INSTRUKCJA OBSŁUGI

LABORATORYJNY TUNEL AERODYNAMICZNY Z TERMOANEMOMETRYCZNYM SYSTEMEM POMIAROWYM



DR INŻ. KATARZYNA SOCHA MGR INŻ. PAWEŁ JAMRÓZ

INSTYTUT MECHANIKI GÓROTWORU PAN

ul. REYMONTA 27, 30-059 KRAKÓW tel.: (12) 637 62 00, fax: (12) 637 28 84 www.img-pan.krakow.pl

KRAKÓW 2009

SPIS TREŚCI

I.	Elementy wyposażenia tunelu aerodynamicznego	
I.1.	Wentylator	
I.2.	Falownik	
I.3.	Komputer sterujący	4
I.4.	Układ pozycjonowania sondy - Stolik XY	4
I.5.	ATU 08 - moduł stałotemperturowo-stałoprądowy do pomiarów a	anemometryczno
	termometrycznych	4
I.6.	Karta pomiarowa	4
I.7.	Sondy pomiarowe	5
II.	Instalacja komponentów i oprogramowania	
II.1.	Instalacja karty pomiarowej USB	
II.2.	Falownik	
II.3.	Stolik XY	9
II.4.	Oprogramowanie	
III.	Podłączenie stanowiska	
III.1.	Podłączenia falownika	
III.2.	Podłączenie układu pozycjonowania czujnika	
III.3.	Podłączenie systemu akwizycji danych pomiarowych	
III.4.	Podłączenie sond do modułu ATU 08	
III.5.	Podłączenie modułu stałotemperturowo - stałoprądowego ATU 08	
IV.	Opis działania programu Hot-Wire Turbulence Measuren	nent System
	(<i>HWTMS</i>)	
IV.1.	Uruchomienie programu – konfiguracja sprzetu	
IV.2.	Ustawianie parametrów programu	
IV.3.	Wizualizacja danych pomiarowych	
IV.4.	Zapis danych do pliku	
IV.5.	Pliki z parametrami	
V.	Wykonanie pomiaru - krok po kroku	
VI.	Pomoc techniczna	

I. ELEMENTY WYPOSAŻENIA TUNELU AERODYNAMICZNEGO

Tunel aerodynamiczny wykonano z poliwęglanu. Składa się on z wlotu (konfuzor) (1), części pomiarowej stanowiącej kanał przepływowy o przekroju kwadratowym (bok 300mm) (2) oraz wentylatora (3). Na wlocie umieszczono ulownicę (4) odpowiadającą za wyrównanie przepływu w kanale pomiarowym. W części pomiarowej umieszczono zdejmowany panel (5) umożliwiający montaż sondy na wysięgniku układu pozycjonowania sondy (6). Sterowanie i akwizycja danych odbywa się z użyciem komputera (7) wyposażonego w specjalistyczne oprogramowanie zarządzające regulacją prędkości przepływu powietrza, pozycjonowaniem sond oraz zbierające dane pomiarowe. Dane gromadzone są za pośrednictwem modułu do pomiarów anemometryczno-termometrycznych *ATU 08* (8) połączonego z kartą pomiarową A/C USB (9).



I.1. Wentylator

W tunelu zastosowano wentylator o następujących parametrach:

n_{max} [min ⁻¹]:	1360
Pobór mocy [W] :	450
$Q_{max} [m^3/h]$:	3300

Prędkość obrotowa wentylatora regulowana jest za pośrednictwem falownika.

I.2. Falownik

Falownik posiada wbudowany port szeregowy RS-485 obsługujący komunikację sieciową wg protokołu ModBus RTU. Komunikacja z jednostką sterującą odbywa się przy wykorzystaniu konwertera RS/USB. Konwerter wymaga wcześniejszej instalacji w systemie operacyjnym (rozdział *Instalacja komponentów i oprogramowania*)

I.3. Komputer sterujący

Jednostkę sterującą tunelem aerodynamicznym stanowi komputer typu nettop *ASRock ION* 330 wyposażony w system operacyjny Windows XP.

Parametry jednostki sterującej:

•••	
Płyta główna Chipset:	NVIDIA® ION TM
Procesor:	Intel [®] Atom [™] 330 (Dual-Core CPU)
Pamięć zainstalowana:	2GB DDR2 800 MHz
Karta graficzna:	NVIDIA® IONTM, DX10 / Full HD 1080p
Napęd optyczny (rodzina):	DVD-REC (Dual Layer)
Dysk twardy (pojemność):	320 GB 2.5" HDD 320GB

I.4. Układ pozycjonowania sondy - Stolik XY

Układ pozycjonowania sondy pomiarowej stanowi zestaw dwóch stolików przesuwnych. Stoliki działają w dwóch prostopadłych do siebie płaszczyznach XY. Zakres ruchu dla stolika X wynosi 0÷600mm z minimalnym krokiem 1mm, a dla stolika Y: 0÷300mm z minimalnym krokiem 1mm.

Praca układu pozycjonowania czujnika odbywa się z użyciem sterownika silników krokowych. Stolik X podłączony jest do wejścia sterownika oznaczonego jako S1, natomiast stolik Y do wejścia S2. Komunikacja jednostki sterującej ze sterownikiem silników krokowych układu pozycjonowania czujników odbywa się za pośrednictwem złącza USB. Sterownik wymaga instalacji w systemie operacyjnym (rozdział *Instalacja komponentów i oprogramowania*).

I.5. ATU 08 - moduł stałotemperaturowo - stałoprądowy do pomiarów anemometryczno termometrycznych

System pomiarowy stanowi ośmiotorowy moduł termometrycznych ATU 08 w wersji z czterema termoanemometrami i czujnikami specjalnymi. Dokładny opis termoanemometru został zamieszczony w osobnej instrukcji: "ATU 08 ośmiotorowy moduł stałotemperaturowo stałoprądowy do pomiarów anemometryczno termometrycznych z sondami pomiarowymi". Układ termoanemometru pracuje z modułem przetworników A/C USB.

I.6. Karta pomiarowa A/C USB

Czterokanałowa karta pomiarową zapewnia synchroniczny pomiar czterech kanałów z częstotliwościami do 100 kHz w każdym kanale przy rozdzielczości 16 bit oraz zakresie ± 10V. Karta pomiarowa komunikuje się z komputerem za pomocą złącza USB. Karta wraz

do pomiarów anemometryczno-



modułem USB wymaga zainstalowania w systemie operacyjnym (rozdział Instalacja komponentów i oprogramowania).

I.7. Sondy pomiarowe

Wszystkie sondy zostały wywzorcowane w tunelu aerodynamicznym. Sondy jednowłóknowe wzorcowano prostopadle do przepływu. Dla czujników dwuwłóknowych wykonano wzorcowanie przy ustawieniu równoległym i prostopadłym poszczególnych włókien względem przepływu. Sondy trójwłóknowe ustawiano w taki sposób, żeby oś każdego z włókien była równoległa do kierunku przepływu przy prostopadłym ustawieniu dwu pozostałych.

Współczynniki dla poszczególnych sond wyznaczono za pomocą dostępnej w pakiecie MATLAB funkcji *fminsearch*. Minimalizowano funkcję o następującej postaci:

$$f = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} \left(\frac{\tilde{v_{ij} - v_{ij}}}{\tilde{v_i}} \right)^2$$

gdzie:

 v_{ii} – wartość wyznaczonej składowej,

 v_{ij} – teoretyczna wartość składowej,



– wartość zadawanej prędkości – moduł teoretycznego wektora prędkości,

N – liczba pomiarów,

M – liczba składowych (w zależności od liczby włókien w sondzie).

I.7.1 Sondy jednowłóknowe

Pojedyncza sonda termoanemometryczna zbudowana jest z obsadki, dwóch wsporników oraz rozpiętego na nich włókna pomiarowego, prostopadłego do jej osi.



Rysunek I. 1. Sonda jednowłóknowa

Prędkość dla sondy jednowłóknowej wyznaczana jest z następującego wzoru (prawo Kinga):

$$v_{ef} = b \left(U^2 - A \right)^n,$$

gdzie:

 v_{ef} – prędkość efektywna, odpowiedzialna za efekt chłodzenia gorącego włókna,

U – napięcie zmierzone dla poszczególnych czujników,

A, B, n – współczynniki uzyskiwane podczas wzorcowania, opisujące włókno.

I.7.2 Sondy dwuwłóknowe

Sondy dwuwłóknowe zbudowane są z dwóch wzajemnie prostopadłych względem siebie włókien. Włókna wyznaczają układ współrzędnych.



Rysunek I. 2 Sonda dwuwłóknowa

Sondy tego typu umożliwiają pomiar dwóch składowych wektora prędkości przepływu z użyciem następujących zależności:

$$v_x^2 = b_{1x} (U_1^2 - a_{1x})^{2n_{1x}} + b_{2x} (U_2^2 - a_{2x})^{2n_{2x}},$$

$$v_y^2 = b_{1y} (U_1^2 - a_{1y})^{2n_{1y}} + b_{2y} (U_2^2 - a_{2y})^{2n_{2y}},$$

gdzie:

– parametry wyznaczane podczas wzorcowania, $a_{1x}, a_{2x}, b_{1x}, b_{2x}, n_{1x}, n_{2x},$ $a_{1y}, a_{2y}, b_{1y}, b_{2y}, n_{1y}, n_{2y}$ U_1, U_2 – napięcia zmierzone dla poszczególnych włókien czujnika.

I.7.3 Sondy trójwłóknowe

Sondy trójwłóknowe składają się z trzech włókien umieszczonych prostopadle względem siebie i wyznaczających krawędzie sześcianu. Podobnie jak w przypadku sondy dwuwłóknowej wektor prędkości wyznaczany jest w układzie współrzędnych związanym z włóknami sondy.



Rysunek I. 3 Sonda trójwłóknowa

Składowe wektora prędkości dla sondy trójwłóknowej wyznaczane są z następujących zależności:

$$\begin{aligned} v_x^2 &= b_{1x} (U_1^2 - a_{1x})^{2n_{1x}} + b_{2x} (U_2^2 - a_{2x})^{2n_{2x}} + b_{3x} (U_3^2 - a_{3x})^{2n_{3x}}, \\ v_y^2 &= b_{1y} (U_1^2 - a_{1y})^{2n_{1y}} + b_{2y} (U_2^2 - a_{2y})^{2n_{2y}} + b_{3y} (U_3^2 - a_{3y})^{2n_{3y}}, \\ v_z^2 &= b_{1z} (U_1^2 - a_{1z})^{2n_{1z}} + b_{2z} (U_2^2 - a_{2z})^{2n_{2z}} + b_{3z} (U_3^2 - a_{3z})^{2n_{3z}}, \end{aligned}$$

gdzie:

 a_{1x} , a_{2x} , a_{3x} , b_{1x} , b_{2x} , b_{3x} , n_{1x} , n_{2x} , n_{3x} – parametry wyznaczane podczas wzorcowania $a_{1y}, a_{2y}, a_{3y}, b_{1y}, b_{2y}, b_{3y}, n_{1y}, n_{2y}, n_{3y}$ $a_{1z}, a_{2z}, a_{3z}, b_{1z}, b_{2z}, b_{3z}, n_{1z}, n_{2z}, n_{3z}$ U_1, U_2, U_3 – napięcia zmierzone dla poszczególnych włókien

II. INSTALACJA KOMPONENTÓW I OPROGRAMOWANIA

W dołączonym do stanowiska pomiarowego komputerze *ION330* na dysku *D* umieszczony jest katalog *Install*, w którym zawarto pliki instalacyjne do poszczególnych komponentów stanowiska pomiarowego.

II.1. Instalacja karty pomiarowej

Sterowniki zostały umieszczone w katalogu *D:\Install\Karta_9215* oraz zostały dołączone na płytach CD. Po uruchomieniu programu instalacyjnego należy postępować zgodnie ze wskazówkami instalatora.

Po poprawnym zainstalowaniu sterowników należy podłączyć kartę pomiarową poprzez dołączony kabel USB.

II.2. Falownik

Sterowanie falownikiem z poziomu PC odbywa się za pośrednictwem wbudowanego portu szeregowy RS-485 obsługującego komunikację sieciową wg protokołu ModBus RTU. Falownik połączony jest z komputerem za pomocą kabla USB z wbudowanym konwerterem RS-485/USB. W celu umożliwienia komunikacji komputera z falownikiem należy przed podłączeniem falownika zainstalować sterowniki konwertera umieszczone w katalogu D:\Install\Falownik\PL2303_Prolific_DriverInstaller_1025.exe.

Po poprawnej instalacji sterownika, utworzy się port, któremu zostanie automatycznie nadany kolejny wolny numer, tj. jeżeli komputer posiada sprzętowe porty COM1 i COM2, to nowo instalowany otrzyma numer COM3. W tym przypadku port widoczny jest jako:

Prolific uSB-to-Serial Comm Port (Com 3)

Przydzielony numer należy sprawdzić w Menedżerze urządzeń Windows® (rys. II.1): Mój komputer\Panel sterowania\System\Menedżer urządzeń\Porty (COM & LPT)\USB Serial Port (COM4)



Rysunek II. 1 Menadżer urządzeń

Falownik może działać w dwóch trybach: ręcznym (sterowanie z pulpitu) lub sieciowym (komunikacja sieciowa ModBus) – opcja wykorzystywana w dołączonym oprogramowaniu *Hot-Wire Turbulence Measurement System*.

W trybie sieciowym falownik korzysta z następujących ustawień portu zapisywanych w rejestrach urządzenia:

- Adres urządzenia: 01 (kod funkcji C072, nastawa 01),
- Prędkość transmisji: 19200 bitów na sekundę (kod funkcji C071, nastawa 06),
- Kontrola parzystości: Parzysta (kod funkcji C074, nastawa 01),
- Bity stopu: 1 (kod funkcji C075, nastawa 01).

Dodatkowo w celu ustawienia falownika do pracy w trybie sieciowym należy ustawić przełącznik OPE/485 w pozycji 485 (patrz dodatek B do instrukcji obsługi falownika) i dokonać następujących nastaw falownika:

- Zadawanie częstotliwości: sieć ModBus (kod funkcji A001, nastawa 03),
- Zadawanie rozkazu ruchu: sieć ModBus (kod funkcji A002, nastawa 03).

Zmiany nastaw falownika można dokonywać za pomocą dołączonego pulpitu.

II.3. Stolik XY

Po włączeniu sterownika i podłączeniu kablem USB do komputera sterującego PC, system Windows® automatycznie wykryje nowe urządzenie. Wtedy należy zgodnie ze wskazówkami pojawiającymi się na ekranie zainstalować odpowiednie sterowniki wirtualnego portu COM (Rysunek II.2. 1- 3). Sterowniki umieszczone są w katalogu *D:\Install\StolikXY*\

Po poprawnej instalacji sterowników, portowi temu zostanie automatycznie nadany kolejny wolny numer, tj. jeżeli komputer posiada sprzętowe porty COM1 i COM2 oraz COM3 wcześniej przypisany dla falownika, to nowo instalowany otrzyma numer COM4. W takim przypadku port widoczny jest jako: *USB Serial Port (COM4)*

Przydzielony numer należy sprawdzić w Menedżerze urządzeń Windows® (rys. II.2. 4):

Mój komputer\Panel sterowania\System\Menedżer urządzeń\Porty (COM & LPT)\USB Serial Port (COM4)

Cała komunikacja ze sterownikiem odbywa się właśnie przez ten port.



Rysunek II.2. 1

Rysunek II.2. 2



Rysunek II.2. 4

II.4. Oprogramowanie

W celu zainstalowania oprogramowania należy uruchomić plik '*HWsetup2009.exe*' mieszczący się w katalogu *D:\Install\HWTMS*. Dalej należy postępować zgodnie ze wskazówkami instalatora.

III. PODŁĄCZENIE STANOWISKA

Przed uruchomieniem oprogramowania *Hot-Wire Turbulence Measurement System* należy dokonać sprawdzenia podłączeń elementów tunelu i systemu akwizycji danych pomiarowych.

III.1. Podłączenia falownika

W pierwszej kolejności należy dokonać podłączenia falownika do sieci zasilania 220/230V. Następnie należy sprawdzić czy przełącznik zasilania silnika (umieszczony powyżej falownika) jest w pozycji ON (sygnalizacja poprzez podświetlenie wyłącznika).

W kolejnym kroku należy upewnić się czy falownik połączony jest z komputerem za pośrednictwem kabla oznaczonego jako USB-CONVERTERCABLE.

Uwaga! Sterownik konwertera USB falownika powinien być uprzednio zainstalowany (rozdział Instalacja komponentów i oprogramowania).

III.2. Podłączenie układu pozycjonowania czujnika

Układ pozycjonowania czujnika należy połączyć ze sterownikiem. Stolik X (o przesuwie 0÷600mm) należy podłączyć za pośrednictwem kabla przedłużającego X do wejścia sterownika S1. Stolik Y (o przesuwie 0÷300mm) należy podłączyć za pośrednictwem kabla przedłużającego Y do wejścia sterownika S2. Sterownik należy podłączyć do sieci zasilania 220/230V, a następnie przełączyć przełącznik zasilania na sterowniku w pozycję ON (włączenie sygnalizowane jest zaświeceniem się czerwonej diody na sterowniku). Następnie należy upewnić się czy sterownik podłączony jest do jednostki sterującej za pośrednictwem kabla USB.

Uwaga! Sterownik urządzenia powinien być uprzednio zainstalowany (rozdział *Instalacja komponentów i oprogramowania*).

III.3. Podłączenie systemu akwizycji danych pomiarowych

Karta pomiarowa powinna być umieszczona w module, a całość podłączona do komputera kablem USB. Działanie urządzenia sygnalizuje migająca dioda umieszczona w module USB.

Uwaga! Karta pomiarowa powinna być uprzednio zainstalowana (rozdział Instalacja komponentów i oprogramowania).

III.4. Podłączenie sond do modułu ATU 08

Uwaga! Podłączenia sond pomiarowych dokonywać przy wyłączonym systemie ATU 08.

Wybrać rodzaj sondy (jedno, dwu lub trójwłóknową) Wszystkie sondy umieszczać na wysięgniku układu pozycjonowania po uprzednim zsunięciu panelu dostępowego tunelu na wysięgnik.

Sondy jedno i dwuwłóknowe podłączać do systemu termoanemometrycznego z użyciem dołączonej obsadki (sondę należy podpiąć do wcześniej zamontowanej obsadki na wysięgniku układu pozycjonowania czujnika). Następnie należy dokonać podłączenia obsadki do portu PROBE 1 urządzenia *ATU 08* (złącze DB-9)

Sondy trójwłóknowe umieszczać bezpośrednio na wysięgniku układu pozycjonowania czujników. Podłączać zgodnie z oznaczeniem kabli. Kabel sondy oznaczony numerem 1 podłączać do portu PROBE 1 urządzenia *ATU 08*, kabel sondy oznaczony numerem 2 podłączać do portu PROBE 2

Uwaga! Szczegółowe informacje na temat podłączenia sond do urządzenia ATU 08 dostępne są w osobnej instrukcji: "ATU 08 ośmiotorowy moduł stałotemperaturowo - stałoprądowy do pomiarów anemometryczno termometrycznych z sondami pomiarowymi".

III.5. Podłączenie modułu stałotemperaturowo - stałoprądowego ATU 08

Do portu oznaczonego jako OUTPUTS podłączyć wtyczkę z kablami BNC z oznaczeniem *ATU08 HOT_WIRE PROBES* 4, a następnie poszczególne kable z oznaczeniami 1, 2, 3, 4 połączyć z wejściami BNC na karcie pomiarowej *NI 9215*. Kabel z oznaczeniem 1 do wejścia karty AI0, kabel 2 do wejścia AI1, kabel 3 do wejścia AI2, kabel 4 do wejścia AI3.

System podłączyć do zasilania z użyciem zasilacza *ATU08 POWER SUPLY*. Zasilacz należy podłączyć do portu SUPPLY urządzenia *ATU 08* (złącze DB-9), następnie przełączyć przełącznik zasilania systemu *ATU 08* w pozycję ON

Uwaga! Szczegółowe informacje na temat podłączenia urządzenia ATU 08 dostępne są w osobnej instrukcji: "ATU 08 ośmiotorowy moduł stałotemperaturowo - stałoprądowy do pomiarów anemometryczno termometrycznych z sondami pomiarowymi".

IV. OPIS DZIAŁANIA PROGRAMU HOT-WIRE TURBULENCE MEASUREMENT SYSTEM (HWTMS)

Program *Hot-Wire Turbulence Measurement System* (*HWTMS*) służy do sterowania stanowiskiem do badania struktur turbulentnych oraz do akwizycji i wizualizacji danych pomiarowych.

IV.1. Uruchomienie programu – konfiguracja sprzętu

W trakcie uruchamiania programu testowana jest komunikacja z urządzeniami odpowiedzialnymi za sterowanie tunelem i akwizycję danych pomiarowych. W przypadku braku komunikacji, użytkownik powiadamiany jest odpowiednim komunikatem.

IV.1.1 Ustawienia sprzętowe

Zmiany nazw portów, do których podpięte są falownik oraz stolik XY można dokonać w programie za pomocą okna *Ustawienia sprzętowe* (rys. IV.1), wywoływanego z menu *Ustawienia/Ustawienia sprzętowe* (F10). Prawidłowo włączony port oznaczony jest ikoną \checkmark , natomiast symbol \approx oznacza problem z komunikacją. Przycisk *Włącz port* służy do próby skomunikowania się z konkretnym urządzeniem (falownikiem lub stolikiem). Numery portów urządzeń są automatycznie zapamiętywane i zapisywane w pliku konfiguracyjnym przy kończeniu pracy z programem *HWTMS*. Sposób sprawdzenia bieżących ustawień portów został opisany w punkcie II.2 i II.3.

📲 Ustawienia sprzętowe	
Ustawienia dla falownika	
	wrącz port
Ustawienia dla stolików	
Port COM6 💌 💥	Włącz port
Przesuń do krańcówek zerowych	
Zatrzymanie stolików	
	√ ок

Rysunek IV. 1 Okno Ustawienia sprzętowe

Okno *Ustawienia sprzętowe* umożliwia również przesunięcie sondy do krańcówek zerowych, czyli ustawienie stolików w minimalnym dostępnym położeniu (przycisk *Przesuń do krańcówek zerowych*). Wyłączniki krańcowe stanowią sprzętowe ograniczenie dostępnych zakresów przesuwu stolika.

Do awaryjnego przerwania pracy stolików służy przycisk *Zatrzymanie stolików*. Ponieważ po awaryjnym zatrzymaniu stolików, nie jest znane ich dokładne położenie, przyjmuje się, że sonda znajduje się w położeniu zerowym. Użytkownik informowany jest o tym fakcie komunikatem.

Uwaga! Przy korzystaniu z opcji przesuwania sondy do krańcówek zerowych należy uważać, aby nie uszkodzić sondy.

IV.1.2 Wybór sondy pomiarowej

Po uruchomieniu programu pojawia się okno *Wybór sondy* (rys. IV.2), w którym należy wybrać typ umieszczonej w tunelu sondy pomiarowej (jednowłóknowa, dwuwłóknowa, trójwłóknowa) oraz jej numer. Wybór akceptowany jest przyciskiem *OK*. Parametry dla wybranej sondy są automatycznie wczytywane z odpowiedniego pliku konfiguracyjnego (patrz pkt IV.5.3). Informacja o wybranej sondzie znajduje się w pasku nagłówkowym programu.

Wybór sondy 🛛 🚺	3				
Rodzaj sondy: sonda jednowłóknowa sonda dwuwłóknowa sonda trójwłóknowa					
Numer sondy:					
OK sonda jednowłóknowa nr 1					

Rysunek IV. 2 Okno Wybór sondy pomiarowej

Zamknięcie okna bez wcześniejszego wybrania rodzaju i numeru sondy pozwala wykonać tylko pomiary napięć. Natomiast w nagłówku programu pojawia się następująca informacja: "*Nie wybrano żadnej sondy*".

W trakcie działania programu można zmienić wybór sondy wywołując okno *Wybór sondy* za pomocą ikony \mathcal{W} lub z menu *Ustawienia/Wybór czujnika (Ctrl+C)*.

Uwaga! Przy wymianie czujnika należy pamiętać o wcześniejszym wyłączeniu anemometru ATU 08. Nie wyłączenie zasilania czujnika grozi jego uszkodzeniem – spaleniem włókna.

IV.2. Ustawianie parametrów programu

W interfejsie użytkownika można wyróżnić następujące elementy:

- pasek narzędziowy na górze ekranu programu, zawierający menu oraz ikony szybkiego dostępu do podstawowych funkcji programu,
- panel boczny po lewej stronie ekranu, który służy do ustawiania parametrów eksperymentu i akwizycji danych pomiarowych oraz uruchamiania/zatrzymywania pomiarów,

- pasek stanu na dole ekranu, na którym wyświetlane są informacje o aktualnej wartości prędkości przepływu, położeniu sondy, zmierzonych napięciach (lub prędkościach),
- obszar roboczy zawierający wykresy do wizualizacji pomiarów.

📲 Hot-Wire TMS (Wybrano sondę trójwł	iknowa nr 1)
Plik Widok Ustawienia Oprogramie	
🌢 😘 🕼 🔲 🏹	Ś.
Parametry eksperymentu	
Ustawienie prędkości (m/s) v: < 0 > ∆V: 0.5 Ustaw prędkość Zadaj v=0	
Ustawienie położenia sondy (mm)	
0 ++ +X +X	
Ustaw offset STOP	
Częstotliwość próbkowania: 1000 Hz	
Liczba próbek:	
Czas pomiaru: 1 s	
Pomiar	
Rysowane: Tryb pomiaru:	
Owektor prędkości Opomiar N-próbek	
C Kompensacja temperatury	
v = 0 x = 0 y = 0	U1 = 0 U2 = 0 U3 = 0

Rysunek IV. 3 Interfejs użytkownika

IV.2.1. Wybór trybu pomiaru

W programie zaimplementowano dwa tryby pomiaru:

- * tryb manualny umożliwiający przygotowanie eksperymentu, dobranie prędkości i położenia sondy, wykonanie wstępnych pomiarów itp. W trybie tym wyniki pomiarów prezentowane są w dziedzinie czasu.
- Tryb automatyczny, który umożliwia wykonanie serii pomiarów dla różnych prędkości i położeń sondy. Zarówno prędkość jak i pozycja sondy zmieniane są w sposób automatyczny w zadanym wcześniej przedziale zmienności oraz z konkretnym krokiem. Wyniki pomiarów prezentowane są w funkcji przesunięcia wzdłuż osi Y.

Wyboru trybu pomiaru można dokonać wybierając odpowiednią ikonę lub w menu Ustawienia/Tryb pomiaru.

IV.2.2 Panel Parametry eksperymentu

W trybie **manualnym** panel *parametry eksperymentu* (rys. IV.4a) służy do ustawienia zadanej prędkości w tunelu aerodynamicznym oraz przesunięcia sondy do wybranego położenia.

Wartość prędkości można wpisać bezpośrednio z klawiatury do pola (2) (rys. IV.4a) lub ustawić przy pomocy przycisków (1), (3) zmniejszając ją lub zwiększając o wartość podaną w polu Δv (5). Maksymalna prędkość uzyskiwana w tunelu aerodynamicznym wynosi 9.5m/s i można ją zmieniać z dokładnością 0.1m/s. Ustawienie prędkości w falowniku następuje po wciśnięciu przycisku *Ustaw prędkość* (4). Aktualna wartość prędkości wypisywana jest na pasku stanu. Do szybkiego zatrzymania falownika służy przycisk *Zadaj* v=0 (6), który powoduje ustawienie prędkości zerowej.

Przesuwanie sondy do wybranego położenia względem osi X, Y odbywa się za pomocą przycisków -X(8), +X(11), +Y(7), -Y(12). Wartość o jaką przesuwana jest sonda znajduje się w polu (10). Kierunek X przyjęto zgodnie z osią tunelu, a Y prostopadle do niej. Aktualne położenie sondy wypisywane jest na pasku stanu.

Położenie w jakim znajduje się sonda po uruchomieniu programu, przyjmowane jest jako położenie początkowe. Położenie to, można zmienić przesuwając sondę do wybranej pozycji i klikając przycisk *Ustaw offset* (9).

Uwaga! Przy przesuwaniu sondy należy uważać by jej nie uszkodzić - dotknięcie wspornikami przeszkody grozi zerwaniem włókna pomiarowego.

W panelu umieszczono awaryjny przycisk *STOP* (13), powodujący natychmiastowe zatrzymanie stolików. Ponieważ nie znana jest pozycja w jakiej znajduje się sonda po awaryjnym zatrzymaniu, współrzędne są automatycznie zerowane, a użytkownik jest o tym fakcie informowany komunikatem.



Rysunek IV. 4 Panel do ustawiania parametrów eksperymentów a) w trybie manualnym, b) w trybie automatycznym

W trybie **automatycznym** panel *parametry eksperymentu* (rys. IV.4b) służy do zadania zakresu prędkości (v_{min} , v_{max}) dla jakiego będą wykonywane pomiary, kroku zmiany prędkości (Δv), położenia początkowego (x_1 , y_1), końcowego (x_2 , y_2) sondy oraz wartości o jaką ma się ona przesuwać (Δx , Δy). Maksymalna prędkość możliwa do zadania wynosi

9.5m/s, z minimalnym krokiem 0.1m/s. Dla przemieszczenia sondy wzdłuż osi X dopuszczono zakres ± 600 mm, a dla przemieszczenia wzdłuż osi Y ± 300 mm. W obu kierunkach minimalny krok przesunięcia wynosi 1mm.

Uwaga! Przy ustawianiu zakresu przesuwania sondy należy zwrócić uwagę, w jakim dokładnie położeniu się ona znajduje i czy jest możliwość przesuwania jej w obrębie zadanego pola. Maksymalny zakres przesuwu dla stolika X wynosi 600mm, a dla Y 300mm.

Podczas pomiarów najpierw ustawiana jest prędkość, następnie sonda przesuwana jest wzdłuż osi X, a na końcu wzdłuż osi Y.

IV.2.3. Panel Parametry akwizycji danych

Panel *Parametry akwizycji danych* (rys. IV.5) służy do ustawienia parametrów pracy karty pomiarowej, takich jak częstotliwość próbkowania oraz liczba próbek. Na podstawie tych parametrów wyznaczany jest *punkt pomiarowy* przez uśrednienie zadanej liczby próbek zarejestrowanych z podaną częstotliwością próbkowania. U dołu panelu wyświetlany jest czas potrzebny do pomiaru pojedynczego punktu pomiarowego rysowanego na wykresie oraz zapisywanego w pliku z pomiarami. Maksymalna dopuszczalna w programie częstotliwość próbkowania wynosi 10000Hz, a liczba próbek 1000. Natomiast minimalna częstotliwość próbkowania wynosi 0.1Hz, zaś liczba próbek 1.



Rysunek IV. 5 Panel do ustawiania parametrów akwizycji danych pomiarowych

IV.2.3. Panel Pomiar

W panelu *Pomiar* (rys. IV.6) w polu *Rysowane* ustawiane są wartości rysowane na wykresie: napięcia lub wyliczone na ich podstawie wartości składowych wektora prędkości przepływu. Wybranie opcji *Kompensacja temperatury* pozwala uwzględnić bieżącą wartość temperatury przy wyznaczaniu składowych wektora prędkości przepływu.

W trybie **manualnym** można wykonać jeden z dwóch typów pomiaru: *pomiar ciągły* oraz *pomiar N-próbek* (opcja *Tryb pomiaru*). *Pomiar ciągły* polega na zbieraniu punktów pomiarowych tak długo, aż pomiar nie zostanie zatrzymany przez użytkownika. Tryb ten może służyć np. do wykonania pomiarów testowych, przygotowania eksperymentu przez dobranie prędkości i pozycji sondy itp. Natomiast przy *pomiarze N-próbek* mierzony jest tylko jeden *punkt pomiarowy* – wyrysowane zostają wszystkie zarejestrowane przez kartę pomiarową próbki, bez ich uśredniania. Tryb ten umożliwia rejestrację szybkich zmian strumienia przepływu, na podstawie których można wyznaczać np. współczynnik turbulencji.



Rysunek IV. 6 Panel związany z pomiarem

Pomiar uruchamiany i zatrzymywany jest za pomocą przycisku *START/STOP* lub za pomocą klawisza *F5*.

W przypadku *pomiaru ciągłego* wprowadzono ograniczenie na maksymalną częstotliwość próbkowania (1000Hz) oraz na minimalny czas (0.1s) pomiaru pojedynczego punktu pomiarowego. W przypadku, gdy częstotliwość próbkowania jest większa od 1000Hz, a czas pomiaru mieści się w zadanym zakresie, zmniejszana jest wraz z częstotliwością liczba próbek, tak aby czas pomiaru się nie zmienił. Natomiast jeżeli czas pomiaru jest mniejszy od 0.1s zmniejszana jest częstotliwość pomiaru tak, aby dla zadanej liczby próbek uzyskać dopuszczalny czas pomiaru. O każdej zmianie parametrów użytkownik informowany jest komunikatem. Zaakceptowanie przez niego zmian powoduje uruchomienie pomiaru. Natomiast anulowanie poprawek, powrót do głównego okna programu bez uruchamiania pomiaru.

IV.3. Wizualizacja danych pomiarowych

W zależności od wybranej opcji *Rysowane* w panelu *Pomiar* na wykresie górnym rysowane są napięcia lub przeliczone na ich podstawie wartości składowych wektora prędkości przepływu. Należy pamiętać, że wektor prędkości wyznaczany jest w układzie współrzędnych związanym z włóknami sondy. I tak: v1 – składowa wektora prędkości związana z włóknem 1, v2 – składowa wektora prędkości związana z włóknem 2, v3 – składowa wektora prędkości związana z włóknem 3.

Dolny wykres przedstawia wskaźnik turbulencji wyznaczony ze wzoru:

$$Qw = \sqrt{\frac{\frac{1}{kN}\sum_{k}\sum_{i=1}^{N}\left(w_{i}-\overline{w}_{k}\right)^{2}}{\sum_{k}\left(\overline{w}_{k}\right)^{2}}}$$

gdzie

- *k* liczba włókien sondy pomiarowej (liczba kanałów pomiarowych),
- N liczba próbek,
- w_i wartość napięcia lub prędkości i-tej próbki,
- w_k średnia wartość napięcia lub prędkości dla k-tego włókna wyznaczona na podstawie N próbek.

Wykres wskaźnika turbulencji można wyłączyć/włączyć w menu *Widok/Wskaźnik turbulencji* (*Ctrl+T*). W przypadku *pomiaru N-próbek* wskaźnik turbulencji wyznaczany jest

z zarejestrowanych przez kartę próbek (czyli dla jednego punktu pomiarowego) i rysowany na wykresie w postaci jednej wartości dla czasu t=0.

Wykresy można skalować, zaznaczając wybrany obszar lewym przyciskiem myszy. Natomiast styl wybranej serii pomiarowej (grubość, typ, kolor linii, marker) można modyfikować klikając na nią prawym przyciskiem myszy i wybierając odpowiednie opcje. Parametry serii można także ustawić w oknie *Parametry wykresu* (rys. IV.7), wywoływanej z menu *Ustawienia/Parametry wykresu* (F7) lub za pomocą ikony . Dla poszczególnych kanałów można tam ustawić kolor, styl oraz grubość linii, rozmiar i rodzaj markera. Parametry kanału 1 są związane zarówno z serią pierwszą wykresu przedstawiającego dane pomiarowe, jak i z wykresem wskaźnika turbulencji. Opcja *Legenda* umożliwia włączenie lub wyłączenie wyświetlania legendy na wykresach. Ustawione parametry dotyczące serii pomiarowych można zapisać do pliku z rozszerzeniem '*.*wyk*'. Można też odczytać i wprowadzić do programu wcześniej zapisane parametry. Przycisk *OK* powoduje zaakceptowanie nowych ustawień dla wykresu, natomiast przycisk *Anuluj* powrót do poprzednich.

ĺ	🐮 Paramet	ry wykresu			
	Plik				
	Kolor	Styl linii	Grubość linii	Rodzaj markera	Rozmiar markera
	Kanał 1		3 💙	0 💌	4
	Kanał 2		3 💙	+ 💌	4
	Kanał 3	<u></u>	3 💌	v 💌	4
	🔽 Legend	la		🔀 Anuluj	🖌 ок

Rysunek IV. 7 Okno do ustawiania parametrów wykresu

Równolegle z wyświetlaniem danych pomiarowych są one zapisywane do tabeli, którą można oglądać klikając na ikonę lub wybierając opcję menu *Widok/Wyniki pomiarów (Ctrl+P)*. W *trybie manualnym* do tabeli zapisywany jest: numer pomiaru, czas, zmierzone napięcia, wskaźnik turbulencji wyznaczony dla napięć, wyznaczone składowe wektora prędkości oraz wskaźnik turbulencji dla prędkości. Natomiast w przypadku *pomiaru automatycznego* do tabeli zapisywane są: numer pomiaru, aktualna prędkość, położenie sondy (x, y), zmierzone napięcia, wskaźnik turbulencji wyznaczony dla napięć, wyznaczone składowe wektora prędkości oraz wskaźnik turbulencji dla prędkości.

IV.4. Zapis danych do pliku

Po zakończeniu każdego z pomiarów pojawia się okno umożliwiające zapisanie danych do pliku z rozszerzeniem '*.*dat*'. Okno to można wywołać ikoną \bigcirc lub w menu *Plik/Zapisz jako* ... (*Ctrl+S*). W przypadku manualnego trybu pomiaru plik ma następujący format:

t U1 U2 U3 Qu v1 v2 v3 Qv

natomiast w trybie automatycznym:

v x y U1 U2 U3 Qu v1 v2 v3 Qv

W celu zabezpieczenia danych pomiarowych przed ich utratą, tworzony jest plik '*temp.dat*', w którym zapisywane są bieżące wyniki pomiarów.

IV.5. Pliki z parametrami

IV.5.1 Plik konfiguracyjny programu

Program *Hot-Wire Turbulence Measurement System* uruchamia się z parametrami zapisanymi w pliku konfiguracyjnym '*HWTMS.par*', który znajduje się w katalogu głównym programu. Plik ten zawiera następujący zestaw parametrów:

- nazwa portu, do którego podpięty jest falownik,
- nazwa portu, do którego podpięty jest układ pozycjonowania sondy,
- oznaczenie karty pomiarowej (np Dev1),
- liczba sond jednowłóknowych,
- liczba sond dwuwłóknowych,
- liczba sond trójwłóknowych,
- katalog z parametrami sond pomiarowych,
- katalog, w którym zapisywane będą pomiary.

Brak tego pliku spowoduje uruchomienie się programu z parametrami domyślnymi. Przy zamknięciu programu plik jest automatycznie aktualizowany.

IV.5.2 Plik z parametrami wykresu

Podczas uruchamiania się programu ładowany jest również plik '*wykres.wyk*' z parametrami serii pomiarowych rysowanych na wykresie. W przypadku braku tego pliku ładowane są parametry domyślne dla wykresów.

IV.5.3 Pliki z parametrami czujników pomiarowych

W katalogu głównym programu znajdują się pliki z parametrami sond pomiarowych: '*sondy1w.dan', 'sondy2w.dan', 'sondy3w.dan'*. W jednym pliku mieszczą się parametry dla wszystkich sond danego typu.

Rozmieszczenie parametrów (patrz pkt. I.7) w pliku:

- dla sond jednowłóknowych - 'Sondylw.dan'

 $a_i \quad b_i \quad n_i \quad T_{wi}$

 Tw_i – temperatura wzorcowania,

i – numer sondy.

- dla sond dwuwłóknowych - 'Sondy2w.dan'

a_{1xi}	a_{2xi}	b_{1xi}	b_{2xi}	n_{1xi}	$n_{2 \mathrm{xi}}$	T_{wi}
a_{1yi}	a_{2yi}	b_{1yi}	b_{2yi}	n_{1yi}	n_{2yi}	T_{wi}

 Tw_i – temperatura wzorcowania,

i – numer sondy.

- dla sond trójwłóknowych - 'Sondy3w.dan'

a_{1xi}	a_{2xi}	a_{3xi}	b_{1xi}	b_{2xi}	b_{3xi}	n_{1xi}	n_{2xi}	n_{3xi}	$\mathrm{Tw}_{\mathtt{i}}$
a _{lyi}	a_{2yi}	a _{3yi}	b_{1yi}	b_{2yi}	b_{3yi}	n_{1yi}	n_{2yi}	n _{3yi}	$\mathrm{Tw}_{\mathtt{i}}$
a_{1zi}	a_{2zi}	a_{3zi}	b_{1zi}	b_{2zi}	b_{3zi}	n_{1zi}	n_{2zi}	n_{3zi}	$\mathrm{Tw}_{\mathtt{i}}$

 Tw_i – temperatura wzorcowania,

i – numer sondy.

V. WYKONANIE POMIARU - KROK PO KROKU

- 1. Sprawdź połączenie falownika (pkt III.1).
- 2. Sprawdź podłączenie układu pozycjonowania czujników (pkt III.2).
- 3. Sprawdź podłączenie karty pomiarowej A/C USB (pkt III.3).
- 4. Sprawdź czy układ anemometru ATU 08 jest wyłączony aby zapobiec uszkodzeniu sondy.
- 5. Ostrożnie umieść wybraną sondę na wysięgniku układu pozycjonowania czujników (stolik XY) (pkt III.4)
- 6. Sprawdź podłączenie układu anemometru ATU 08 (pkt III.5) i włącz anemometr.
- 7. Uruchom oprogramowanie Hot-Wire Turbulence Measurement System (HWTMS.exe).
 - 7.1 Jeżeli wyświetlany jest komunikat: "Brak komunikacji ze stolikiem nieudany zapis do portu COMx", sprawdź czy urządzenie zostało prawidłowo zainstalowane i czy widnieje w systemie (Mój komputer\Panel sterowania\System\Menedżer urządzeń\ Porty COM & LPT) jako COMx (gdzie x oznacza konkretny numer portu 1,2,3...)
 - 7.1.1 Jeżeli stolik został prawidłowo zainstalowany, a numer portu jest inny niż w komunikacie, zmień jego numer (patrz krok 7.6) w oknie Ustawienia sprzętowe (pkt IV.1.1) lub poprzez edycję pliku konfiguracyjnego 'HWTMS.par' (pkt IV.5.1).
 - 7.2 Jeżeli wyświetlany jest komunikat: "*Brak komunikacji z falownikiem nieudany zapis do portu COMx", sprawdź* czy urządzenie zostało prawidłowo zainstalowane i czy widnieje w systemie (*Mój komputer**Panel sterowania**System**Menedżer urządzeń**Porty COM & LPT*) jako COMx (gdzie x oznacza konkretny numer portu).
 - 7.2.1 Jeżeli falownik został prawidłowo zainstalowany, a numer portu jest inny niż w komunikacie, zmień jego numer (patrz krok 7.6) w oknie *Ustawienia sprzętowe* (pkt IV.1.1) lub poprzez edycję pliku konfiguracyjnego '*HWTMS.par*' (pkt IV.5.1).
 - 7.3 Jeżeli wyświetlany jest komunikat: "*Błąd pracy falownika", sprawdź* czy falownik jest włączony (pkt III.1).
 - 7.3.1 Jeżeli falownik jest włączony, a błąd wciąż się pojawia odłącz zasilanie i odczekaj około 30 sekund przed ponownym włączeniem.
 - 7.4 Jeżeli wyświetlany jest komunikat: "*Nie wykryto karty pomiarowej oznaczonej jako DevX*":
 - 7.4.1 Należy sprawdzić podłączenie karty i numer X przypisany jej w systemie (pkt II.1).

- 7.4.2 W przypadku gdy numer oznaczenia karty jest różny od *DevX*, należy wprowadzić ten numer w pliku konfiguracyjnym oprogramowania *'HWTMS.par'* (pkt IV.5.1)
- 7.5 Wybierz typ i numer umieszczonej w tunelu sondy pomiarowej (pkt IV.1.2).
- 7.6 Jeżeli chcesz zmienić numer portu dla falownika lub systemu pozycjonowania sondy wybierz menu *Ustawienia/Ustawienia sprzętowe* i dokonaj zmian (pkt IV.1.1).

7.7 PRZYGOTUJ EKSPERYMENT W TRYBIE MANUALNYM (pkt IV.2.1):

- 7.7.1 Ustaw prędkość (pkt IV.2.2).
- 7.7.2 Przesuń sondę w wybrane położenie początkowe (pkt IV.2.2).

UWAGA: W trakcie pozycjonowania sondy należy szczególnie uważać by nie dopuścić do uszkodzenia sondy poprzez doprowadzenie do bezpośredniego zetknięcia z obmierzanym obiektem lub ścianą tunelu aerodynamicznego!

- 7.7.3 Ustaw aktualne położenie sondy jako położenie zerowe (pkt IV.2.2).
- 7.7.4 Ustaw parametry akwizycji danych pomiarowych (pkt IV.2.3).
- 7.7.5 Wybierz wartość rysowaną na wykresie: napięcia/prędkość (pkt IV.2.3).
- 7.7.6 Wybierz tryb pomiaru: ciągły/N-próbek (pkt IV.2.3).
- 7.7.7 Jeżeli przy wyznaczaniu składowych wektora prędkości ma być uwzględniana poprawka temperaturowa, włącz *Kompensację temperatury* (pkt IV.2.3).
- 7.7.8 Uruchom pomiar (pkt IV.2.3).
- 7.7.9 W trybie ciągłym algorytm wymaga ręcznego zatrzymania (pkt IV.2.3).
- 7.7.10 Zapisz otrzymane wyniki do pliku (pkt IV.4).

7.8 **POMIAR W TRYBIE AUTOMATYCZNYM** (pkt IV.2.1):

- 7.8.1 Ustaw zakres zmian prędkości oraz krok zmiany prędkości (pkt IV.2.2).
- 7.8.2 Ustaw zakresy dla ruchu sondy wzdłuż osi X i Y oraz krok przesuwu (pkt IV.2.2).

UWAGA: W trakcie ustawiania przesuwu sondy należy szczególnie uważać by nie dopuścić do uszkodzenia sondy poprzez doprowadzenie do bezpośredniego zetknięcia z obmierzanym obiektem lub ścianą tunelu aerodynamicznego!

- 7.8.3 Ustaw parametry akwizycji danych pomiarowych (pkt IV.2.3).
- 7.8.4 Wybierz wartość rysowaną na wykresie: napięcia/prędkość (pkt IV.2.3).

- 7.8.5 Jeżeli przy wyznaczaniu składowych wektora prędkości ma być uwzględniana poprawka temperaturowa, włącz *Kompensację temperatury* (pkt IV.2.3).
- 7.8.6 Uruchom pomiar (pkt IV.2.3).
- 7.8.7 Zapisz otrzymane wyniki do pliku (pkt IV.4).

VI. POMOC TECHNICZNA

W razie wystąpienia problemów z użytkowaniem sprzętu prosimy o kontakt:

Instytut Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk adres: ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków, Polska telefon: (+48) 12 637-62-00 fax: (+48) 12 6372884

Osoby do kontaktu:

- oprogramowanie:

Katarzyna Socha telefon: (12) 637-62-00 wew. 40 email: socha@img-pan.krakow.pl

Paweł Jamróz telefon: (12) 637-62-00 wew. 40 email: jamroz@img-pan.krakow.pl

- sprzęt pomiarowy:

Paweł Ligęza telefon: (12) 637-62-00 wew. 25 email: ligeza@img-pan.krakow.pl

Elżbieta Poleszczyk telefon: (12) 637-62-00 wew. 45 email: poleszcz@img-pan.krakow.pl