

Wybrane algorytmy sterowania eksperymentalnymi badaniami termoanemometrycznymi

MAREK GAWOR

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

Streszczenie

Zaawansowane techniki pomiarowe w termoanemometrii wymagają budowy odpowiedniego stanowiska pomiarowego. Długotrwałe pomiary np. pól prędkości (temperatury) lub właściwości sondy przy różnych kątach napływu medium wymuszają konieczność automatyzacji pomiarów. Oznacza to sterowanie eksperymentem przy pomocy specjalnie w tym celu napisanych programów komputerowych. Opisany program umożliwia wykonanie pomiarów dla zadanych parametrów eksperymentu, takich jak: zakres zmian prędkości, kąta obrotu sondy, położenia sondy, współczynnika nagrzania, algorytmów obliczeniowych itp. W artykule opisano niektóre procedury umożliwiające automatyczne sterowanie eksperymentem.

Słowa kluczowe: termoanemometria, analiza przebiegów czasowych, akwizycja danych pomiarowych

1. Wstęp

Oryginalne metody prowadzenia badań prędkości przepływu gazów oraz testowanie algorytmów pomiarowych wymagają odpowiedniego stanowiska pomiarowego. Dotyczy to szczególnie metod pomiarowych opartych na termoanemometrii, w których badania właściwości kątowych sond, czy też pól prędkości lub temperatury wymagają długotrwałych pomiarów (do 25 godzin). Finalnym efektem tych prac są zbudowane na ich podstawie przyrządy pomiarowe, które znalazły zastosowanie w pomiarach laboratoryjnych i przemysłowych.

Badania takie są odpowiedzią na coraz to nowe wymagania metrologiczne w dziedzinie pomiarów prędkości przepływów, jakie pojawiają się w różnych dyscyplinach nauki i techniki. Zastosowanie metod pomiarowych prowadzi do konstruowania wąsko wyspecjalizowanych przyrządów.

Dlatego też w ostatnich latach powstała koncepcja laboratoryjnego komputerowego systemu pomiarowego o możliwie szerokich możliwościach metrologicznych i dającego się łatwo adaptować do wymagań konkretnego problemu metrologicznego. Oprogramowanie umożliwia realizację wybranych algorytmów pomiarowych dostosowanych do danego zagadnienia badawczego.

Wykorzystanie szybkich kart analogowo-cyfrowych oraz cyfrowych umożliwiło automatyczne sterowanie systemem pomiarowym. Opisany układ posiada cztery tory pomiarowe. Do każdego toru można podłączyć jeden czujnik jednowłóknowy.

Prezentowane w tym artykule stanowisko pomiarowe, wraz z oprogramowaniem, ma uniwersalny charakter. Może być wykorzystywane do wykonywania różnorodnych eksperymentów z dziedziny metrologii przepływów, a także w zupełnie praktycznych i rutynowych pomiarach, np. wzorcowanie różnego typu czujników termoanemometrycznych, wykonywanie charakterystyk kątowych czujników, badanie pól prędkości za opływającymi przez powietrze przeszkodami (Gawor, 2003b), pomiary pól prędkości i temperatury na wlocie, lub wylocie wentylatorów itp.

Również oprogramowanie stanowiska pomiarowego ma charakter narzędzia, które pozwala na realizację szerokiego zakresu zadań pomiarowych. Daje możliwość usystematyzowanej i automatycznej akwizycji danych pomiarowych, ich przetwarzania oraz przedstawiania w formie graficznej uzyskanych wyników.

Zaimplementowane w oprogramowaniu funkcje związane z analizą przebiegów czasowych, takie jak: transformacja Fouriera, funkcje autokorelacji i korelacji wzajemnej, analiza szeregów trygonometrycznych itp., pozwalają w wygodny sposób, bezpośrednio po eksperymencie dokonać analizy otrzymanych pomiarów.

Program posiada wygodny interfejs graficzny umożliwiający interaktywne wprowadzanie danych (kontrola błędnie wprowadzonych wartości). Pozwala na graficzne zobrazowanie wyników pomiarów oraz zapisanie ich na dysku komputera.

W zależności od celu pomiarów można wyróżnić trzy tryby wykonywania eksperymentów:

1. pomiary w funkcji czasu,
2. pomiary przy zmiennej prędkości, współczynnika nagrzania i położenia czujnika,
3. pomiary z generacją fali temperaturowej.

Rodzaj parametrów wejściowych, ich zakres i rodzaj uzyskanych wyników eksperymentów zostaną opisane poniżej. W przypadku wykorzystania anemometru cyfrowego CCC2002 można również wybrać parametry jego pracy (Ligeza, 2003).

2. Stanowisko pomiarowe

Szczegółowy opis stanowiska pomiarowego został podany w artykułach (Gawor, 2003a) i (Gawor i Socha, 2004). Stanowisko pomiarowe umożliwia: sterowanie napędem tunelu aerodynamicznego, ustawianie sondy pod określonym kątem, pozycjonowanie sondy w płaszczyźnie poziomej. Każde z tych urządzeń, może być sterowane z komputera poprzez wyjścia cyfrowe (szeregowe złącza RS232C, złącza typu USB). W skład stanowiska wchodzi również sterowany cyfrowo układ zasilania czujników termianemometrycznych (dwukierunkowe złącze Centronika). Sygnały analogowe z termianemometrów (lub innych czujników pomiarowych) można podłączyć do wejść kart analogowo-cyfrowych znajdujących się w komputerze (Gawor, 1999).

Sterowanie urządzeniami kontrolującymi pracę stanowiska pomiarowego, jak również akwizycja danych pomiarowych wymaga napisania odpowiednich procedur w programie obsługującym stanowisko. Są to procedury obsługujące porty wejścia-wyjścia komputera (szczególnie trudne do programowania w systemie Windows).

Dodatkowo do zaprogramowania są procedury – nazywane dalej procedurami wyjściowymi i dotyczące algorytmów wyliczających mierzone wartości fizyczne np. prędkość, temperaturę itp.

Całość oprogramowania zamyka interfejs użytkownika, który umożliwia: zobrazowanie wyników pomiarów w postaci tabel i wykresów, zapis i odczyt parametrów eksperymentu, itp.

3. Pomiar napięć lub prędkości w funkcji czasu

W przypadku eksperymentów w tym trybie działania programu sonda termianemometru znajduje się w jednym położeniu. W tunelu aerodynamicznym ustawiana jest stała prędkość. Gdy wykorzystywany jest anemometr cyfrowy CCC2002 włókna czujnika pracują przy ustawionym (jednym) współczynnika nagrzania. Nie ma możliwości generowania fali temperaturowej. Wykonywane są pomiary napięć w funkcji czasu. Tak ustawione eksperymenty umożliwiają przeprowadzenie analizy czasowej zmierzonych sygnałów. Istnieje również możliwość synchronizacji rozpoczęcia pomiaru przez karty analogowo-cyfrowe z eksperymentem. Rozpoczęcie przetwarzania następuje po przekroczeniu zadanego napięcia, albo po podaniu zewnętrznego sygnału TTL.

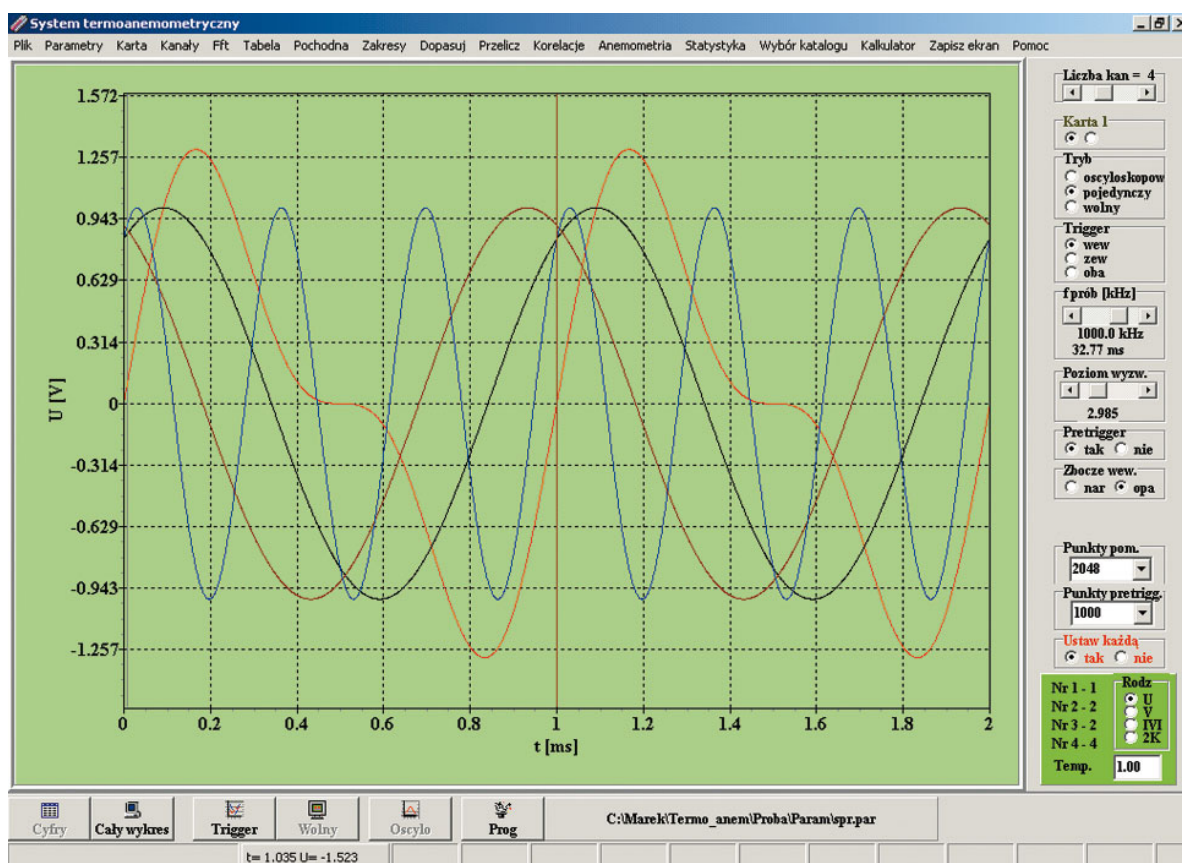
1. Parametry wejściowe eksperymentu:

- a. ustawienie częstotliwości próbkowania kart analogowo-cyfrowych (od 2 kHz do 10 MHz; czas pomiaru od 16 sek. do 3.3 ms),
- b. ustawienie ilości punktów przetwarzania (od 10 do 32 000),
- c. wybór formuły przeliczania zmierzonych napięć,
- d. określenie parametrów charakterystyki czujnika w celu wyliczenia prędkości,
- e. wybór algorytmu obliczania prędkości – na podstawie parametrów określających zależność prędkości od zmierzonych napięć oraz wybranego algorytmu obliczeniowego wyliczana jest prędkość, składowe wektora prędkości, temperatura,
- f. dobór kolorystyki wykresów.

2. Parametry wyjściowe:

- a. zmierzone napięcia lub wyliczone wartości prędkości w funkcji czasu obrazowane w postaci wykresów lub tabel,
- b. możliwość dalszej analizy:
 - i. transformata Fouriera,
 - ii. filtracja cyfrowa,
 - iii. obliczanie funkcji korelacji wzajemnej,
 - iv. dopasowanie funkcji,
 - v. obliczenie pochodnej po czasie,
- c. dane statystyczne zmierzonych napięć/prędkości (w postaci tabeli):
 - i. wartości średnie,
 - ii. wariancje,
 - iii. odchylenia standardowe,
 - iv. wartości minimalne i maksymalne,
- d. zapis wyników na dysku,
- e. wydruk wykresów i tabel.

Okno programu, w którym widoczne są panele do wprowadzania parametrów programu oraz zarejestrowane przebiegi przedstawiono na Rys. 1.



Rys. 1. Okno programu do wprowadzania parametrów oraz zarejestrowane przebiegi w funkcji czasu

Takie ustawienie eksperymentu wykorzystano przy pomiarach prędkości za pomocą metod korelacyjnych. Fala temperaturowa generowana była, poprzez sterowanie anemometrem cyfrowym, w oddzielnym procesie (wątku). Sygnały napięciowe z termometrów analizowane były w funkcji czasu (wyznaczenie pików korelacyjnego) (Gawor 2002).

4. Pomiary przy zmiennej prędkości, współczynnika nagrzania i położeniu czujnika

Poniżej zostaną opisane parametry wejściowe i wyjściowe eksperymentów, w których jednocześnie można zmieniać prędkość w tunelu aerodynamicznym, kąt obrotu sondy, współczynnik nagrzania i położenie czujnika w płaszczyźnie XY. W eksperymentach tych nie ma możliwości generowania fali temperaturowej, gdyż współczynnik nagrzania może być zmieniany tylko liniowo od wartości minimalnej do maksymalnej. W wyniku otrzymywane są średnie wartości mierzonych wielkości. Ilość punktów uśredniania jest wprowadzonym parametrem. Można również uzyskać informacje o odchyleniach standardowych.

1. Parametry wejściowe:

- a. parametry prędkości przepływu w tunelu:
 - i. prędkość minimalna,
 - ii. prędkość maksymalna,
 - iii. zmiana prędkości,
 - iv. czas opóźnienia pomiaru po zmianie prędkości – opóźnienie to jest niezbędne w celu ustabilizowania prędkości w tunelu aerodynamicznym (szczególnie istotne jest to dla małych prędkości przepływu),
- b. parametry kąta obrotu czujnika:
 - i. kąt minimalny,
 - ii. kąt maksymalny,
 - iii. zmian kąta,
 - iv. czas opóźnienia pomiaru po zmianie kąta – opóźnienie to jest potrzebne do ustabilizowania położenia sondy (po zatrzymaniu obrotu włókno czujnika wpada w drgania),
- c. parametry położenia sondy:
 - i. minimalna współrzędna X,
 - ii. maksymalna współrzędna X,
 - iii. ilość punktów zmian współrzędnej X,
 - iv. minimalna współrzędna Y,
 - v. maksymalna współrzędna Y,
 - vi. ilość punktów zmian współrzędnej Y,
 - vii. czas opóźnienia pomiaru po zmianie położenia sondy – opóźnienie to jest potrzebne do ustabilizowania położenia sondy (po zatrzymaniu stolika włókno czujnika wpada w drgania),
- d. parametry związane ze zmianą współczynnika nagrzania:
 - i. minimalny współczynnik nagrzania,
 - ii. maksymalny współczynnik nagrzania,
 - iii. zmiana współczynnika nagrzania,
- e. ilość powtórzeń pomiarów przy ustalonej prędkości i położeniu sondy (niekiedy wymagana jest informacja na temat powtarzalności wyników eksperymentu),
- f. temperatura, w której wykonywany był eksperyment,
- g. wybór algorytmu obliczania prędkości,
- h. określenie parametrów charakterystyki czujnika,
- i. ilość punktów uśredniania.

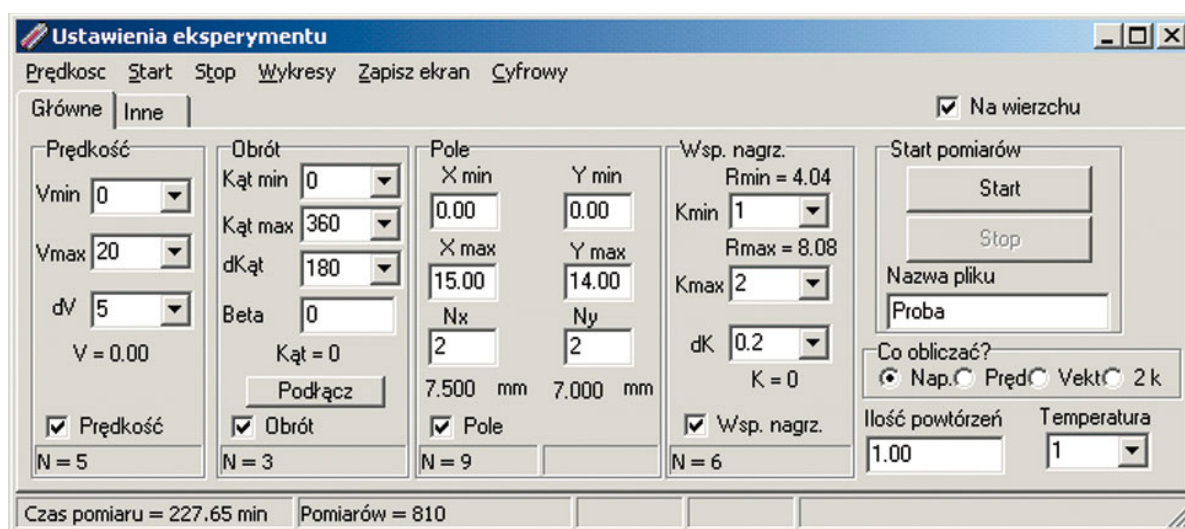
2. Parametry wyjściowe:

- a. średnie wartości zmierzonych napięć lub prędkości (zależne od ilości punktów uśredniania) – wyniki przedstawione są bezpośrednio po każdym pomiarze w postaci tabel i wykresów,
- b. odchylenia standardowe zmierzonych napięć lub prędkości (zależne od ilości punktów uśredniania) – wyniki w postaci tabeli,
- c. położenie sondy w postaci wykresów,
- d. położenie katowe sondy,
- e. położenie stolika XY,
- f. zapis przebiegów czasowych w każdym punkcie położenia sondy – oprócz wartości średnich można zapisać na dysku przebiegi czasowe (przebiegi czasowe zapisywane są w oddzielnych plikach dla każdej prędkości i położenia sondy – takich plików może być bardzo dużo),
- g. zapis parametrów czujnika – współczynniki charakterystyki czujnika, temperatura eksperymentu.

Okno programu służące do wprowadzania parametrów przedstawiono na Rys. 2.

Realizacja algorytmów w tego typu eksperymentach jest następująca:

1. jeżeli wybrana została zmiana prędkości, to ustawiana jest prędkość zgodnie z parametrami podanymi w punkcie 1a;
2. jeżeli wybrana została zmiana obrotu, to ustawiany jest obrót zgodnie z parametrami podanymi w punkcie 1b;
3. jeżeli wybrana została zmiana położenia stolika, to ustawiane jest położenie stolika zgodnie z parametrami podanymi w punkcie 1c;
4. jeżeli wybrana została zmiana współczynnika nagrzania, to ustawiany jest współczynnik nagrzania zgodnie z parametrami podanymi w punkcie 1d;
5. jeżeli ilość powtórzeń (punkt 1e) jest większa od 1 to pomiar wykonywany jest tyle razy ile wynosi ilość powtórzeń.



Rys. 2. Okno programu do wprowadzania parametrów eksperymentu

Realizowane są więc pętle programowe, przy czym najbardziej zewnętrzną pętlą jest pętla zmieniająca prędkość, a najbardziej wewnętrzną pętlą jest ilość powtórzeń. Schematycznie przedstawiono to na Rys. 3.

Przykładową tabelę z wynikami pomiarów przedstawiono na Rys. 4.

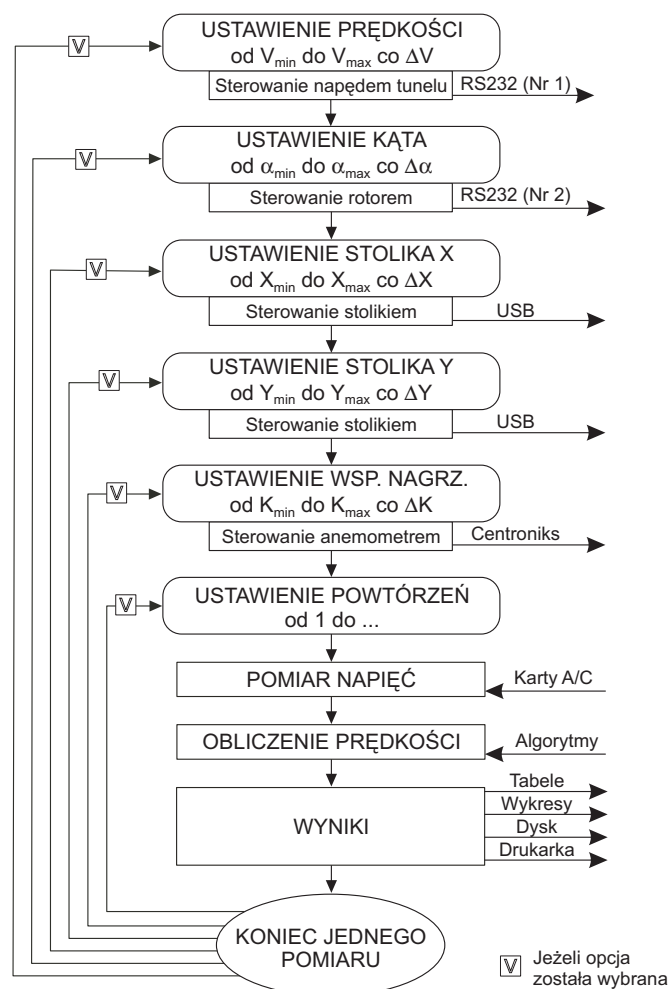
Takie ustawienie eksperymentu wykorzystano przy pomiarach związanych z zaburzeniami przepływu wywołanymi obecnością sondy anemometru skrzydełkowego. W eksperymentach zmieniano prędkość przepływu i położenie sondy termooanemometru w płaszczyźnie XY. Uzyskano profile średniej wartości prędkości i odchylenia standardowego (Gawor, 2003b).

Trybu tego używano również przy badaniu charakterystyk kątowych czujników do wykrywania zwrotu przepływu. Badano zależności kątowe przy różnych wartościach prędkości zadawanej w tunelu (Kielbasa i Poleszczyk, 2005).

Innym zastosowaniem było badanie właściwości trójwłóknowego czujnika do pomiaru składowych wektora prędkości (Poleszczyk, 2002) oraz do testowania metody wyznaczania wektora prędkości z detekcją zwrotu (Kielbasa i in., 2001).

5. Pomiary umożliwiające generację fali temperaturowej

W tym trybie pracy programu istnieje możliwość generowania fali temperaturowej. W eksperymentach można ustawiać: zmienną prędkość (p. 4.1a), kąt obrotu (p. 4.1b), położenie stolika (p. 4.1c), ilość powtórzeń eksperymentu w każdym punkcie pomiarowym (p. 4.1e). Dodatkowo jest możliwość ustawiania parametrów generowanej fali temperaturowej. Zasadniczo w tym trybie programu realizowane są „pętle”



Rys. 3. Schemat działania „pętli” programu

Tabela pomiarowa										
Zapisz średnie		Zapisz odchylenie								
Średnie		Odchylenia		Zawsze na wierzchu						
Lp	V	Beta	Alfa	X	Y	K	U1	U2	U3	U4
34	0.00	0	0.00	7.50	0.00	1.60	0.2500	0.2500	0.2834	0.2500
35	0.00	0	0.00	7.50	0.00	1.80	0.2500	0.2834	0.2834	0.2834
36	0.00	0	0.00	7.50	0.00	2.00	0.2500	0.2500	0.2834	0.2834
37	0.00	0	0.00	15.00	0.00	1.00	37.0000	74.0000	111.0000	148.0000
38	0.00	0	0.00	15.00	0.00	1.20	38.0000	76.0000	114.0000	152.0000

Proba

Rys. 4. Fragment tabeli z wynikami pomiarów

tak jak to pokazano na Rys. 3 z tym, że współczynnik nagrzania włókna zmienia się nie w sposób liniowy, a zgodnie z rodzajem zadanej fali temperaturowej.

Zasadniczą różnicę pomiędzy tymi dwoma typami działania programu stanowi sposób uzyskania wyników pomiarów. Program umożliwia wyliczenie parametrów dotyczących szeregu Fouriera dla wybranych sygnałów.

1. Parametry wejściowe:

a. rodzaj fali i jej parametry:

- i. sinus, prostokąt, trójkąt, piła, prosta, losowa,
- ii. amplituda fali,
- iii. częstotliwość fali,
- iv. ilość generowanych punktów fali na jeden okres,
- v. ilość okresów generowanej fali,

b. parametry częstotliwości fali (częstotliwość zmieniana jest w dodatkowej pętli programu, nie uwzględniona na Rys. 3):

- i. częstotliwość minimalna,
- ii. częstotliwość maksymalna,
- iii. wielkość zmiany częstotliwości,

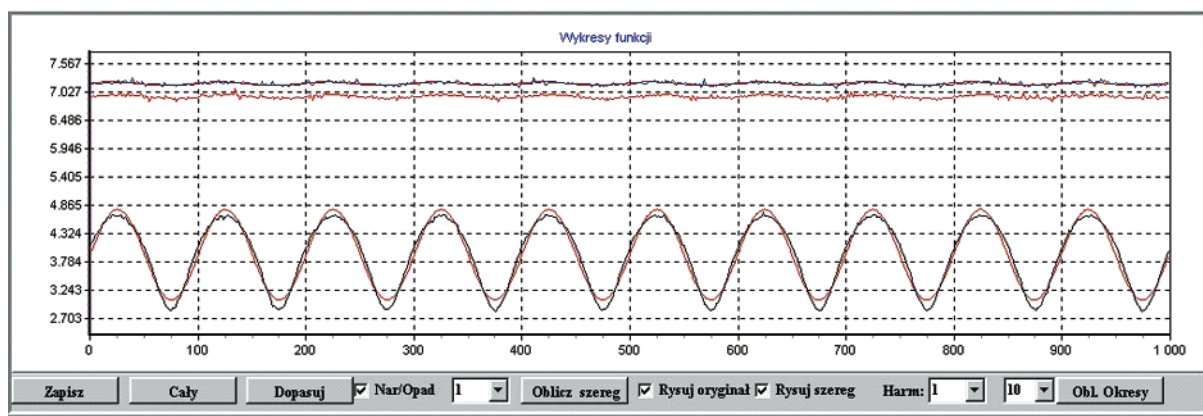
c. ilość punktów uśredniania,

d. procentowy błąd czasu generacji fali (w przypadku, gdy częstotliwość generowanej fali różni się od zadanej częstotliwości, następuje powtórzenie generacji fali, tyle razy ile podano w p. 1.e),

e. ilość powtórzeń po błędzie generacji fali – patrz powyżej.

2. Parametry wyjściowe – prezentowane w postaci tabeli (w tabeli umieszczono również niektóre parametry wejściowe):

- a. v – ustawiona prędkość w tunelu aerodynamicznym (lub obroty silnika napędu tunelu),
- b. f – rzeczywista częstotliwość generowanej fali (wyliczana po całkowitym cyklu generacji fali),
- c. X, Y – w przypadku pomiarów w różnych punktach płaskiego pola, są to współrzędne koordynatu, na którym umocowany jest czujnik,
- d. $Ro, Rp, R\%$ – są to informacje dotyczące rezystancji czujnika (Ro – rezystancja „na zimno”, Rp – średnia rezystancja pracy, $R\%$ – procentowa zmiana rezystancji, amplituda fali),
- e. $A1sr$ – średnia wartość sygnału 1,
- f. $A1$ – amplituda sygnału 1,
- g. $As1, Ac1$ – amplituda szeregu Fouriera $f(t) = As1 \sin(\omega t) + Ac1 \cos(\omega t)$ – pierwszy sygnał ($\omega = 2\pi f$),
- h. $fi1$ – faza sygnału 1 $fi1 = \arctg(Ac1/As1)$,
- i. $A2sr, A2, As2, Ac2, fi2$ – odpowiednie wartości dla sygnału drugiego,
- j. Dfi – różnica faz pomiędzy sygnałami,
- k. V – wyznaczona prędkość,
- l. fp – ustawiona częstotliwość fali,
- m. wykres generowanej i rejestrowanej fali temperaturowej (Rys. 5).



Rys. 5. Wykres generowanej fali temperaturowej, jej pierwsza harmoniczna i zmierzone temperatury (górne wykresy)

Przykładowy wygląd tabeli z wynikami pomiarów generacji fali temperaturowej przedstawiono na Rys. 6.

Szeregi Fouriera																							
Kanały Cyfrowy Zapisz ekran Szczegóły Zapis tabeli																							
Zapisz		Drukuj		Kasuj		Do schowka		☐ 2 PI-FI		☐ FI-2 PI		☐ 2 PI+FI		☐ Uproszcz.		☐ Linie		Kanały		1		2	
Ip.(1/2)	v	f	X	Y	Kąt	Alśr	Al	Asl	Ac1	fi1	A2sr	A2	As2	Ac2	fi2	Dfi	Vob1	fp	A0sr	A0	As0	Ac0	▲
37. (1/2)	20.00	9.27	0.00	0.00	0.00	0.000	1.274	-0.807	0.986	2.257	0.000	1.270	-1.264	-0.125	3.240	0.9830	0.610	10.00	0.000	1.274	-0.807	0.986	
38. (1/2)	20.00	9.20	0.00	0.00	0.00	0.000	1.274	-0.807	0.986	2.257	0.000	1.270	-1.264	-0.125	3.240	0.9830	0.605	10.00	0.000	1.274	-0.807	0.986	
39. (1/2)	20.00	9.23	0.00	0.00	0.00	0.000	1.274	-0.807	0.986	2.257	0.000	1.270	-1.264	-0.125	3.240	0.9830	0.608	10.00	0.000	1.274	-0.807	0.986	
40. (1/2)	20.00	9.29	0.00	0.00	0.00	0.000	1.274	-0.807	0.986	2.257	0.000	1.270	-1.264	-0.125	3.240	0.9830	0.611	10.00	0.000	1.274	-0.807	0.986	
41. (1/2)	20.00	9.27	0.00	0.00	0.00	0.000	1.274	-0.807	0.986	2.257	0.000	1.270	-1.264	-0.125	3.240	0.9830	0.610	10.00	0.000	1.274	-0.807	0.986	
42. (1/2)	20.00	9.21	0.00	0.00	0.00	0.000	1.274	-0.807	0.986	2.257	0.000	1.270	-1.264	-0.125	3.240	0.9830	0.606	10.00	0.000	1.274	-0.807	0.986	
43. (1/2)	20.00	9.24	0.00	0.00	0.00	0.000	1.274	-0.807	0.986	2.257	0.000	1.270	-1.264	-0.125	3.240	0.9830	0.608	10.00	0.000	1.274	-0.807	0.986	

Rys. 5. Przykładowy wygląd tabeli z wynikami pomiarów generacji fali temperaturowej

Wyniki pomiarów mogą być zapisane w pliku tekstowym i analizowane przez inne programy (np. Excel itp.). Można również zapisać na dysku zmierzone napięcia w funkcji czasu.

Ten typ ustawienia programu wykorzystano do badania fal cieplnych w metrologii powolnych przepływów (Kiełbasa i in., 2004) oraz testowania metody jednoczesnego pomiaru prędkości przepływu i jego temperatury za pomocą włókna termooanemometrycznego z modulowanym periodycznie (sinusoidalnie) współczynnikiem nagrzania (Kiełbasa, 2005).

6. Ustawienie anemometru cyfrowego

W przypadku, gdy używany jest cyfrowo sterowany anemometr CCC2002 należy ustawić parametry jego pracy. Dokładny opis sterowania anemometrem cyfrowym został podany w pracy (Gawor i Socha, 2004). Główne parametry pracy anemometru cyfrowego to:

1. pomiar rezystancji włókna – konstrukcja anemometru cyfrowego umożliwia pomiar rezystancji włókna;
2. tryb pracy – wybór, czy włókno sondy ma pracować jako anemometr, czy termometr;
3. współczynnik nagrzania – jeżeli włókno sondy pracuje jako termooanemometr to ustawiany jest jego współczynnik nagrzania (rezystancja pracy włókna);
4. wybór kanału generującego falę – fala temperaturowa może być generowana tylko przez jedno włókno podłączone do kanału pomiarowego o numerze od 1 do 4.

7. Uwagi końcowe

Opisane stanowisko pomiarowe wraz z oprogramowaniem stanowi wygodne narzędzie w badaniach metrologii przepływów. Stosowane jest głównie do badań różnych metod i algorytmów pomiarowych związanych z termooanometrią. Wygodny interfejs umożliwiający wprowadzanie parametrów eksperymentu i programu oraz możliwość zapisania tych parametrów na dysku stanowi duże udogodnienie dla eksperymentatora. Ponowne uruchomienie programu następuje z ostatnio zapisanymi parametrami eksperymentu (nie ma konieczności ponownego wprowadzania parametrów). Zapis i odczyt parametrów daje możliwość pracy z programem przez kilku użytkowników z ich własnymi ustawieniami eksperymentu.

Zobrazowanie wyników pomiarów podczas eksperymentu, w postaci tabel i wykresów, daje możliwość śledzenia eksperymentu i natychmiastowego reagowania w przypadku błędnie wykonywanych pomiarów lub niewłaściwie ustawionych parametrów.

Przeliczanie zmierzonych napięć zgodnie z podanymi algorytmami umożliwia automatyczne uzyskanie wyników mierzonych wielkości fizycznych (np. składowe wektora prędkości, przesunięcia fazowe fal temperaturowych itp.).

Literatura

- GAWOR M. (1999): *Karta szybkiego przetwornika analogowo cyfrowego z oprogramowaniem*, Metrologia i systemy pomiarowe, VI, s. 249-255.
- GAWOR M. (2002): *Anemometr korelacyjny*, Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Kraków, Vol. 4, No. 3-4 s. 143-150.
- GAWOR M. (2003a): *Oprogramowanie termooanemometrycznego systemu pomiaru pól prędkości przepływu gazu*, Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Kraków, Vol. 5, No. 2, s. 245-252.
- GAWOR M. (2003b): *Zaburzenia przepływu wywołane obecnością sondy anemometru skrzydełkowego*, Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, CEiAG „EMAG”, Nr 12(395), s. 9-14.
- GAWOR M., SOCHA K. (2004): *Struktura oprogramowania i możliwości metrologiczne sterowanego komputerowo wielokanałowego termooanemometrycznego systemu pomiarowego*, Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Kraków Vol. 6, No. 3-4, s. 195-204.
- KIELBASA J., LIGĘZA P., PALACZ J., POLESZCZYK E., RACHALSKI A. (2001): *Termooanemometryczna metoda wyznaczania wektora prędkości – wyznaczanie zwrotu metodą różnicową*, Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Kraków, Vol. 3, No. 2, s. 81-88.
- KIELBASA J., LIGĘZA P., POLESZCZYK E., RACHALSKI A., (2004): *Eksperymentalna weryfikacja wielokanałowego termooanemometrycznego systemu pomiarowego jako anemometru z falą cieplną*, Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Kraków, Vol. 7, No. 3-4, s. 205-215.
- KIELBASA J. (2005): *Anemometr z sinusoidalną modulacją współczynnika nagrzania i jego praca w adaptacyjnym systemie komputerowym*, Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Kraków, Vol. 7, No. 1-2, s. 71-80.
- KIELBASA J., POLESZCZYK E. (2005): *Badania asymetrii rozkładu napięć na dzielonym włóknie termooanemometru w zależności od prędkości przepływu*, Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Kraków, Vol. 7, No. 1-2, s. 81-86.
- LIGĘZA P. (2003): *Sterowany komputerowo termooanemometryczny system pomiarowy pracujący w oparciu o koncepcję sterowanego układu stałotemperaturowego*, Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Kraków Vol. 5, No. 2, s. 237-244.
- POLESZCZYK E. (2002): *Termooanemometryczna metoda wyznaczania wektora prędkości przepływu gazu*, Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Kraków, seria: Rozprawy, Monografie Nr 1.

Control Algorithms for Experimental Thermoanemometric Research

Abstract

High quality thermoanemometric measurements may be only realised applying advanced measurement stands. From the practical point of view long term measurements, e.g. velocity field recording, temperature field recording, as well as for the properties of used probe for various directions of fluid flows, imply automatic data acquisition. This acquisition imply the computer oriented experiment control performed by means of dedicated computer programs. The computer program described in this paper enables the user to realise measurements for the defined parameters of an experiment, e.g. interval of measured flow velocity, location of the probe, direction of probe axis, overheating coefficient, etc. The author describes the procedures enabling automatic performance of experiments.

Keywords: thermoanemometry, time process analysis, data acquisition

Recenzent: Prof. dr hab. inż. *Stanisław Gomula*, AGH