

mgr inż. Aleksandra Szmelter¹⁾

Wyznaczanie pola wektorów prędkości strumienia powietrza wypływającego z nawiewnika

Determination of the field of velocity vectors of the air stream flowing out of the diffuser

DOI: 10.15199/33.2019.02.07

Streszczenie. W artykule zaprezentowano badanie doświadczalne z dziedziny wentylacji, przeprowadzone w Małopolskim Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego z wykorzystaniem metody *Stereo Particle Image Velocimetry* (Stereo PIV). Opisano wyposażenie laboratorium badawczego obejmujące system PIV, a także metodę. Zaprezentowano wstępne wyniki doświadczeń ze strumieniami powietrza wypływającego z nawiewnej kratki wentylacyjnej, stosowanej w typowym budownictwie mieszkaniowym.

Słowa kluczowe: *Particle Image Velocimetry*; metody pomiarowe; badania przepływów powietrza; wentylacja.

Abstract. The article presents an experimental study in the field of ventilation, carried out in the Malopolska Laboratory of Energy Efficient Buildings. *Stereo Particle Image Velocimetry* (Stereo PIV) method was used in the experiment. The specification of the equipment of the research laboratory including the PIV system was included, as well as a brief description of the method. Preliminary results of the tests of the air stream flowing out of the ventilation grille used in typical housing construction have been presented.

Keywords: *Particle Image Velocimetry*; measurements methods; air flow researches; ventilation.

Stanowisko naukowo-badawcze systemu *Stereo Particle Image Velocimetry* (Stereo PIV) w Małopolskim Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego zostało wyposażone w następujące elementy [2]:

- **źródło światła skupionego laser Double pulse laser Nd:YAG** z panelami kontrolno-sterowniczymi i układami chłodzenia (parametry lasera podano w tabeli 1);

- **ramię prowadzące**, umożliwiające zmianę położenia elementów optyki i lokalizacji wysyłanej z lasera wiązki światła oraz zmiany w kierunkach jej prowadzenia;

- **dwie kamery CCD VC Imager LX 8M Cam Link** oraz obiektywy AF Nikkor 50 mm f/1.4D, których parametry podano w tabeli 2.

- **dwa zestawy stołów przesuwanych 2D** o zakresie 1500 mm stosowane do lasera oraz kamer CCD, umożliwiające przemieszczanie tych urządzeń w dwóch płaszczyznach (poziomej i pionowej);

Współpraca poszczególnych elementów systemu jest realizowana przez

układ synchronizujący, tj. system komputerowy i specjalistyczne oprogramowanie Davis 8.

Tabela 1. Parametry lasera Double pulse Nd:YAG

Table 1. Double pulse laser Nd:YAG parameters

Kategoria	Wartość
Częstotliwość [Hz]	15
Długość fali [nm]	1064/532
Średnica wiązki światła [mm]	8
Energia wyjściowa przy 532 nm [mJ]	325

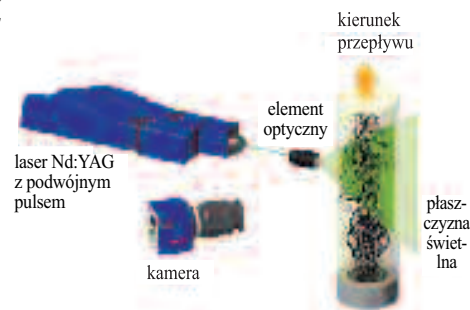
Tabela 2. Parametry kamery CCD VC Imager LX 8M Cam Link i obiektywu AF Nikkor 50 mm f/1.4D

Table 2. CCD VC Imager LX 8M Cam Link cameras and AF Nikkor 50 mm f/1.4D lens parameters

Kategoria	Wartość
Rozdzielczość (pionowo) [piksele]	3312
Rozdzielczość (poziomo) [piksele]	2488
Rozmiar piksela [μm]	5,5
Długość ogniskowa [mm]	50
Kąt obrazu [°]	46
Wymiar matrycy (pionowo) [mm]	18,2
Wymiar matrycy (poziomo) [mm]	13,7
Szczytowa wydajność (@500 nm) [%]	50

Metoda Stereo PIV i model badawczy

Metoda *Stereo Particle Image Velocimetry* to jedna z metod cyfrowej anemometrii obrazowej, uważana za relatywnie nieinwazyjną, gdyż nie zaburza w istotny sposób przepływu poddanego badaniom [1, 6]. Wymaga natomiast wprowadzenia do badanego przepływu tzw. znacznika, czyli cząstek, które podążają za przepływem, a następnie oświetlenia go mocnym światłem. W kolejnym kroku dokonuje się rejestracji obrazów cząstek (rysunek), na podstawie których wyznaczane są pola wektorów prędkości [3]. Stereo PIV jest prostym rozszerzeniem metody 2D Par-



Podstawowa konfiguracja systemu Particle Image Velocimetry [Źródło: www.lavision.de] Basic configuration of the Particle Image Velocimetry system

¹⁾ Politechnika Krakowska; Małopolskie Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego; aleksandra.szmelter@pk.edu.pl

ticle Image Velocimetry. 2D PIV mierzy dwa komponenty wektorów prędkości w płaszczyźnie dwuwymiarowej (2C2D), natomiast Stereo PIV umożliwia wyznaczenie trzech komponentów wektorów prędkości w obszarze wysyłanej przez laser wiązki świetlnej (3C2D).

Do eksperymentalnego badania wykonano strukturę prostego systemu wentylacyjnego (fotografia 1), składającego się z:

- kratki wentylacyjnej o średnicy 100 mm i powierzchni czynnej ok. 40%;
- wentylatora domowego o przepływie znamionowym 80 m³/h;
- kanału okrągłego o średnicy 100 mm wykonanego z tworzywa sztucznego;
- regulatora prędkości wentylatora z bezstopniową skalą regulacji.



Fot. 1. Model badawczy: wentylator, kanał wentylacyjny, kratka nawiewna
Photo 1. Research model: fan, ventilation duct, supply grid

W celu zaszczerpienia cząstek posiewu do przepływu zastosowano płyn DEHS (*Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat*), o gęstości 0,9 g/cm³ oraz generator posiewu PIVPart 45-M, który wytwarza cząsteczki aerozolu o przeciętnej średnicy 1 μm. Do zapewnienia odpowiedniego ciśnienia w generatorze użyto sprężarki tłokowej olejowej. Kalibrację kamer CCD Imager LX 8M Cam Link (fotografia 2) przeprowadzono z wykorzystaniem płyty kalibracyjnej, model 204-15, o parametrach: płytka trójwymiarowa; odległość między znacznikami: 15 mm; rozmiar znacznika: 3,2 mm; odległość pomiędzy płaszczyznami: 3 mm. Jako model dopasowania kamer 1 i 2 w programie Davis



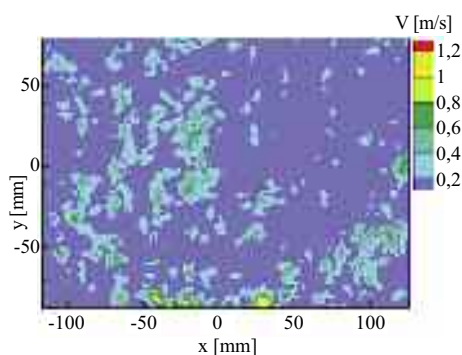
Fot. 2. Kalibracja kamer CCD: a) wyznaczenie punktów referencyjnych kamery 1; b) wyznaczenie punktów referencyjnych kamery 2; c) rezultat kalibracji
Photo 2. CCD cameras calibration: a) mark definition for camera 1; b) mark definition for camera 2; c) calibration result

zastosowano wielomian trzeciego rzędu. Kalibracja jest bardzo ważnym etapem przygotowania do badań. Jej precyzyjne przeprowadzenie umożliwia uzyskanie bardziej wiarygodnych obliczeń wektorów prędkości [5]. W doświadczeniu wykonano serię 15 zdjęć strumienia powietrza z nawiewnika. Parametry serii: czas trwania nagrania 1,76491 sekundy, częstotliwość lasera 8,499 Hz. Do zapisu obrazów oraz obliczeń wektorów prędkości wykorzystano oprogramowanie DaVis 8.4.

Na podstawie uzyskanych obrazów (fotografia 3) przeprowadzono serie obliczeń wektorów prędkości w przypadku różnych parametrów kalkulacji:

- wielkość okna korelacji: 64 x 64 [piksele]; 32 x 32 [piksele]; 16 x 16 [piksele];
- nakładanie podregionów: 75%; 50%; 25%.

Nie udało się uzyskać wiarygodnych wyników na podstawie standardowej metody kalkulacji. Zastosowano alternatywnie metodę sumy korelacji, która



Fot. 3. Pole wektorów prędkości w przypadku następujących parametrów kalkulacji: korelacja krzyżowa; rozmiar podregionu analizowanego obrazu: 64 x 64 piksele; nałożenie okien podregionu: 50%; metoda kalkulacji – sumowanie

Photo 3. Field of velocity vectors for calculation parameters: cross-correlation; interrogation window size: 64 x 64 pixels; overlap: 50%; calculation method – sum of correlation

pozwala na osiągnięcie dobrych rezultatów, jeśli interesuje nas tylko średnie pole wektorowe [3, 6].

Wnioski

Obrazy przepływu zarejestrowane kamerami CCD odzwierciedlają oczekiwany kształt strugi wypływu powietrza z nawiewnika. Natomiast pola wektorów prędkości uzyskane standardową metodą kalkulacji nie dały wiarygodnych wyników. Przyczyną tego mógł być słaby posiew lub zbyt wysokie szumy obrazów [3, 4]. W konsekwencji wybrano alternatywną metodę kalkulacji wektorów prędkości, tj. sumę korelacji lub inaczej – uśredniania zespołu i wyznaczono średnie pole wektorowe. Wyniki obliczeń otrzymane tą metodą potwierdziły oczekiwany rozkład strumienia powietrza.

Literatura

[1] Cao Xiaodong, Junjie Liu, Nan Jiang, Qingyan Chen. 2014. „Particle image velocimetry measurement of indoor airflow field: A review of the technologies and applications”. *Energy and Buildings* (69): 367 – 380.

[2] Fedorczyk-Cisak Małgorzata, Marcin Furtak. 2012. „Małopolskie laboratorium budownictwa pasywnego”. *Czasopismo Techniczne. Budownictwo* 109 (2-B): 93 – 103.

[3] LaVision Product Manual, Flow Master, item-Number (s): 1105011-4.

[4] Mejia-Alvarez R., K. T. Christensen. 2013. „Robust suppression of background reflections in PIV images”. *Measurement Science and Technology* 24 (2) 027003. DOI: 10.1088/0957-0233/24/2/027003.

[5] Neal Douglas R., Andrea Sciacchitano, Barton L. Smith, Fulvio Scarano. 2015. „Collaborative framework for PIV uncertainty quantification: the experimental database”. *Measurement Science and Technology* 26 (7): 074003. DOI: 10.1088/0957-0233/26/7/074003.

[6] Raffel Markus, Christian E. Willert, Fulvio Scarano, Christian. J. Kähler, Steven T. Wereley, Jürgen. Kompenhans. 2018. *Particle Image Velocimetry A Practical Guide Third Edition*.

Przyjęto do druku: 21.01.2019 r.