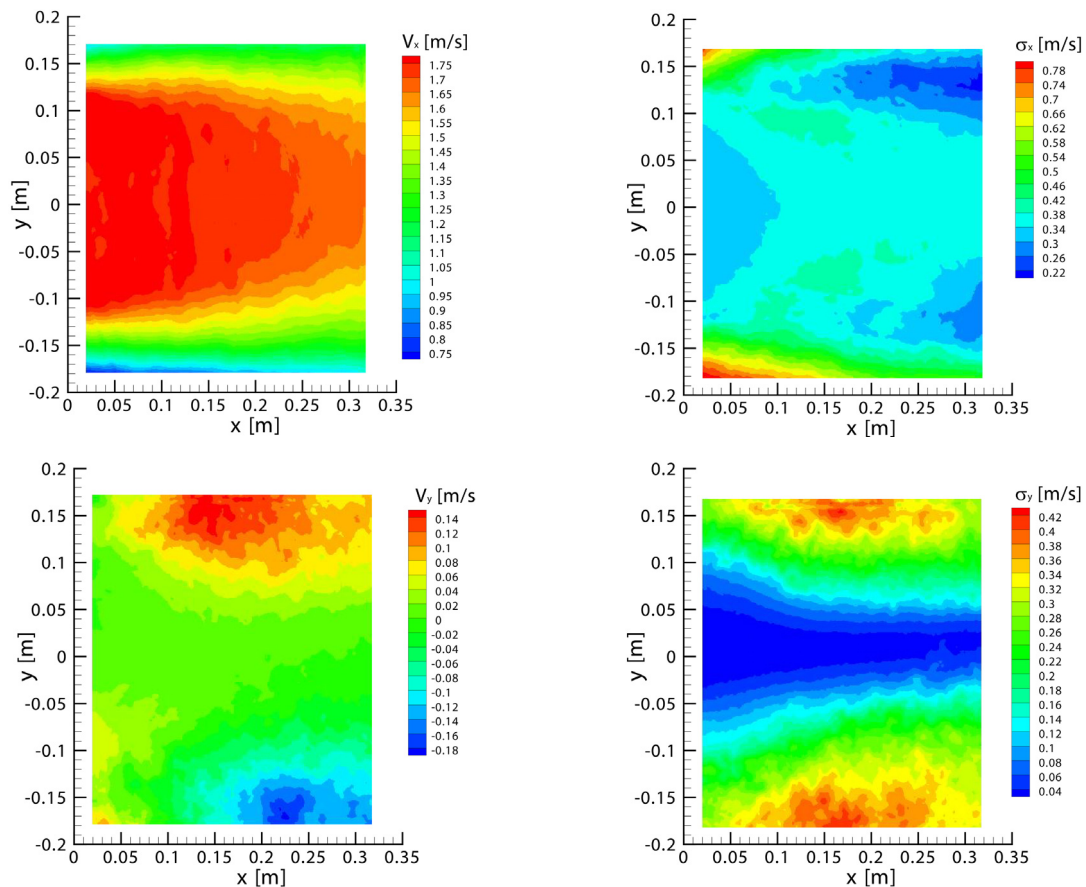
Pomiary zmiennych pól prędkości wykonano przy użyciu metody PIV (Westerweel, 1997; Raffel, 2007). Do podświetlenia badanego obszaru użyto pulsacyjnego lasera neodymowego Nd:YAG firmy Litron. Czas pomiędzy impulsami lasera wynosił 300 ms. Do rejestracji zdjęć użyto kamery sCMOS firmy Andor. Pomiary przeprowadzono dla częstotliwości falownika wynoszącej 2 Hz, co odpowiada średniej prędkości przepływu powietrza w komorze wynoszącej 1,75 m/s. W trakcie wykonywania pomiarów MWPD pracował w trybie 1 przy amplitudzie przemykania przekroju poprzecznego komory pomiarowej przez każdą z łopat wynoszącej 7,7 cm i prędkości ruchu postępowego ich krawędzi 6,58 cm/s (Tab. 1). Wykonano 250 podwójnych zdjęć z częstotliwością 15 Hz. Pola prędkości wyliczono przy użyciu funkcji korelacji adaptacyjnej (*adaptive correlation*) w programie DynamicStudio (Dantec, 2013). Przed pomiarami właściwymi wykonano kalibrację aparatury. Stanowisko pomiarowe przedstawiono na rysunku 4. Badania przeprowadzono dla warunków izotermicznych ($T = 20,5^{\circ}\text{C}$).

Pola prędkości zmierzono w płaszczyźnie pomiarowej oddalonej od dna komory o 20 cm ($z = -0,05$ m). Obszar jaki obejmowała kamera był oddalony od początku przyjętego układu współrzędnych (położenie końca rozwartych łopat) o 2 cm i wynosił ok. 30×36 cm (Rys. 3).

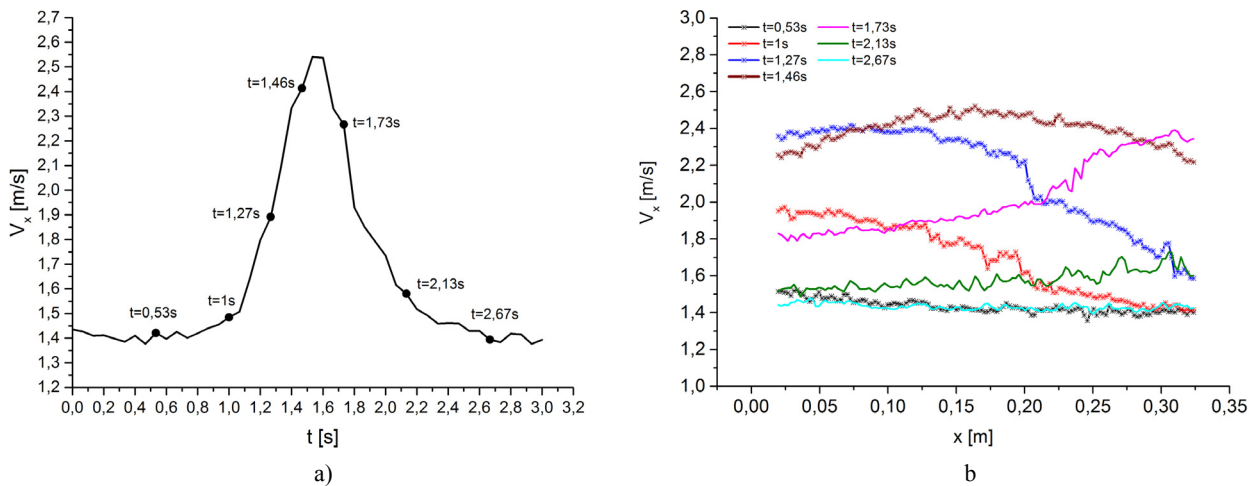


Rys. 4. Stanowisko pomiarowe

Na rysunku 5 przedstawiono kontury uśrednionych w czasie trwania pomiaru składowych wektora prędkości V_x , V_y , oraz ich odchylenia standardowe. Średnia prędkość wzdłużna, osi tunelu, V_x maleje wraz z oddalaniem się od łopat MWPD. Ruch łopat oraz wynikające z ich obecności nieciągłe przewężenie wprowadzają zaburzenia poprzeczne do przepływu.



Rys. 5. Kontury uśrednionych parametrów przepływu (z lewej strony prędkość, z prawej odchylenie standardowe)



Rys. 6. Rozkład prędkości: a) w czasie jednego cyklu zamykania i otwierania łopát b) wzdłuż osi x w kilku chwilach czasowych

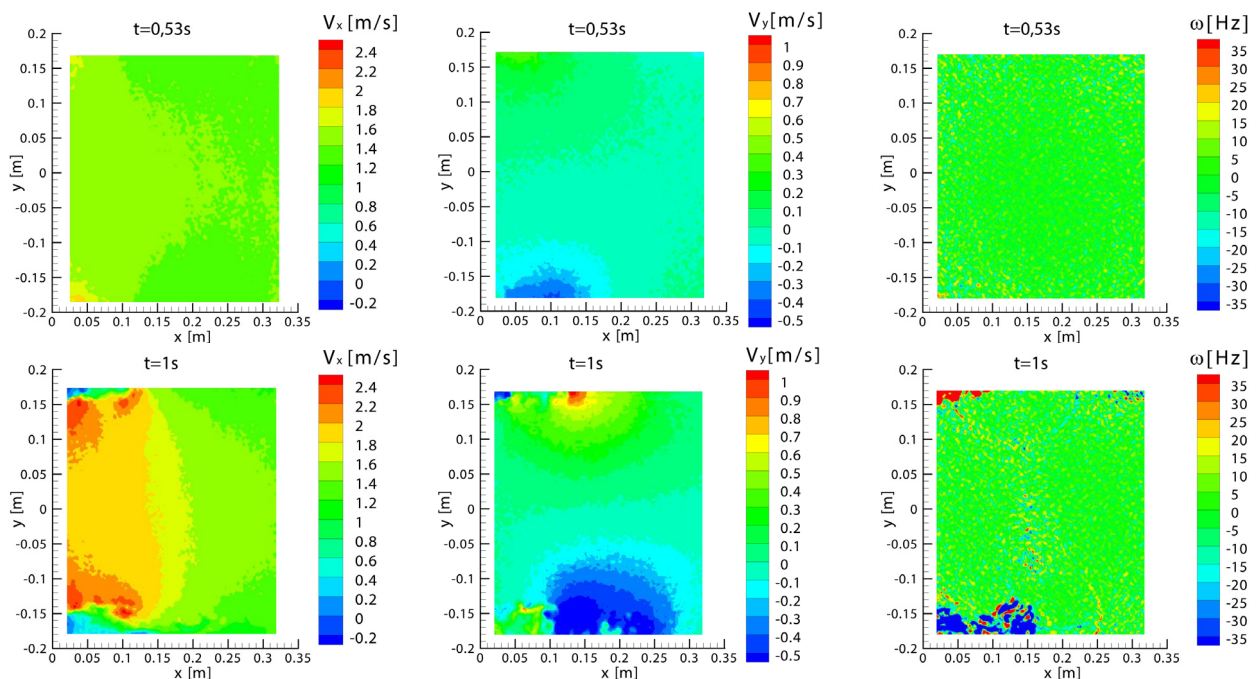
Na rysunku 6a przedstawiono przebieg prędkości V_x w czasie w punkcie pomiarowym znajdującym się w odległości 20 cm od końca rozwartych łopát MWPD; w osi komory pomiarowej ($y = 0$ cm, $x = 20$ cm). Otwieranie i zamykanie łopát modułu wymusza okresowe zmiany prędkości w komorze. Wraz z otwarciem łopát prędkość rośnie od 1,4 m/s do wartości wynoszącej ok. 2,6 m/s w czasie ok. 1 sekundy. Przestrzenne rozkłady prędkości V_x wzdłuż osi komory pomiarowej dla wybranych chwil czasowych przedstawiono na rysunku 6b.

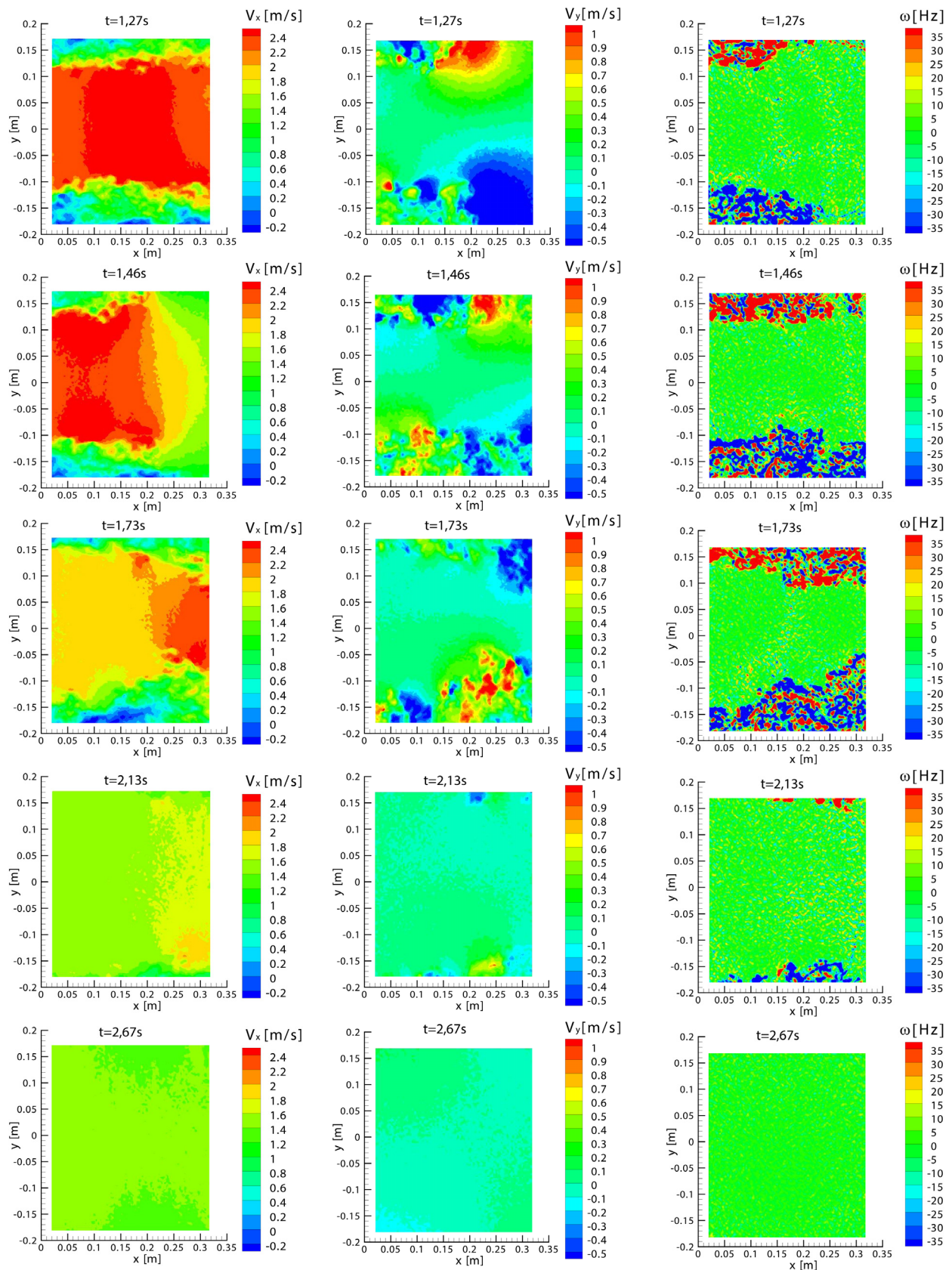
Na rysunku 7 zestawiono kontury składowych prędkości V_x , V_y oraz wirowości ω dla jednego cyklu zamykania i otwierania modułu w 7 różnych chwilach czasowych (por. Rys. 6). Wirowość wyznaczono ze wzoru:

$$\omega = \frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{\partial V_x}{\partial y} \quad (1)$$

Kontury prędkości poszczególnych parametrów pokazano w tych samych skalach barwnych. Na rysunkach widoczne są etapy generowania dynamicznych zmian prędkości w wybranych momentach czasowych oraz rozwój wirów powstających w przestrzeni pomiarowej.

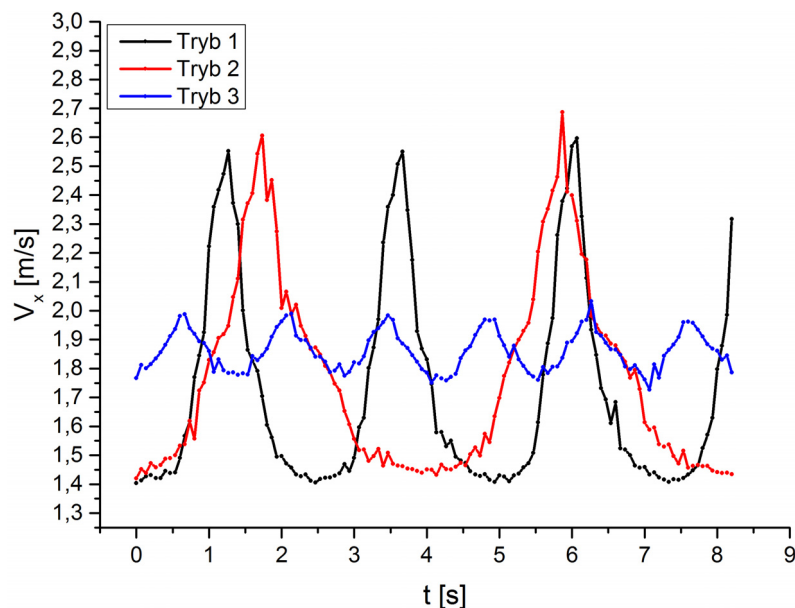
Przebiegi czasowe składowej prędkości V_x dla trzech trybów pracy MWPD zestawiono na rysunku 8. Jako początek wykresu ($t = 0$ sek.) przyjęto chwilę maksymalnego otwarcia łopát pracujących w danym





Rys. 7. Kontury składowych prędkości V_x , V_y oraz wirowości ω w 7 chwilach czasowych

trybie. Przy tej samej amplitudzie przemykania łopaty (tryb 1 oraz tryb 2) amplituda prędkości ma zbliżoną wartość wynoszącą ok. 1,15 m/s. Cykl otwarcia-przymknięcia łopaty wynosi dla trybu 1 ok. 2,5 s natomiast w trybie 2 ok. 4 s. W przypadku trybu 2 amplituda prędkości wynosi ok. 0,2 m/s natomiast czas trwania cyklu otwarcia-zamknięcia łopaty ok. 1,4 s.



Rys. 8. Rozkłady składowej prędkości V_x dla trzech trybów pracy MWPD

4. Podsumowanie

Przeprowadzono badania mające na celu sprawdzenie możliwości indukowania przepływów dynamicznie zmiennych w tunelu aerodynamicznym. Do generacji takich przepływów użyto MWPD wykorzystując cykliczne tryby pracy różniące się amplitudą przemykania przekroju poprzecznego oraz prędkością ruchu postępowego krawędzi łopat. Płaskie pola prędkości mierzono z częstotliwością 15 Hz za pomocą metody PIV.

W rozkładach prędkości w czasie wyróżnić można charakterystyczne cykle związane z otwieraniem oraz zamykaniem się łopat MWPD. Przedstawiono uśrednione w czasie oraz chwilowe pola skalarnie składowych prędkości oraz wirowości dla wybranego trybu pracy MWPD. Porównanie przebiegów czasowych składowej prędkości V_x w wybranym punkcie dla trzech trybów pracy MWPD obrazuje wynikające z nich różnice w przepływie. Biorąc pod uwagę skalę czasową charakterystycznych struktur przepływu widocznych na Rys. 8 konieczne jest wykonanie dalszych badań z wykorzystaniem metody o wyższej rozdzielczości czasowej niż PIV, np. za pomocą termooanemometrii.

Praca została wykonana w roku 2016 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

Dantec, 2013: *DynamicStudio User Guide*.

Raffel M., Willert C., Wereley C., Kompenshans J., 2007: *Particle Image Velocimetry: A practical guide*. Berlin Heidelberg New York : Springer-Verlag.

Westerweel J., 1997: *Fundamentals of digital particle image velocimetry*. Measurement Science and Technology, 8.

Investigation of dynamic flows in a wind tunnel with use of particle image velocimetry

Abstract

This paper presents investigations of dynamic flows generated in wind tunnel. Gusts generator device installed on measuring chamber inlet was used to produce unsteady velocity fields. Particle Image Velocimetry measurements were made for three selected modes of the generator. Velocity and vorticity scalar fields are presented for one cycle of closing and opening of the vanes. Temporal velocity courses in selected point were compared for all modes of the generator.

Keywords: Keywords: dynamic flows, dynamic flows generator, PIV, wind tunnel