

# Wykorzystanie naturalnych fluktuacji parametrów przepływu do pomiaru wektora prędkości

PAWEŁ LIGEZA, PAWEŁ JAMRÓZ, ELŻBIETA POLESZCZYK, KATARZYNA SOCHA

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

## Streszczenie

Wadą standardowych metod anemometrii cieplnej jest trudność zastosowania i znacząca niepewność pomiaru w przepływach, w których występują fluktuacje temperatury i innych wielkości fizycznych o znacznej amplitudzie. Wynika to z oddziaływania fluktuacji na sygnał pomiarowy. W pracy zaproponowano nową metodę wyznaczania dwuwymiarowego lub trójwymiarowego wektora prędkości przepływu cieczy i gazów, która polega na zastosowaniu kilku detektorów fluktuacji temperatury lub innej wielkości fizycznej propagującej z prędkością ośrodka lub większą o znaną wartość. Zaletą proponowanej metody jest niewrażliwość na zmianę parametrów ośrodka oraz brak konieczności wzorcowania czujnika pomiarowego (bezwzględny pomiar wektora prędkości).

W pracy przedstawiono opracowany nowatorski czujnik, algorytm przetwarzania sygnału, wyniki badań oraz wskazano potencjalny obszar aplikacyjny.

**Słowa kluczowe:** wektor prędkości, fluktuacje temperatury, korelacja

## 1. Wprowadzenie

Rozpatrzmy zagadnienie punktowego pomiaru prędkości przepływu gazu w warunkach wysokiej temperatury oraz występowania znaczących fluktuacji temperaturowych w czasie i przestrzeni. Istnieje tu zasadnicza trudność w zastosowaniu anemometrii cieplnej ze względu na oddziaływanie fluktuacji na sygnał pomiarowy. W warunkach tych zastosowanie efektywnej metody kompensacji temperaturowej może okazać się niemożliwe [1-4]. Ponadto w standardowych metodach termianemometrycznych wymagane jest rozgrzanie elementów pomiarowych czujnika do temperatury znacznie przekraczającej temperaturę ośrodka. W przepływach wysokotemperaturowych może to być trudne do realizacji ze względów technologicznych konstrukcji czujnika. Powoduje to także lokalne zwiększenie temperatury ośrodka przez rozgrzany element czujnika, co może być niekorzystne w badanym procesie. Konieczność rozgrzania elementu czujnika wymaga również zastosowania w przyrządzie źródła zasilania o znacznej pojemności, co jest niekorzystne w przyrządach przenośnych, a także ze względu na wymogi iskrobezpieczeństwa.

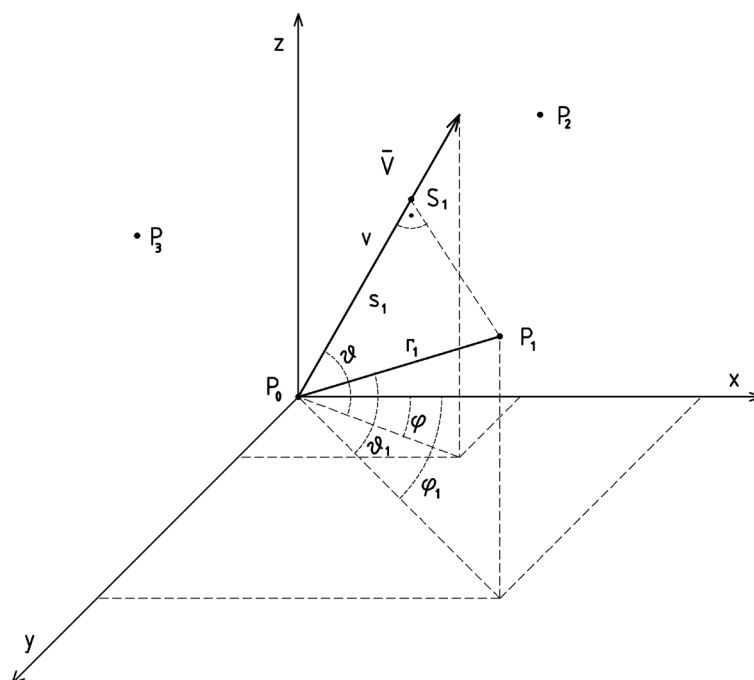
Rozwiązaniem może tu być pomiar prędkości przepływu poprzez badanie propagacji naturalnych fluktuacji temperatury w przepływie [5]. W artykule zostanie przedstawiona metoda pomiaru zmiennego w czasie wektora prędkości w obiektach posiadających silne źródło ciepła. Rozwiązanie to jest przedmiotem zgłoszenia patentowego [6].

## 2. Metoda pomiarowa

Zaproponowana metoda wyznaczania dwuwymiarowego lub trójwymiarowego wektora prędkości przepływu cieczy i gazów [6] wykorzystuje  $i + 1$ ,  $i \geq 2$  detektorów fluktuacji temperatury lub innej wielkości fizycznej propagującej z prędkością ośrodka lub większą od niej o znaną wartość. Detektory rozmieszczone są w punktach o zadanych współrzędnych przestrzennych. Z analizy sygnałów z detektorów wyznacza się czasy przelotu  $t_i$  płaskiej powierzchni izofazowej fluktuacji w kierunku wektora prędkości pomiędzy detek-

torami  $P_0P_i$ . Na tej podstawie z rozwiązania układu równań ruchu płaskiej powierzchni izofazowej fluktuacji wyznacza się wektor prędkości przepływu  $\vec{V}$ . Wyznaczoną prędkość przepływu koryguje się o wartość różnicy pomiędzy prędkością fluktuacji, a prędkością ośrodka. W pomiarach przepływów dwuwymiarowych stosuje się co najmniej trzy niewspółliniowe detektory, a w pomiarach przepływów przestrzennych co najmniej cztery detektory niewspółpłaszczyznowe.

W zaproponowanej metodzie zakłada się, że w przepływie istnieją fluktuacje temperatury, które propagują z prędkością ośrodka, a powierzchnie izofazowe fluktuacji w obszarze czujnika są płaskie i prostopadłe do wektora prędkości. Czas przelotu pomiędzy parą detektorów  $P_0P_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) wyznacza się za pomocą funkcji korelacji pochodzących z nich sygnałów. Z otrzymanych wartości czasów  $t_i$  oraz na podstawie współrzędnych rozmieszczenia detektorów w czujniku wyznaczany jest wektor prędkości przepływu poprzez rozwiązanie układu równań ruchu płaskiej powierzchni izofazowej fluktuacji w przepływie. Przyjmijmy sferyczny (geograficzny) układ współrzędnych przedstawiony na rysunku 1, z detektorem  $P_0$  umieszczonym w początku układu współrzędnych.



Rys. 1. Rozmieszczenie detektorów w układzie współrzędnych

Oznaczmy współrzędne rozmieszczenia pozostałych detektorów temperatury odpowiednio  $P_i(r_i, \phi_i, \vartheta_i)$ ,  $i = 1, 2, 3$ , a wektor prędkości  $\vec{V}(v, \phi, \vartheta)$ . Z zależności geometrycznych przedstawionych na rysunku 1 można wyznaczyć odległości  $s_i = vt_i$ , jakie pokonuje płaska powierzchnia izofazowa fluktuacji temperatury pomiędzy detektorami  $P_0 P_i$ , w kierunku wektora prędkości  $\vec{V}$ :

$$s_i = r_i \left[ \cos(\phi_i - \phi) \cos \vartheta_i \cos \vartheta + \sin \vartheta_i \sin \vartheta \right] = vt_i, \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

#### 4. Prototypowy czujnik pomiarowy

W celu przeprowadzenia badań laboratoryjnych skonstruowano prototypowy czujnik wieloelementowy, który pozwolił na eksperymentalną weryfikację rozważań teoretycznych. Rysunek 2 przedstawia szkielet czujnika pomiarowego i jego bazy pomiarowej.

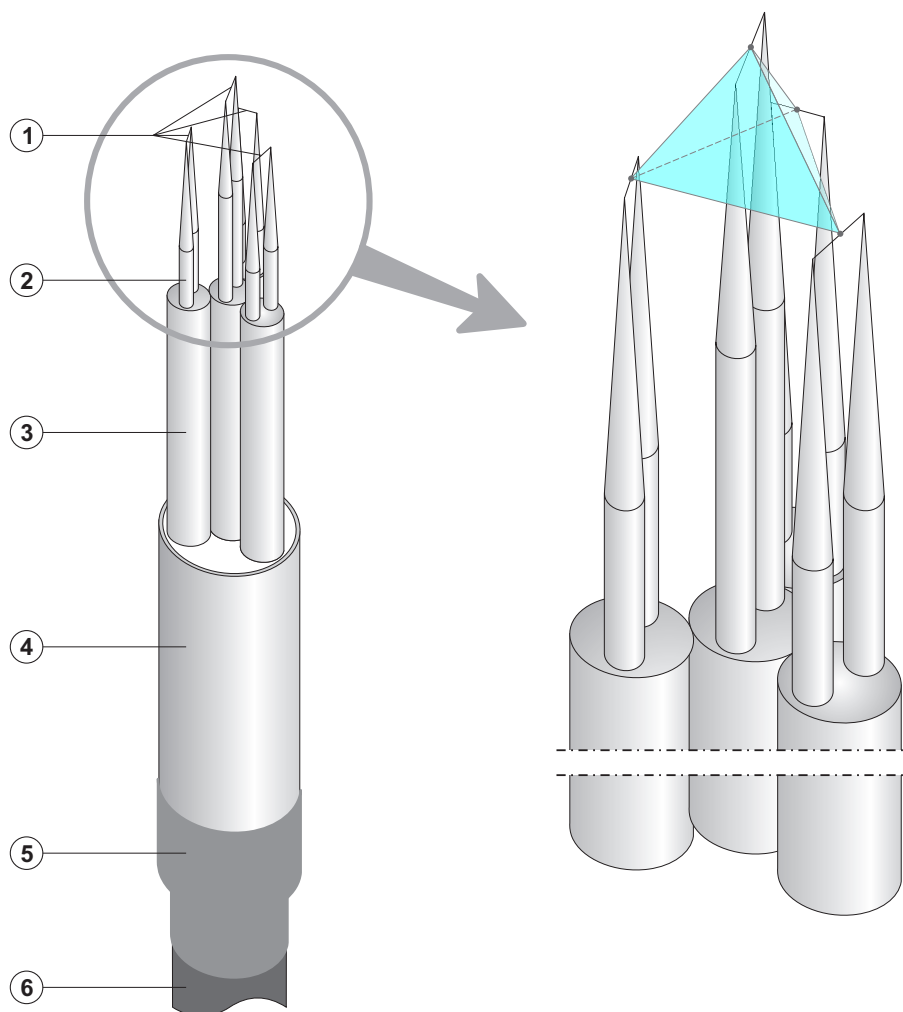
Baza pomiarowa czujnika składa się z czterech elementów aktywnych (1), trzy ( $P_1, P_2, P_3$ ) z nich leżą niewspółliniowo na jednej płaszczyźnie jako wierzchołki trójkąta równobocznego, czwarty ( $P_0$ ) znajdujący się powyżej tworzy z nimi cztery wierzchołki czworościanu foremego. Przy założeniu, że detektor  $P_0$  znajduje się w początku układu współrzędnych, to pozostałe detektory można związać z osiami. Wyznaczone

parametry rozmieszczenia detektorów dla tej konfiguracji, potrzebne do rozwiązania układu równania (1) zabrano w tabeli 1.

Tab. 1. Parametry rozmieszczenia detektorów dla wybranej konfiguracji

$P_i$	$P_1$	$P_2$	$P_3$
$r_i$	$r$	$r$	$r$
$\sim \varphi_i [^\circ]$	14,0362	75,9638	45,0000
$\sim \vartheta_i [^\circ]$	13,6330	13,6330	70,5288

Elementy aktywne wykonano z cienkiego drutu wolframowego o średnicy  $3 \mu\text{m}$ , o długości  $0,5 \text{ mm}$  i rezystancji około  $5 \Omega$ . Rozmieszczone w wierzchołkach czworościanu foremego stanowią niewspółpłaszczyznowy, przestrzenny układ detektorów fluktuacji temperatury medium. Ze względu na ich miniaturowe rozmiary. Można przyjąć, że stanowią układ detektorów quasi-punktowych. Pary wsporników (2), do których przytwierdzono detektory osłonięto cienkimi, dwuotworowymi rurkami ceramicznymi (3), które stanowią element stabilizujący konstrukcję i umożliwiający pracę w wysokich temperaturach medium. Układ przestrzenny elementów wyznacza izolator czujnika (4) wykonany z teflonu, który pozwala na stabilne zorientowanie w przestrzeni kolejnych detektorów. Korpus czujnika stanowi rurka mosiężna (5) połączona osłoną (6) z ekranowanym przewodem ośmiożyłowym (7). Tak wykonany czujnik ze względu na zastosowane technologie lutowania i klejenia umożliwia prowadzenie pomiarów w konfiguracji, w której wyłącznie elementy aktywne wprowadzane są do obszaru wysokiej temperatury. W pomiarach wymagających wprowadzenia całego czujnika wraz z przewodem do obszaru nagrzanego ośrodka wymagane jest wykonanie

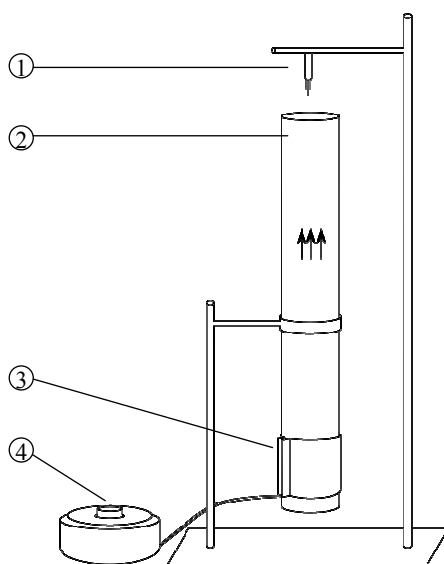


Rys. 2. Prototypowy czujnik pomiarowy

go w technologii wysokotemperaturowej. Połączenia elektryczne wykonuje się w technologii zaciskania i zgrzewania, natomiast do klejenia używa się klejów ceramicznych do wysokich temperatur. Jako przewód przyłączeniowy stosuje się specjalistyczny wysokotemperaturowy kabel ekranowany z izolacją z włókna szklanego. Umożliwia to pracę czujnika w ośrodku o temperaturze do około 700 K.

## 5. Stanowisko pomiarowe

Wykonanie szczegółowych badań eksperymentalnych zaproponowanej metody pomiarowej wymaga zbudowania stanowiska pomiarowego pozwalającego na generowanie w sposób ściśle określony zmiennego przepływu w zakresie temperatury. Konstrukcja takiego stanowiska stanowi osobne zagadnienie naukowe. Dlatego zdecydowano się na wstępną weryfikację metody z użyciem istniejącego już stanowiska (rysunek 3). Umożliwia ono wygenerowanie przepływu niestacjonarnego w zakresie prędkości i temperatury, jednak bez możliwości określenia dokładnego charakteru tych zmian. Generowanie przepływu zmiennego odbywa się z wykorzystaniem zjawiska konwekcji swobodnej. W tym celu podgrzewana jest dolna część przewodu wentylacyjnego (2) stanowiącego aluminiową rurę o średnicy 50,8 mm. Do podgrzania wykorzystano grzałkę opaskową (3), której moc regulowana jest przez autotransformator (4) w zakresie do 900 W. Rozwiązanie to daje podstawy do założenia, że generowany przepływ cechuje dominująca składowa zgodna z osią tunelu, a wyniki z odpowiednio umieszczonej sondy pomiarowej pozwolą na wstępną weryfikację działania opisywanej metody pomiarowej w rzeczywistych warunkach.



Rys. 3. Schemat stanowiska pomiarowego

Do zasilania czujnika (1) wykorzystano czterokanałowy układ stałoprądowo-stałowtemperaturowy [7], który przetwarza sygnały z detektorów na analogowe sygnały wyjściowe proporcjonalne do temperatury. Sygnały te przetwarzane są na sygnały cyfrowe za pomocą karty pomiarowej NI9162.

## 6. Algorytm przetwarzania danych

Do wyznaczenia wektora prędkości przepływu wykorzystano metodę korelacji wzajemnej dwóch sygnałów. Korelowany jest sygnał pochodzący z detektora  $P_0$  z sygnałem z kolejnych detektorów  $P_i$ , gdzie  $i=1,2,3$ . W pierwszym kroku prezentowanego algorytmu z każdego sygnału pomiarowego wycinany jest fragment o zadanej długości próbek dla tego samego przedziału czasowego. Przed przystąpieniem do obliczeń fragmenty sygnałów zostają przekształcone, według następującego schematu:

$$\bar{x} = (x - \bar{x}) \cdot w \quad (2)$$

gdzie:

- $x$  – sygnał pomiarowy,
- $\bar{x}$  – wartość średnia sygnału,
- $w$  – okno czasowe.

Na początku od fragmentu sygnału zostaje odjęta wyliczona dla niego wartość średnia. Ma to na celu ograniczenie jej wpływu na wynik korelacji. Z kolei, aby ograniczyć gwałtowne nieciągłości na początku i na końcu badanego fragmentu sygnału, zastosowano parametryczne okno Tukeya. Dzięki temu największy wpływ na wynik podczas korelacji ma środkowy fragment sygnału. Do obliczania wartości okna wykorzystuje się parametr określający ile sygnału ulegnie zmianie, a ile zostanie bez zmian [5]. W prezentowanym algorytmie przyjęto 20% okres przejściowy. W kolejnym kroku sygnał pochodzący z detektora  $P_0$  jest kolejno korelowany z pozostałymi sygnałami. W wyniku korelacji otrzymywana jest macierz, w której poszukuje się wartości maksymalnych  $x_{\max}$ . Następnie z zależności (3) określane jest opóźnienie czasowe między korelowanymi sygnałami (czas przelotu), proporcjonalne do prędkości przepływu.

$$t = \frac{x_{\max}}{f} \quad (3)$$

gdzie:

- $f$  – częstotliwość próbkowania,
- $x_{\max}$  – wartość przesunięcia wyznaczona z korelacji.

Znając opóźnienie czasowe między sygnałami można na podstawie zależności (1) wyznaczyć wektor prędkości przepływu dla badanego odcinka czasowego sygnału. W prezentowanym algorytmie do określenia parametrów wektora prędkości zastosowano, zaimplementowaną w Matlabie (funkcja *fminsearch*), metodę Nelder-Meada (sympleksową metodę spadku). Metoda ta służy do wyznaczania minimum nieliniowej funkcji wielu zmiennych, bez korzystania z jej pochodnych [8]. W wyniku działania funkcji optymalizacyjnej otrzymuje się wektor prędkości przepływu wyrażony w układzie sferycznym  $\bar{V}(v, \varphi, \vartheta)$ .

Po wyznaczeniu wektora prędkości dla danego przedziału czasowego, do dalszych obliczeń brany jest kolejny fragment sygnału przesunięty o zadaną liczbę próbek w stosunku do początku poprzedniego analizowanego fragmentu.

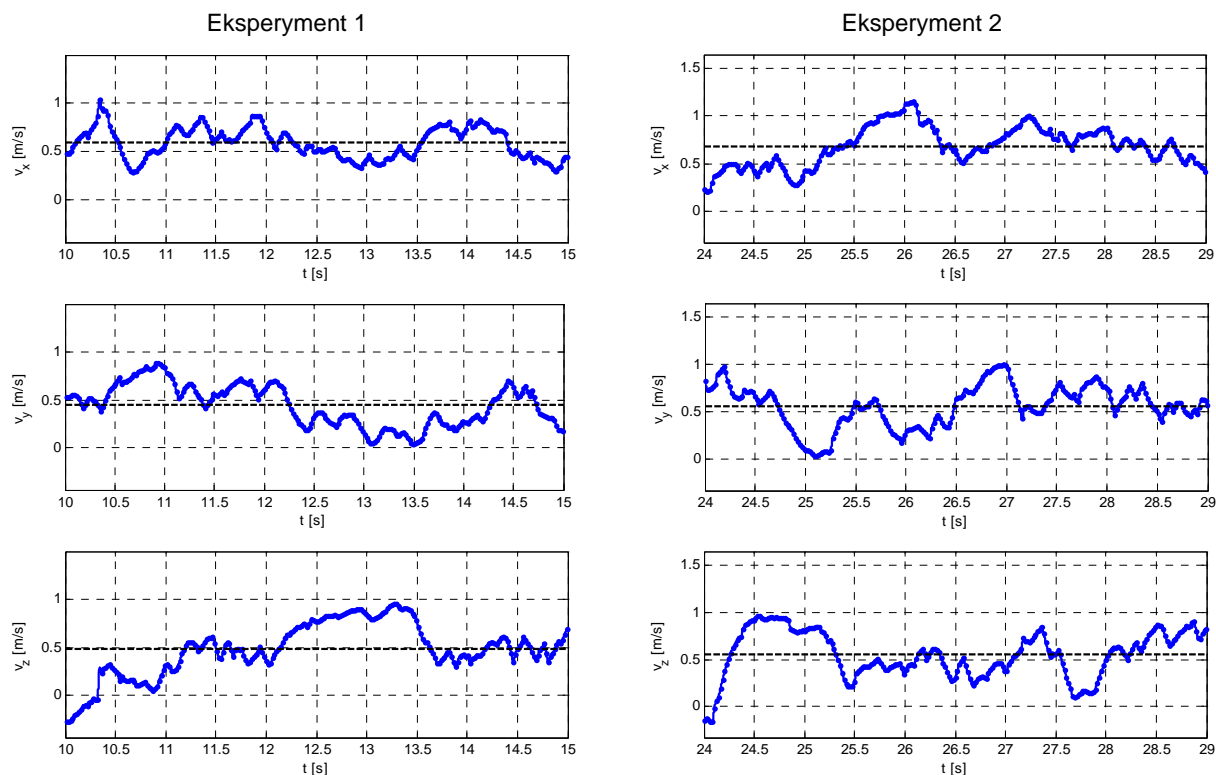
## 7. Badania eksperymentalne

Celem badań eksperymentalnych była wstępna weryfikacja przyjętych założeń związanych z przedstawioną metodą pomiarową i próba potwierdzenia zdolności pomiarowych opracowanego systemu pod kątem pomiaru wartości prędkości i kierunku przepływu. Pomiary przeprowadzono z wykorzystaniem włókien w układzie termometrów stałoprądowych, których sygnał rejestrowano z częstotliwością 25 kHz.

### Wrażliwości metody pomiarowej na zmianę modułu prędkości

W pierwszej fazie eksperymentu sonda została umieszczona w osi tunelu, co powoduje, że napływ następuje wzdłuż osi czujnika. Przypadek ten zakłada, że kolejne wartości przebiegu fali cieplnej przepływają w pierwszej kolejności przez włókno  $P_0$ , a następnie z opóźnieniem zależnym od wartości prędkości przepływu docierają równocześnie do kolejnych włókien  $P_1$ ,  $P_2$  i  $P_3$ . W idealnym przypadku, w którym kierunek przepływu pokrywa się z osią sondy pomiarowej w wyniku pomiaru powinno uzyskać się wektor prędkości  $\bar{V}$  opisany przez trzy składowe w układzie współrzędnych związanych z sondą pomiarową  $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_z$  o takiej samej wartości. Eksperyment powtórzono dwukrotnie dla różnych stopni nagrzania stanowiska pomiarowego, powodujących zmianę prędkości przepływu. W pierwszym przypadku uzyskano średnią prędkość przepływu 0,95 m/s, natomiast po zmianie mocy grzania średnia prędkość wynosiła 1,15 m/s. W obu przypadkach wskazania anemometru skrzydełkowego  $\mu\text{As3}$  zmieniły wartość maksymalnie o 0,5 m/s od wartości średniej.

W wyniku przeprowadzenia eksperymentu uzyskano dane przedstawione na rysunku 5. W kolejnych wierszach przedstawiono fragmenty otrzymanych wyników – składowe  $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_z$ . Dodatkowo linią przerywaną zaznaczono wartości średnie w określonych przedziałach czasu.



Rys. 5. Wartości składowych wektora prędkości – eksperyment z sondą umieszczoną osiowo względem przepływu

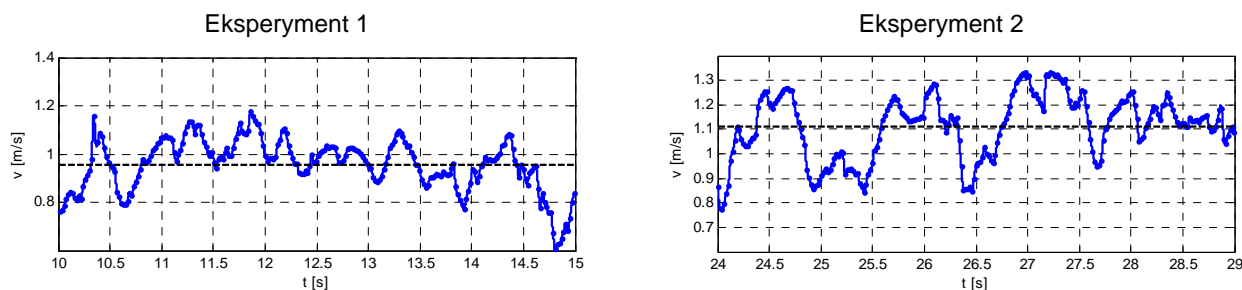
Uzyskane wyniki charakteryzują się zmiennością w zakresie do 0,6 m/s od wyznaczonych prędkości średnich. Odchylenie standardowe o maksymalnej wartości 0,28 m/s odnotowano dla pomiaru składowej  $v_z$  w eksperymencie 1. Zwiększenie prędkości przepływu spowodowało zmianę wartości składowych. Wyznaczone wartości średnie składowych w eksperymencie 1 wynoszą odpowiednio  $v_x = 0,59$  m/s,  $v_y = 0,45$  m/s,  $v_z = 0,48$  m/s, natomiast w przypadku eksperymentu 2:  $v_x = 0,68$  m/s,  $v_y = 0,56$  m/s oraz  $v_z = 0,55$  m/s. Średnie wartości poszczególnych składowych w kolejnych eksperymentach różnią się między sobą maksymalnie o 0,14 m/s w eksperymencie 1 oraz o 0,13 m/s w eksperymencie 2, przy czym składową o największych wartościach w obu pomiarach jest składowa  $v_x$ , co może być spowodowane niedokładnym ustawieniem sondy pomiarowej lub nieosiowym charakterem przepływu.

Zwiększenie prędkości przepływu spowodowało porównywalne zmiany wartości poszczególnych składowych wektora prędkości. Różnice między kolejnymi składowymi wynoszą odpowiednio: dla składowych  $v_x - 0,09$  m/s, dla składowych  $v_y - 0,11$  m/s, dla składowych  $v_z - 0,08$  m/s. Zwiększenie wartości składowych wpływa na zmianę wartości modułu wektora prędkości, którego średnia wartość w pierwszym przypadku wynosiła 0,96 m/s, natomiast w przypadku drugim 1,11 m/s. Chwilowe wartości modułu prędkości oraz jego wartość średnią przedstawiono na rysunku 6.

Wyniki przeprowadzonego eksperymentu wykazują wrażliwość metody pomiarowej na zmianę wartości prędkości przepływu. Wyznaczone średnie wartości prędkości przepływu z wykorzystaniem prezentowanej metody pomiarowej odpowiadają średnim wartościom prędkości zmierzonym z wykorzystaniem anemometru skrzydełkowego. Różnice między wyznaczonymi średnimi wartościami prędkości wynoszą 0,01 m/s w eksperymencie 1 oraz 0,04 m/s w eksperymencie 2.

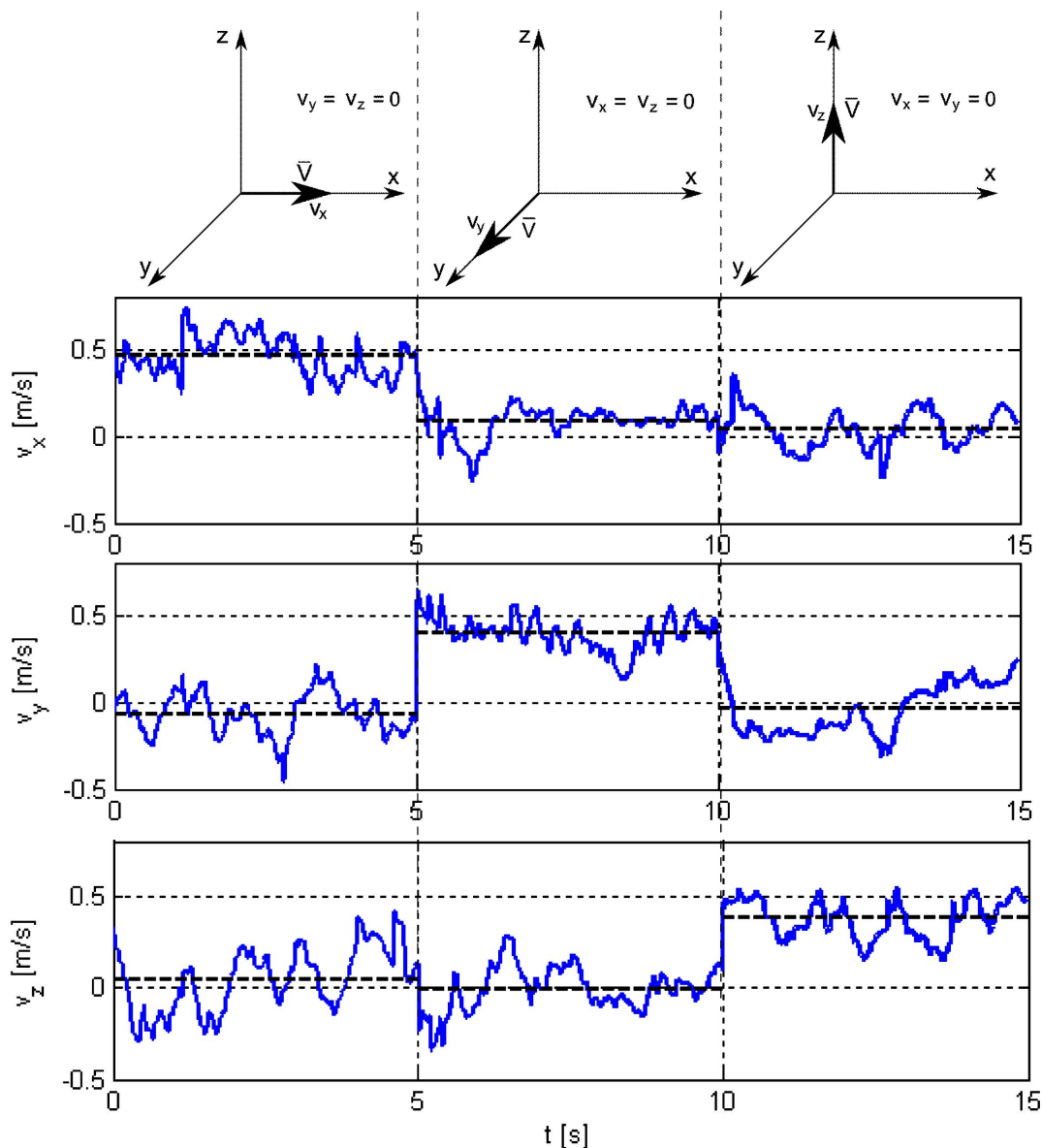
### Wrażliwość metody pomiarowej na zmianę kierunku przepływu

W drugim etapie badań eksperymentalnych wykonano trzy serie pomiarowe, w których kolejne osie układu współrzędnych związanego z sondą pomiarową pokrywały się z dominującą składową w generowanym przepływie. W wyniku takich ustawień sondy pomiarowej uzyskane wyniki powinny charakteryzować się jedną dominującą składową wektora prędkości oraz dwiema składowymi o wartościach zbliżonych do zera.



Rys. 6 Wartości modułu wektora prędkości – eksperyment z sondą umieszczoną osiowo względem przepływu

Na podstawie zarejestrowanych sygnałów pomiarowych i obliczeń algorytmicznych przedstawionych w punkcie 6 wyznaczono kolejne wartości prędkości w wybranych pięciosekundowych przedziałach czasu dla składowych  $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_z$ . Zebrane dane przedstawiono na rysunku 7, na którym linią przerywaną zaznaczono dodatkowo wartości średnie poszczególnych składowych. Wyznaczone chwilowe wartości prędkości charakteryzują się zmiennością odpowiadającą zmianom chwilowych wartości prędkości przedstawionym w eks-



Rys. 7. Wartości składowych wektora prędkości – eksperyment z sondą umieszczoną ukośnie względem przepływu

perymencie 1. Analiza uzyskanych wyników oparta jest na średnich wartościach prędkości poszczególnych składowych wektora prędkości (tabela 2) dla kolejnych ustawień sondy, dla których dominująca składowa przepływu pokrywa się z kolejnymi osiami układu współrzędnych związanego z sondą pomiarową.

Tab. 2. Średnie wartości składowych wektora prędkości uzyskane dla trzech ukośnych ustawień sondy względem przepływu

Składowe wektora prędkości	Średnie wartości składowych [m/s]		
	ustawienie w osi x	ustawienie w osi y	ustawienie w osi z
$v_x$	0,47	-0,06	0,04
$v_y$	0,09	0,40	-0,01
$v_z$	0,04	-0,04	0,38

Wraz ze zmianą położenia sondy następuje zmiana wartości składowych wektora prędkości przepływu. Średnie wartości poszczególnych składowych zmieniają się w sposób odpowiadający ustawieniu sondy względem głównej składowej wektora prędkości przepływającego medium. Uzyskane wartości maksymalne składowych rejestrowane są w chwilach czasowych, w których następuje przepływ do nich równoległy. W chwilach tych średnie wartości prędkości pozostałych składowych zbliżone są do zera. Uzyskane wyniki potwierdzają założenia dotyczące wrażliwości prezentowanej metody pomiarowej na zmianę kierunku przepływu.

## 8. Podsumowanie

Przedstawione rozwiązanie przeznaczone jest w szczególności do pomiarów wektora prędkości w obiektach posiadających silne źródło ciepła, takich jak: piece, suszarnie, instalacje grzewcze lub maszyny ciepłe. Opisana metoda pomiarowa bazuje na badaniu propagacji fluktuacji temperatury w przepływie. Zakłada ona wykorzystanie układów termooanemometrycznych, których stosowanie w warunkach nieizotermicznych obciążone było do tej pory dużą niepewnością spowodowaną wrażliwością charakterystyki przetwarzania termooanemometrów na zmiany warunków pomiarowych. W obecnym układzie nie wykorzystuje się charakterystyk, a jedynie napięciową odpowiedź układu pomiarowego, na podstawie której wyznaczane są przesunięcia czasowe w rejestrowanych sygnałach pomiędzy kolejnymi parami włókien pomiarowych, w związku z czym nie jest wymagane wzorcowanie systemu termooanemometrycznego.

Opisane wyniki wstępnych badań eksperymentalnych z użyciem niedoskonałego stanowiska pomiarowego pozwalają na wstępne potwierdzenie założeń dotyczących prezentowanej metody. Wskazują one również na potrzebę stworzenia stanowiska, które pozwoli na zmianę parametrów przepływu w sposób znany i kontrolowany. Umożliwi to przeprowadzenie szeregu dodatkowych eksperymentów, na podstawie których możliwym będzie przebadanie różnych algorytmów pomiarowych związanych z wyznaczaniem wektora prędkości za pomocą metod korelacji.

Praca została wykonana w roku 2012 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

## Literatura

- [1] Ligęza P., 2009: *Simultaneous velocity and temperature measurements in transient gas flows* (book); IMG PAN, Kraków.
- [2] Ligęza P., 2012: *Compendium of two-state hot-wire anemometer measurement method* (book); IMG PAN, Kraków.
- [3] Ligęza P., 2008: *Optimization of Single-Sensor Two-State Hot-wire Anemometer Transmission Bandwidth*; Sensors nr 8, s. 6747-6760.
- [4] Ligęza P., 2004: *Experimental verification of a method of non-isothermal gas flow measurements*; Archives of Mining Sciences, vol. 49, nr. 2, s. 205-222.
- [5] Socha K., Jamróz P., Ligęza P., Poleszczyk E., 2011: *Koncepcja precyzyjnego pomiaru parametrów przepływów gazów w zakresie małych prędkości z uwzględnieniem zmiany zwrotu i temperatury*; Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, vol. 13, nr 1-4, s. 229-237.
- [6] Ligęza P., 2012: *Sposób wyznaczania dwuwymiarowego lub trójwymiarowego wektora prędkości przepływu cieczy i gazów oraz elektroniczny anemometr wektorowy*; Zgłoszenie Patentowe P-399353, Warszawa.



- 
- [7] Ligeża P., 2000: *A four-point constant-current/temperature controlled circuit for anemometric applications*; Review of Scientific Instruments, vol. 71, nr. 1, s. 109-112.
- [8] Matlab, Optimization Toolbox 3, User's Guide.

## Utilization of natural fluctuations of flow parameters in velocity vector measurement

### Abstract

The main drawback of most thermal anemometry methods is their limited applicability and a major uncertainty in measurements taken in flows where temperature and other physical parameters are subject to large-amplitude fluctuations. The uncertainty is the consequence of fluctuations interfering with the measurement signal. The authors propose a new method of finding a 2D or 3 D vector of flow velocity of fluids, involving the use of several detectors of temperature fluctuations or other physical quantity propagating with the speed equal to that of the medium flow or larger by a known amount. The advantage of the proposed method is that it is insensitive to variations of medium parameter and the sensor need not be calibrated (absolute measurement of the velocity vector). The paper briefly describes the novel solution, the signal processing algorithm and the range of potential applications.

**Keywords:** velocity vector, temperature fluctuations, correlation