

Anemometr z falą cieplną i anemometr TSI – porównanie

DOMINIK KĘSEK, JAN KIELBASA, ELŻBIETA POLESZCZYK, ANDRZEJ RACHALSKI

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

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki pomiaru prędkości przepływu powietrza za pomocą anemometru z falą cieplną, termoanemometru stałotemperaturowego firmy TSI IFA 300 oraz bezmostkowego stałotemperaturowego termoanemometru CCC 2002. W pracy pokrótce omówiono sposób wyznaczania prędkości przepływu dla zastosowanych sposobów pomiaru, przedstawiono schematy użytych przyrządów. Przedstawiono przykładowe przebiegi mierzonych sygnałów oraz obliczono poziomy turbulencji dla przyjętych prędkości.

Słowa kluczowe: anemometr stałotemperaturowy, anemometr z falą cieplną, prędkość przepływu

1. Wprowadzenie

Dotychczasowy stan wiedzy daje możliwość pomiaru prędkości przepływu gazu za pomocą różnych metod i przyrządów. W Pracowni Metrologii Przepływów Instytutu Mechaniki Górotworu PAN od wielu lat rozwijany i doskonalony jest sposób pomiaru prędkości przepływu powietrza z wykorzystaniem fal cieplnych [1, 2].

Ideą przeprowadzonych badań było sprawdzenie poprawności pomiarów prędkości przepływu powietrza anemometrem z falą cieplną z zastosowaniem sygnału złożonego typu MBS (*Multifrequency Binary Sequence*), oraz porównanie ich z wynikami otrzymanymi za pomocą termoanemometru stałotemperaturowego, w zakresie małych prędkości.

Badania przeprowadzono wykorzystując urządzenie wzorujące firmy TSI. Celem badań było sprawdzenie poprawności pomiarów prędkości przepływu powietrza, dla założonego przedziału prędkości, anemometrem z falą cieplną z zastosowaniem sygnału złożonego typu MBS.

2. Przyrządy pomiarowe

Badania porównawcze prowadzone były dla niewielkich prędkości przepływu powietrza w zakresie od 0,1 do 1 m/s, w temperaturze otoczenia $T_0 = 24^\circ\text{C}$. Badania prowadzono na stanowisku firmy TSI model 1129 (Rys. 1). Przepływ jest wytwarzany za pomocą układu pneumatycznego, który reguluje prędkość wypływu powietrza z dyszy urządzenia za pomocą zaworów sterowanych elektrycznie.

Charakterystykę prędkościową tego urządzenia wyznaczono z pomiaru precyzyjnym anemometrem z falą cieplną.

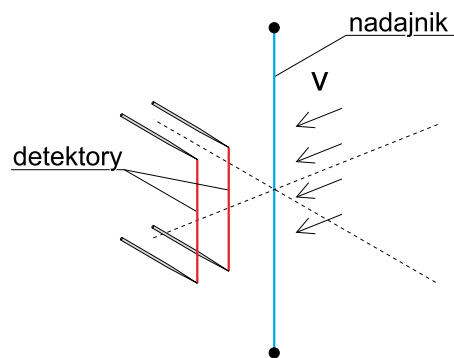
Sygnał cieplny wytwarzany na nadajniku (Rys. 2) przenoszony jest wraz z przepływem na detektor. Pomiaru prędkości przepływu za pomocą fal cieplnych dokonuje się dzięki wyznaczeniu przesunięcia fazowego dla sygnałów rejestrowanych na detektorach. Do badań użyto termoanemometru CCC'2002 pracującego w układzie z falą cieplną z zastosowaniem sygnału złożonego typu MBS na źródle fali.

Wyniki rejestrowano za pomocą karty pomiarowej National Instruments podłączonej do komputera.

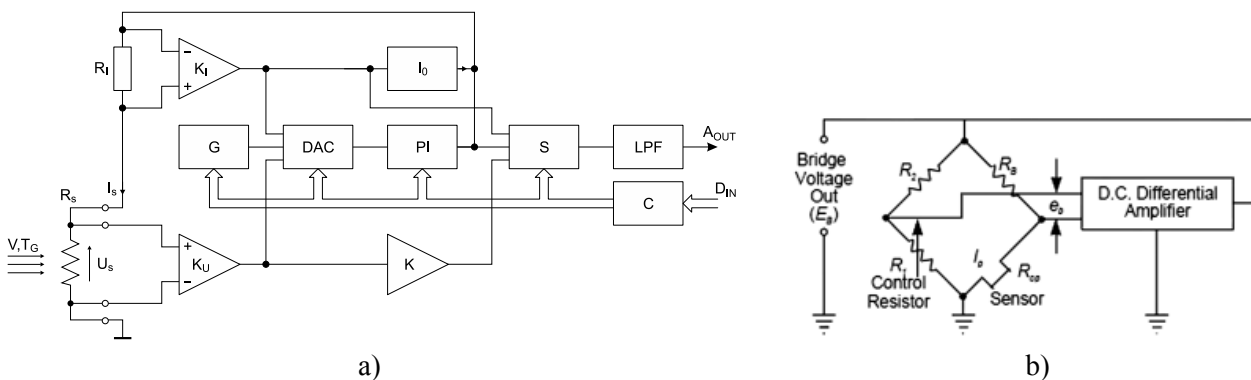
Przyrząd pomiarowy TSI IFA 300 to termoanemometr w układzie stałotemperaturowym. Miarą prędkości przepływu jest napięcie mierzone na mostku urządzenia (Bridge Voltage Rys. 3b). Pomiaru prowadzono korzystając z dedykowanego dla tego przyrządu oprogramowania TermalPro.



Rys. 1. Stanowisko wzorujące firmy TSI model 1129 [5]



Rys. 2. Schemat ustawienia układu nadajnik – detektor w anemetrze z falą cieplną



Rys. 3. a) Schemat blokowy układu anemometru CCC'2002 [3]. b) Schemat mostka anemometru TSI IFA 300 [4]

Wykonano również pomiary porównawcze termooanemometrem CCC'2002. Jest to bezmostkowy anemometr cyfrowy w układzie stałotemperaturowym. Schemat blokowy tego anemometru przedstawiony jest na rysunku 3a.

Do pomiaru prędkości przepływu powietrza, dla obu urządzeń, użyto sondy z włókna wolframowego o długości 2 mm oraz średnicy 5 μm .

Wyznaczono poziom turbulencji w przepływie dla skrajnych wartości stosowanych prędkości, oraz dla różnych okien czasowych. Wyniki zamieszczono w tabelach poniżej.

Przyrząd IFA 300 zarejestrował nieco wyższy poziom turbulencji niż CCC 2002. Wynikać to może z wyższego pasma częstotliwości przenoszenia sygnału dla tego urządzenia oraz z dłuższego czasu pojedynczego pomiaru. Jednocześnie poziom turbulencji jest na tyle mały że nie wpływa na wyniki pomiaru anemometrem z falą cieplną.

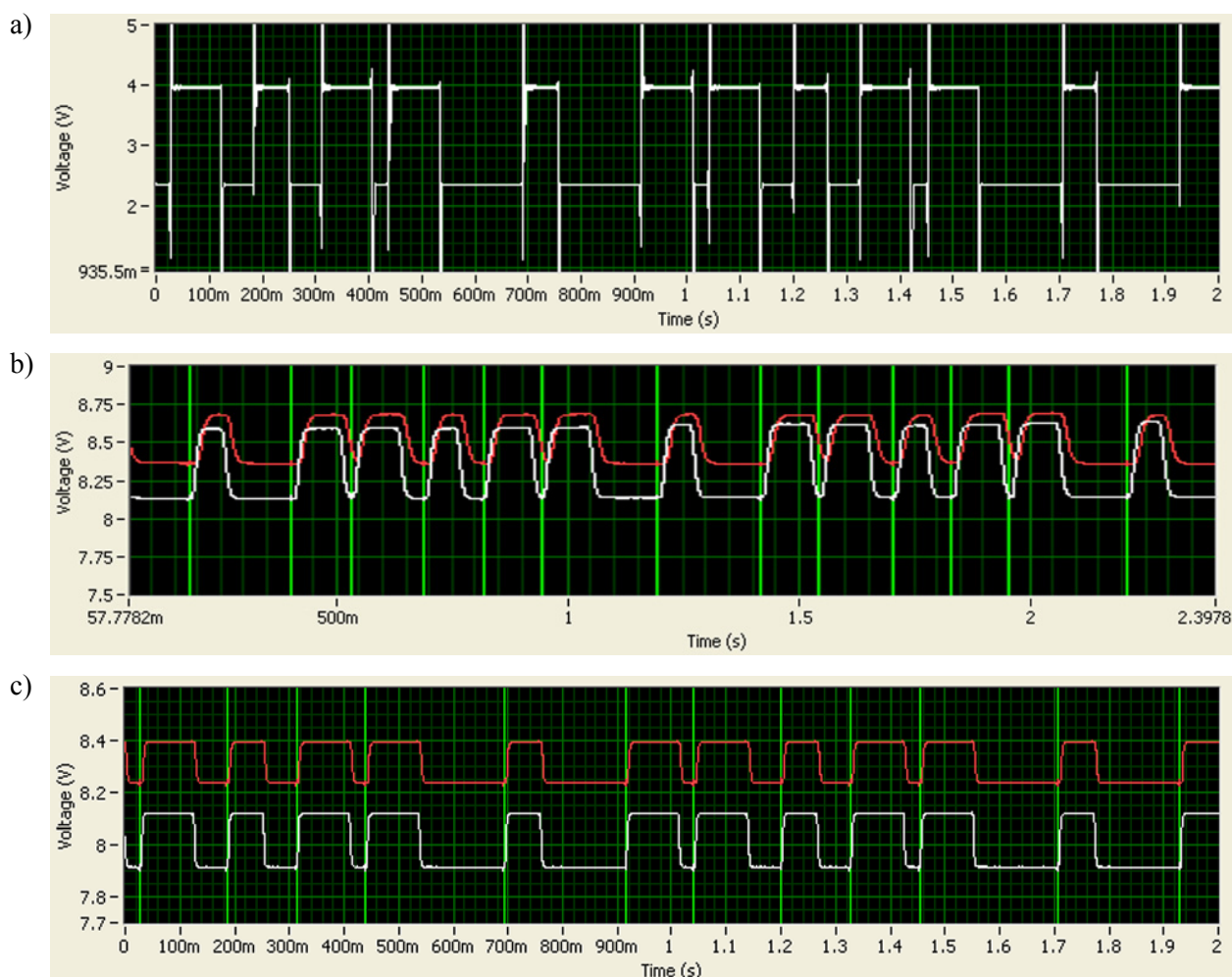
Tab. 1. Poziomy turbulencji dla nastaw prędkości $v = 11$ cm/s oraz $v = 72$ cm/s

Anemometr TSI IFA 300			Anemometr CCC 2002		
Prędkość zadana [cm/s]	Średnia prędkość [cm/s]	Poziom turbulencji [%]	Prędkość zadana [cm/s]	Średnia prędkość [cm/s]	Poziom turbulencji [%]
11	13,95	0,52	11	16,32	0,16
72	71,72	0,29	72	79,42	0,08

3. Wyniki pomiarów

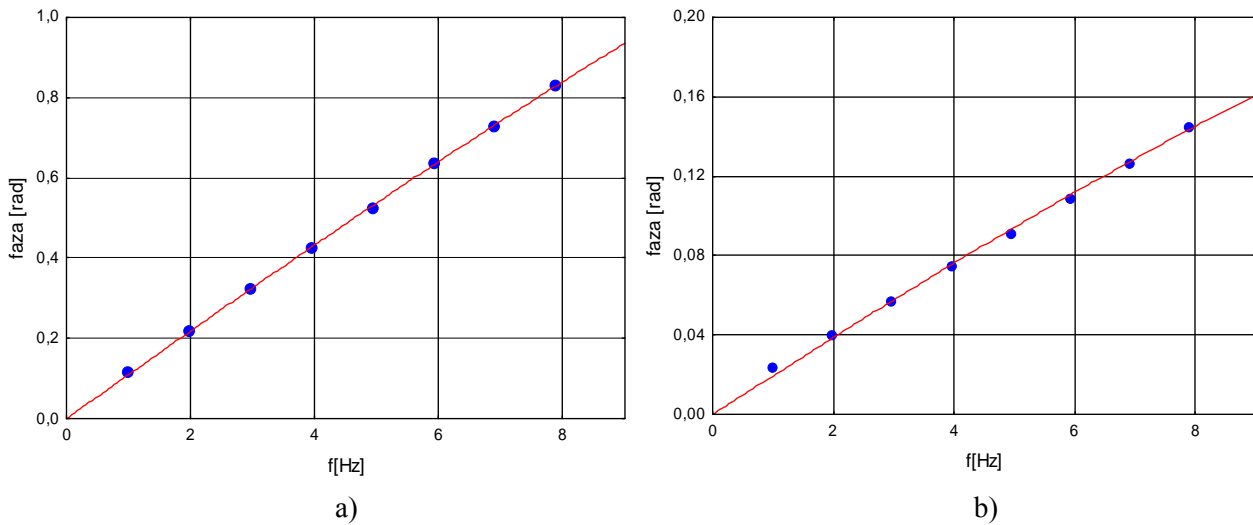
Przebieg sygnału MBS na nadajniku fali ilustruje rys. 4a, natomiast rys. 4b i 4c przedstawiają przebiegi sygnałów na detektorach dla różnych prędkości przepływu powietrza.

Dla niewielkich prędkości wpływ dyfuzyjności cieplnej jest znaczny (rys. 4b). Widać zniekształcony przebieg sygnału napięciowego. Natomiast dla wyższych prędkości (rys. 4c) wpływ tej dyfuzyjności maleje, przebieg sygnału napięciowego jest zbliżony kształtem do przebiegu sygnału na nadajniku.



Rys. 4. Przebiegi sygnału napięciowego MBS na nadajniku fali (a) oraz na detektorach fali dla prędkości przepływu $v = 11,5$ cm/s (b) i $v = 64,6$ cm/s (c)

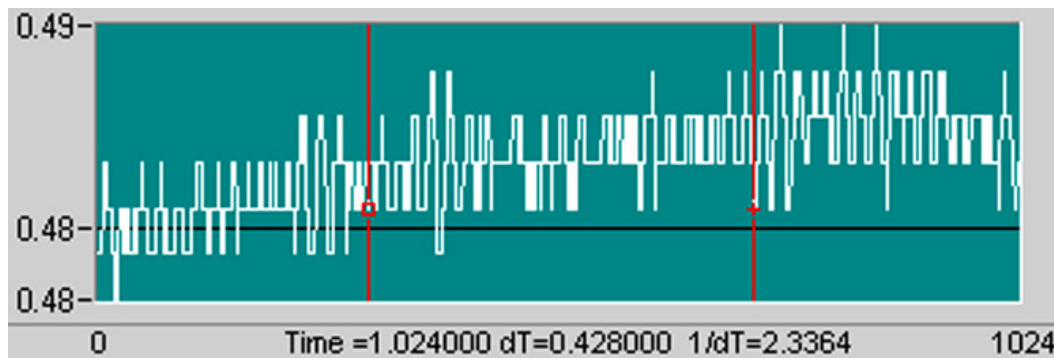
Dla poszczególnych harmonicznych sygnału obliczono przesunięcia fazowe. Rysunki 5a i 5b przedstawiają zależność przesunięcia fazowego składowych harmonicznych sygnału od częstotliwości.



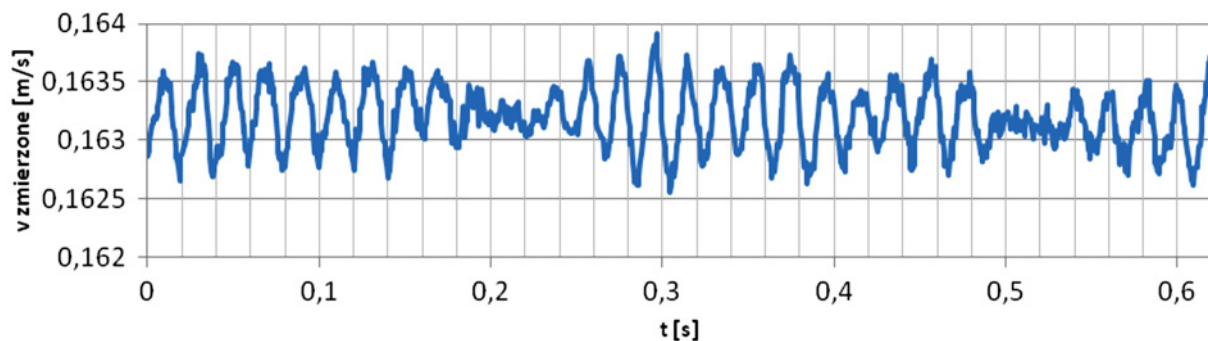
Rys. 5. Przesunięcia fazowe dla poszczególnych harmonicznych sygnału MBS dla prędkości zmierzonych $v = 11,5 \text{ cm/s}$ (a) i $v = 64,6 \text{ cm/s}$ (b)

Rysunek 6 prezentuje przebieg prędkości zmierzony dla anemometru IFA 300 w czasie 1 sekundy, dla nastawy 49 [cm/s].

Rysunek 7 prezentuje przebieg prędkości zmierzony anemometrem CCC 2002 w czasie 0,62 sekundy, dla nastawy prędkości 15 [cm/s].



Rys. 6. Przykładowy przebieg prędkości zmierzony termooanemometrem IFA 300

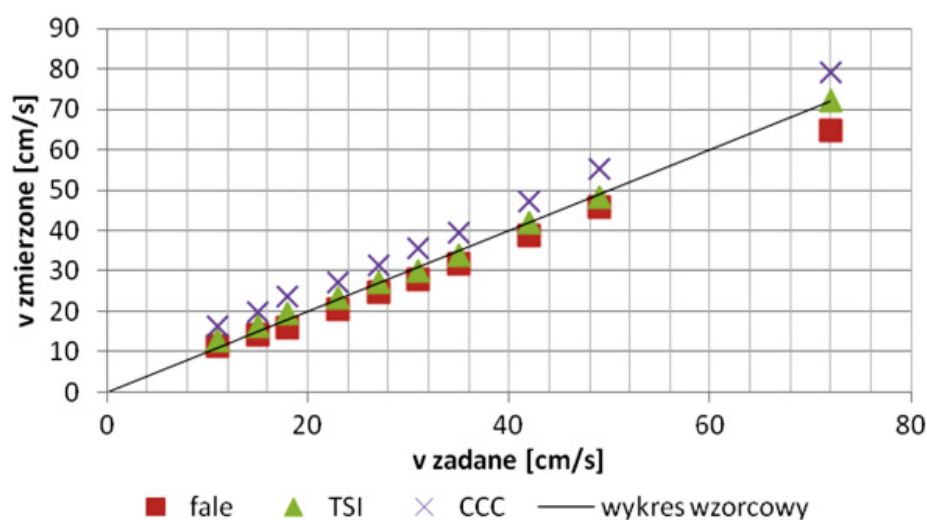


Rys. 7. Przykładowy przebieg prędkości zmierzony termooanemometrem CCC 2002

Wykonano pomiary dla różnych nastaw prędkości na urządzeniu wzorcującym firmy TSI. Wyniki pomiarów zamieszczono w tab. 2 i przedstawiono na rys. 8.

Tab. 2. Tabela zmierzonych prędkości przepływu dla różnych nastaw prędkości

Prędkość zadana [cm/s]	Fale cieplne [cm/s]	Odchylenie st. fali [cm/s]	TSI IFA 300 [cm/s]	CCC 2002 [cm/s]
11	11,5	0,09	14	16,2
15	14,3	0,13	17,2	19,7
18	16	0,59	20,3	23,6
23	20,4	0,62	24,1	27
27	24,9	0,15	27,8	31,3
31	28	0,74	30,5	35,5
35	31,8	0,33	34,4	39,3
42	38,8	0,33	42	47,1
49	45,7	1,12	48,3	55,2
72	64,6	1,67	71,3	79,3



Rys. 8. Wykres zmierzonych prędkości przepływu

Prędkości zmierzone termooanemometrem TSI IFA 300 pokrywają się z zadanymi prędkościami przepływu. Wskazuje to na poprawne działanie tego urządzenia.

Prędkości zmierzone cyfrowym termooanemometrem CCC'2002 są większe od prędkości zadanych. Powodem tego jest niedokładne ustawienie sondy podczas pomiaru.

4. Wnioski

Wyniki pomiarów wskazują, że do dolnej granicy prędkości około 10 cm/s wszystkie przyrządy mierzą prędkość przepływu w sposób prawidłowy.

Wyniki wskazują na możliwość stosowania sygnału typu MBS dla anemometru z falą cieplną.

Prędkość przepływu mierzona z wykorzystaniem fal cieplnych jest obarczona stałym błędem względnym. Spowodowane jest to spadkiem prędkości za nadajnikiem oraz pierwszym detektorem fali (zjawisko cienia aerodynamicznego).

Stosując sygnał o większej ilości harmonicznych możliwe jest osiągnięcie wyższej dokładności zwłaszcza w pomiarze dyfuzyjności cieplnej.

Praca została wykonana w roku 2013 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- [1] Rachalski A.: *Absolute Measurements of Very Low Gas Flow Velocity by Means of Spectral Analysis of Thermal Wave*, Rev. Sci. Instrum. 84, 025105 (2013).
- [2] Rachalski A.: *Analiza konfiguracji przestrzennej układu nadajnik – detektor w anemometrze z oddziaływaniem cieplnym*, Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, 2006, t. 8, nr 1-4, s. 51-58.
- [3] Ligęza P.: *Four-point non-bridge constant-temperature anemometer circuit*, Exp. Fluids 29, 505 (2000).
- [4] *IFA 300 Constant Temperature Anemometer System – Operation Manual*, 2010.
- [5] *TSI Model 1129 Automated Air Velocity Calibrator – Instruction Manual*, 2003.

Comparison of the thermal wave and TSI anemometers

Abstract

The paper summarises the results of air flow velocity measurements taken with a thermal wave anemometer, a constant-temperature anemometer TSI IFA 300 and with a bridge-less constant-temperature thermal anemometer CCC 2002. The operating principles of flow velocity measurements with those devices are briefly outlined and schematic diagrams of the devices are provided. Selected results are presented (time histories of measured signals) and the turbulence levels are calculated for the assumed flow velocity range.

Keywords: constant temperature anemometer, thermal wave anemometer, flow velocity