

POLITECHNIKA



BIAŁOSTOCKA

WYDZIAŁ



INŻYNIERII  
ZARZĄDZANIA

KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu:

## *Systemy kontrolno-pomiarowe*

Kod przedmiotu: KSU 01642, KNU 01642

### Ćwiczenie Nr 9

#### *Wyznaczanie charakterystyki przetwarzania termoanemometru (system NI)*

*(z zastosowaniem National Instruments)*

Opracował:  
dr inż. Arkadiusz Łukjaniuk

Białystok 2020

*Wszystkie prawa zastrzeżone*

*Wszystkie nazwy handlowe i towarów występujące w niniejszej instrukcji są znakami towarowymi zastrzeżonymi lub nazwami zastrzeżonymi odpowiednich firm odnośnych właścicieli.*

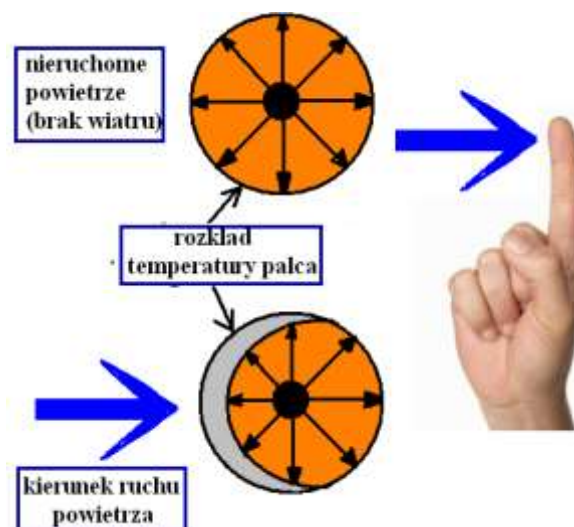
**CEL ĆWICZENIA:** zapoznanie studentów z metodyką wyznaczania charakterystyki przetwarzania termooanemometru oraz wykorzystaniem czujników rezystancyjnych do pomiarów prędkości przepływu powietrza z zastosowaniem systemu National Instruments, a także nauczanie (na przykładzie National Instruments) podstawowych zasad wykorzystywania komputerowych systemów pomiarowych do pomiarów wielkości nieelektrycznych.

## 1. WPROWADZENIE

Pomiary parametrów przepływu gazów i płynów są wykonywane przy pomocy anemometrów:

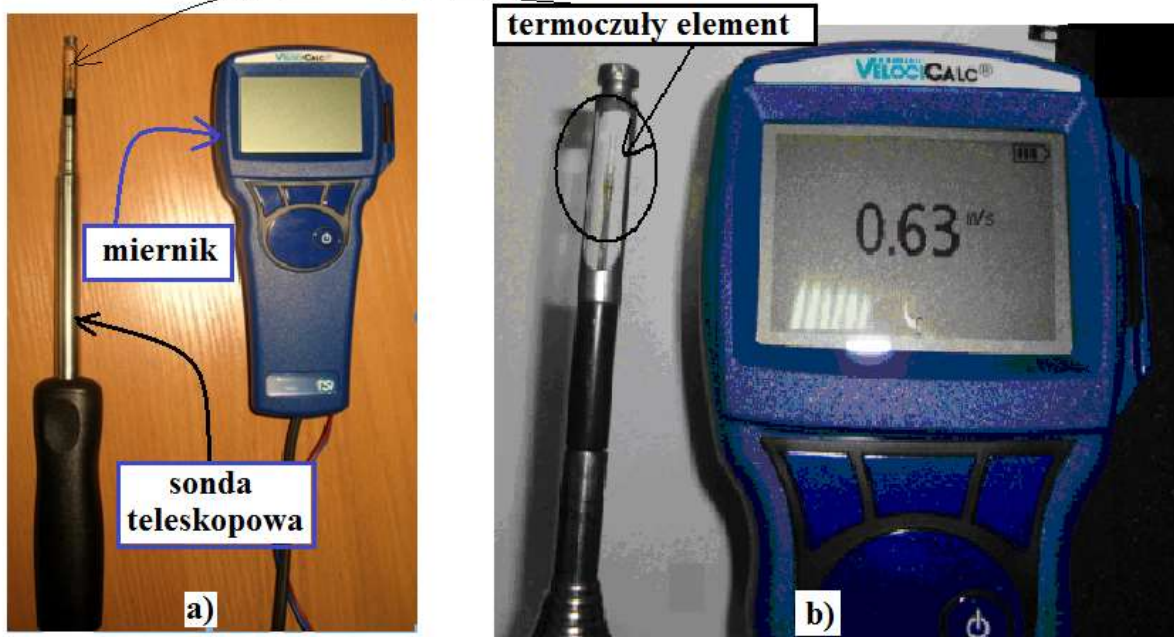
- obrotowych: czasowe, wiatrakowe;
- wychyłowych;
- termooanemometrów;
- ciśnieniowych (rurka Pitota);
- dopplerowskich;
- ultradźwiękowych.

W tym ćwiczeniu będziemy zajmować się termooanemometrami, więc zostanie przedstawiona w skrócie zasada działania tych przyrządów. Zjawisko pomiaru prędkości metodą termiczną można przedstawić w prosty sposób. Każdy człowiek ma wbudowany w sobie czuły termooanemometr i może go wykorzystać zwilżając palec i podnosząc go do góry. Wystawienie mokrego palca na działanie wiatru spowoduje jego oziębienie tym większe, im większa jest prędkość wiatru (rys.1).



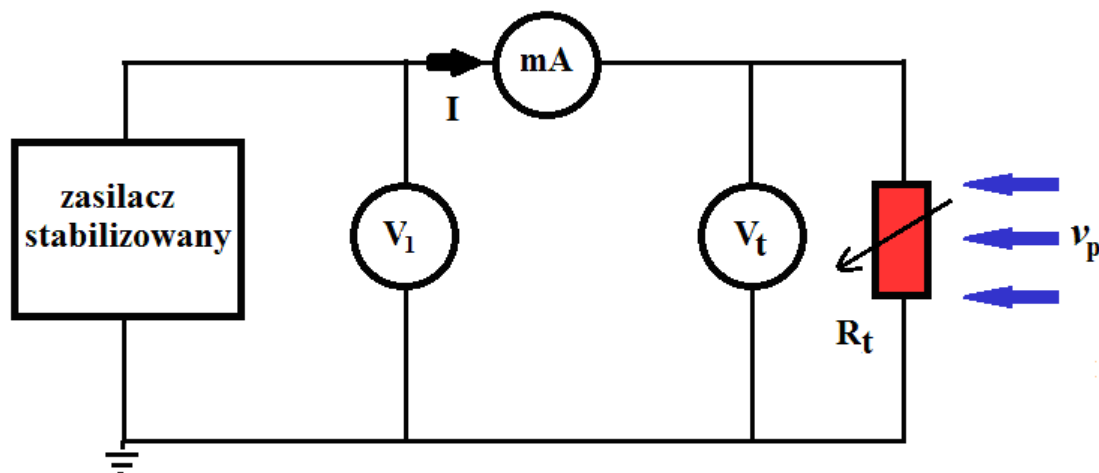
Rys.1. Zasada działania termooanemometru.

Właśnie taka cecha tego zjawiska, czyli zależność intensywności wymiany ciepła od prędkości przepływu jest podstawą działania termooanemometru. Na tej samej zasadzie opiera się działanie przepływomierzy termicznych elektrycznych, czyli termooanemometrów (rys.2a). W tych przyrządach omywany przez przepływające medium sensor (rys. 2b) doznaje ochłodzenia, co powoduje zmianę jego rezystancji.



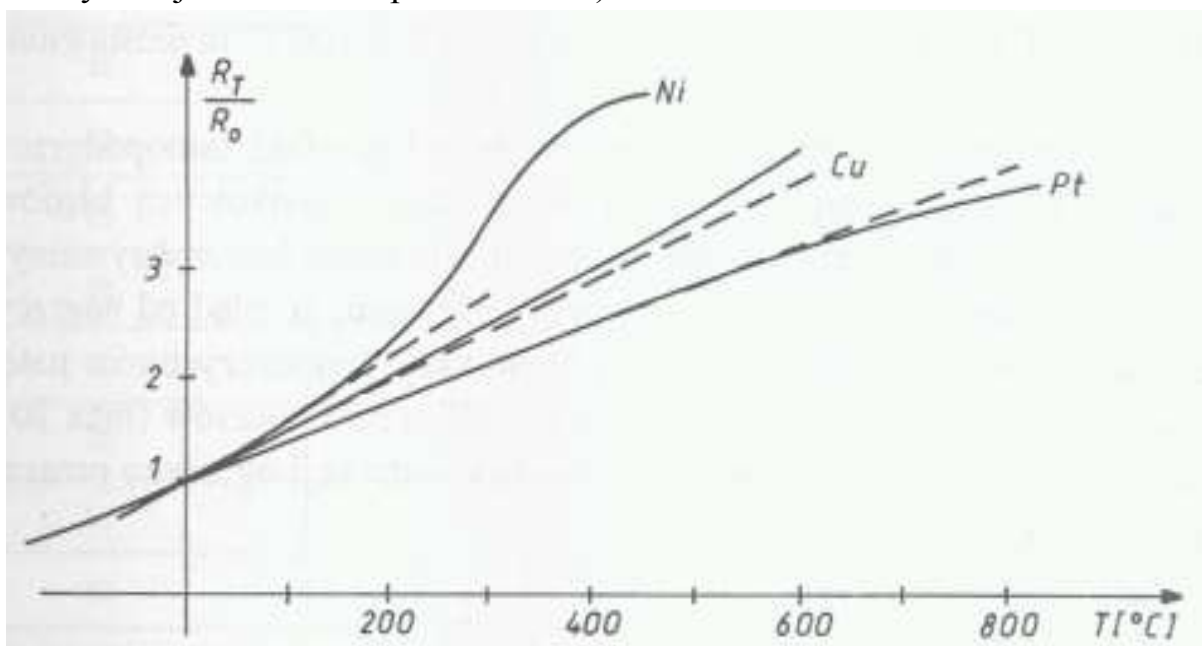
Rys.2. Termooanemometr VelociCalc 9515: a) widok ogólny przyrządu; b) powiększony fragment sondy i wyświetlacz.

Na rys.3 przedstawiony jest uproszczony schemat elektryczny wyjaśniający działanie termooanemometru. Dokonując pomiaru napięcia  $V_t$  na elemencie rezystancyjnym  $R_t$  oraz prądu  $I$  w jego obwodzie, znając właściwości



Rys.3. Uproszczony schemat elektryczny termooanemometru.

czujnika oraz wartości współczynników dotyczących wymiany ciepła, można wyznaczyć miejscową prędkość przepływu medium  $v_p$ . Sensory wykorzystywane przy pomiarach przepływu, powinny charakteryzować się dużą wartością temperaturowego współczynnika rezystancji, stabilnymi własnościami elektrycznymi i mechanicznymi. Materiały z jakich można wykonać takie czujniki to: wolfram, platyna, nikiel, miedź, platynorod, platynoiryd, a także materiały półprzewodnikowe. W laboratorium używane są przetworniki rezystancyjne: metalowe - Pt100, Pt1000, Ni100 i półprzewodnikowe - PTC (dodatni współczynnik zmiany rezystancji) i NTC (ujemny współczynnik zmiany rezystancji) (oznaczenie: Pt100 jest to termorezystor platynowy o rezystancji  $100\Omega$  w temperaturze  $0^\circ\text{C}$ ).



Rys.4. Zmiany rezystancji typowych termorezystorów w funkcji temperatury [1].

Na rys.4 przedstawione zostały charakterystyki zmian rezystancji w zależności od temperatury typowych termorezystorów.

Najważniejszymi zaletami termorezystorów platynowych są: duża stałość własności fizycznych, odporność na korozję, kowalność, duży zakres liniowości – do ok.  $600^\circ\text{C}$ .

W liniowym zakresie przetwarzania charakterystyka termorezystora ma postać:

$$R_t = R_0(1 + \alpha T),$$

gdzie:  $R_0$  – rezystancja termorezystora w temperaturze  $0^\circ\text{C}$ ;

$\alpha$  – temperaturowy współczynnik rezystancji w  $1/^\circ\text{C}$ ;

T – temperatura.

W tabeli 1 przedstawione są temperaturowe zmiany rezystancji termorezystorów wykonanych z platyny, miedzi i niklu.

Tabela 1. Zależność rezystancji od temperatury wybranych rezystorów [1].

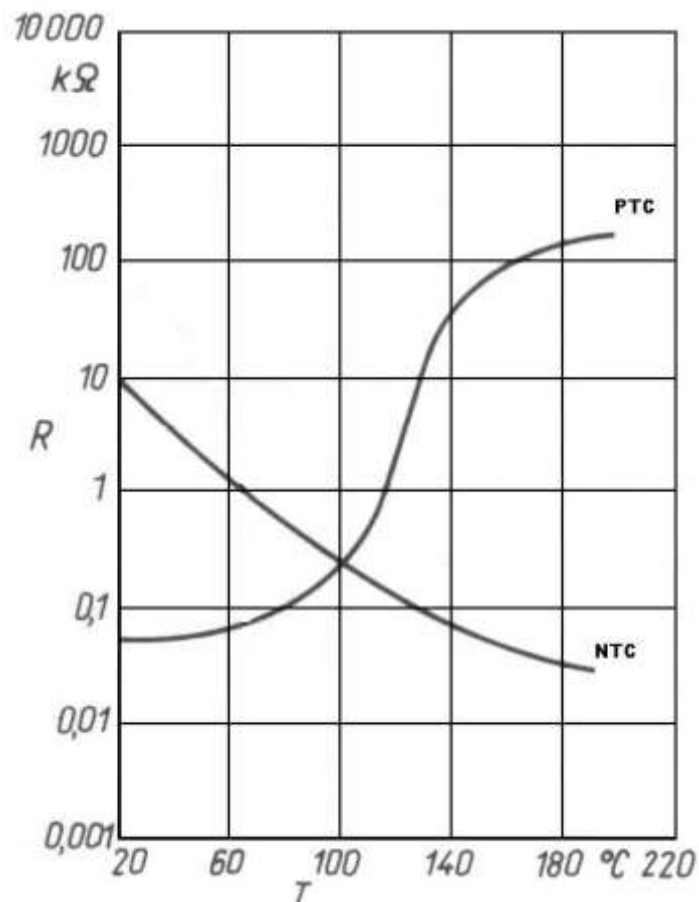
Temperatura [°C]	Rezystancja [ $\Omega$ ]		
	Pt 100	Ni 100	Cu 100
0	100,00	100,00	100,00
5	101,95	102,77	102,13
10	103,90	105,56	104,26
15	105,85	108,39	106,39
20	107,79	111,25	108,52
25	109,73	114,14	110,65
30	111,67	117,07	112,78
35	113,61	120,02	114,91
40	115,54	123,01	117,04
45	117,47	126,03	119,17
50	119,40	129,09	121,30
55	121,32	132,18	123,43
60	123,24	135,30	125,56
65	125,16	138,47	127,69
70	127,07	141,67	129,82
75	128,98	144,91	131,95
80	130,89	148,19	134,08
85	132,80	151,50	136,21
90	134,70	154,86	138,34
95	136,60	158,27	140,47
100	138,50	161,71	142,60

Charakterystyka zmian rezystancji termistorów w funkcji temperatury jest nieliniowa i ma postać:

$$R_t = R_{t_0} e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)},$$

gdzie:  $R_{t_0}$  – rezystancja termistora w temperaturze odniesienia  $T_0$ ;

$B$  – stała zależna od materiału termistora w *deg*.



Rys.5. Zmiany rezystancji termistorów PTC i NTC w funkcji temperatury [1].

Do zalet termistorów należą:

- duży temperaturowy współczynnik rezystancji (rzędu 3-4%/deg);
- duża rezystywność;
- bardzo małe wymiary (perełki o średnicy 0,3-1mm).

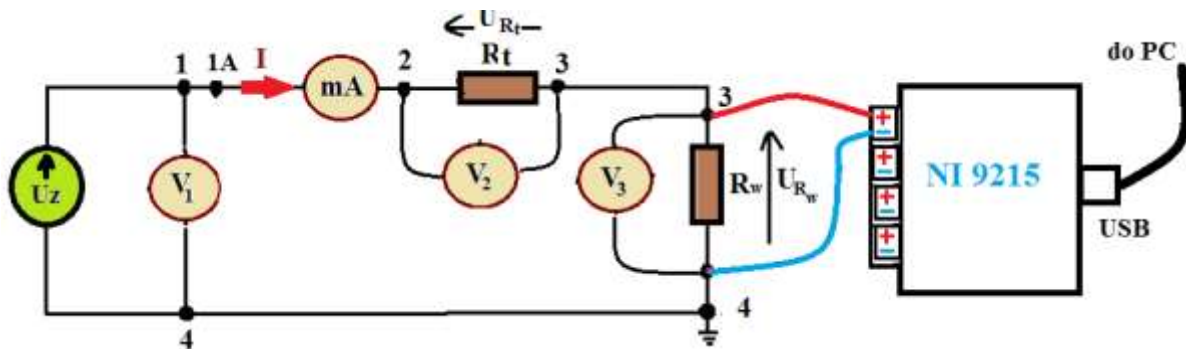
Natomiast ich największe wady to:

- mała powtarzalność i stałość parametrów (zwłaszcza w temperaturach ponad 200°C);
- niestabilność czasowa;
- bardzo duża nieliniowość.



## 2. WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYKI PRZETWARZANIA TERMOREZYSTORA

Na rysunku 6 przedstawiony jest schemat elektryczny układu do wyznaczenia charakterystyki przetwarzania termorezystora, na rysunku 7 - widok stanowiska pomiarowego z zaznaczoną numeracją miejsc podłączeń mierników.



Rys.6. Schemat układu elektrycznego do wyznaczenia charakterystyki przetwarzania termorezystora wraz z podłączonym modulem NI 9215.



Rys.7. Widok stanowiska pomiarowego: 1, 1A, 2, 3, 4 – miejsca podłączeń mierników (zgodnie z rys. 6),  $V_1$ ,  $V_2$  i  $V_3$  – woltomierze do pomiaru napięć: zasilania, na termorezystorze i rezystorze wzorcowym, mA- miliamperomierz o zakresie do 20mA, termooanemometr VelociCalc 9515 - do pomiaru prędkości przepływu powietrza w rurze wentylacyjnej.





Rys.8. Miejsce zamocowania badanych termorezystorów i termoanemometru.



Rys.9. Panel sterowania stanowiska pomiarowego

Przed przystąpieniem do pomiarów należy umieścić sondę pomiarową termoanemometru VelociCalc 9515 w rurze wentylacyjnej jak na rysunku 8 i sprawdzić, czy badane czujniki są umieszczone w rurze zgodnie z kolorowymi markerami (w razie niezgodności przekrócić obudowę czujnika aż do pokrycia się markera na czujniku i obudowie).

Kolejność wykonywania ćwiczenia:

1. Włączyć wszystkie mierniki i termoanemometr.
2. Włączyć zasilanie stanowiska pomiarowego (rys. 9 – przycisk zasilanie On/Off).
3. Włączyć wentylator (rys. 9 – przycisk wentylator On/Off).
4. Ustawić pokrętkę regulacji prędkości wentylatora w pozycji 1.
5. Zapisać wskazania multimetrów i termoanemometru do tabeli 2 (najlepiej taką tabelę utworzyć w arkuszu Excel).
6. Powtórzyć punkty 4-5 dla pozostałych położenia pokrętki regulacji prędkości wentylatora.
7. Wyłączyć wentylator i zasilanie stanowiska.

Tabela 2. Wyniki pomiarów charakterystyki termorezystorów

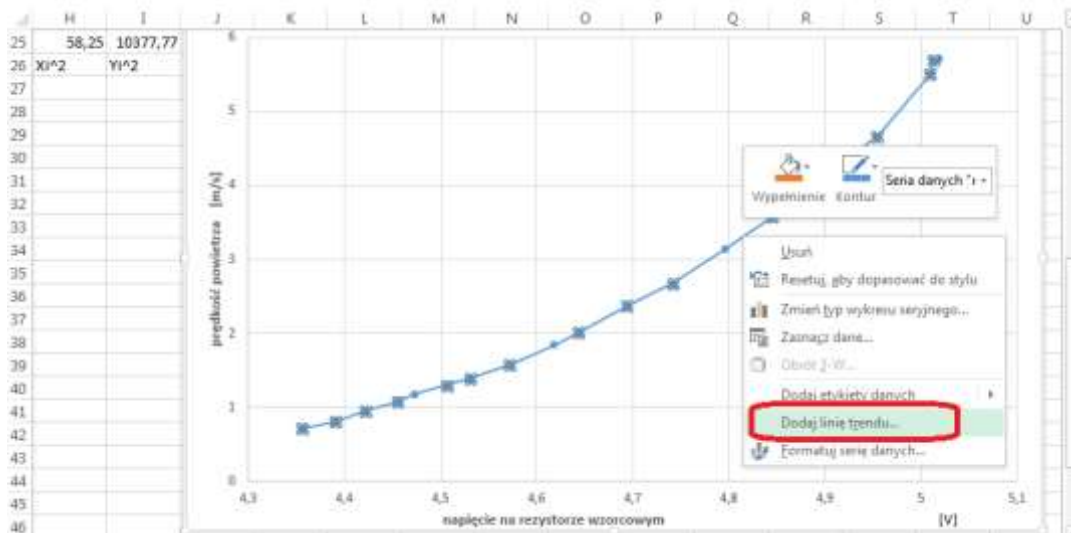
Położenia pokręta	$V_t$ m/s	$V_1$ V	$V_2$ V	$V_3$ V	$I$ mA	$R_t$ $\Omega$
1						
1,5						
2						
2,5						
3						
3,5						
4						
4,5						
5						
5,5						
6						
6,5						
7						
7,5						
8						
8,5						
9						
9,25						
9,5						
9,75						
10						

8. Obliczyć (w arkuszu Excel) wartość rezystancji termorezystora:

$$R_t = \frac{U_{Rt}}{I} = \frac{V_2}{I}$$

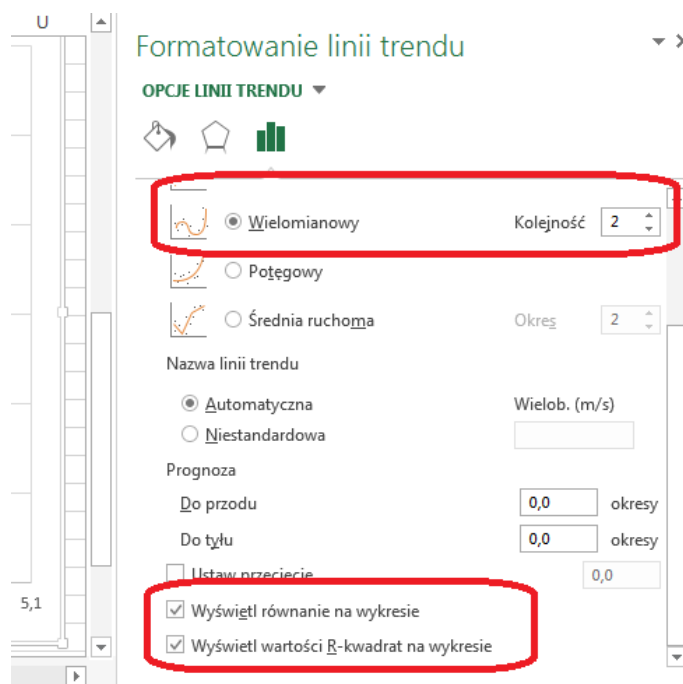
9. Narysować wykres zmian prędkości przepływu powietrza w funkcji napięcia na rezystancji wzorcowej  $R_w$   $v=f(V_2)$  (rys. 10).

10. Klikając prawym klawiszem myszki na wykres uaktywnić opcję „Dodaj linię trendu”.



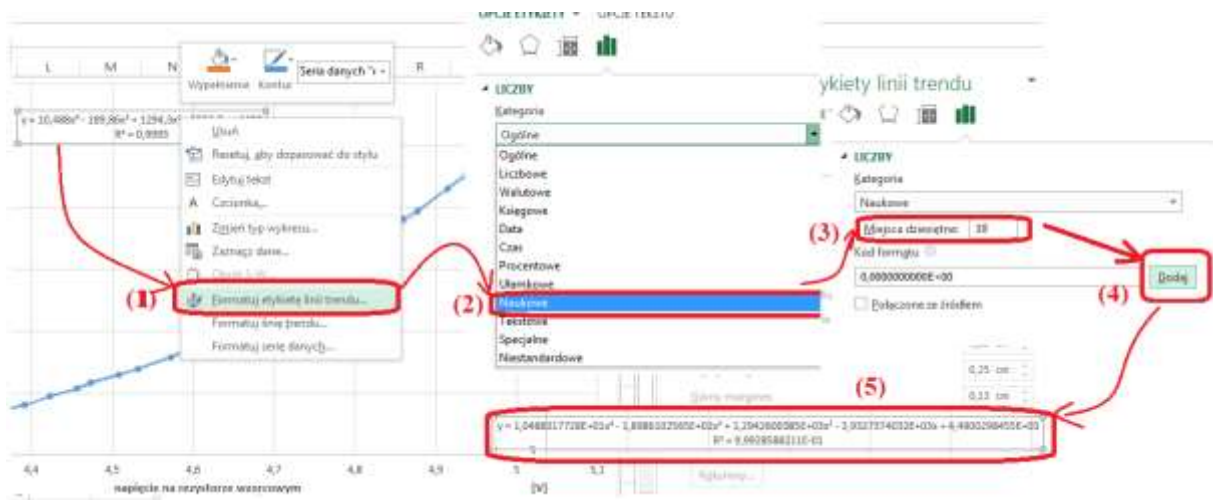
Rys.10. Wykres prędkości przepływu powietrza w funkcji zmian napięcia na rezystancji wzorcowej

11. Następnie uaktywnić rodzaj linii trendu – wielomianowy (rys. 11), wybrać rząd wielomianu 2 i zaznaczyć „Wyświetl równanie... i wartości R-kwadrat...”



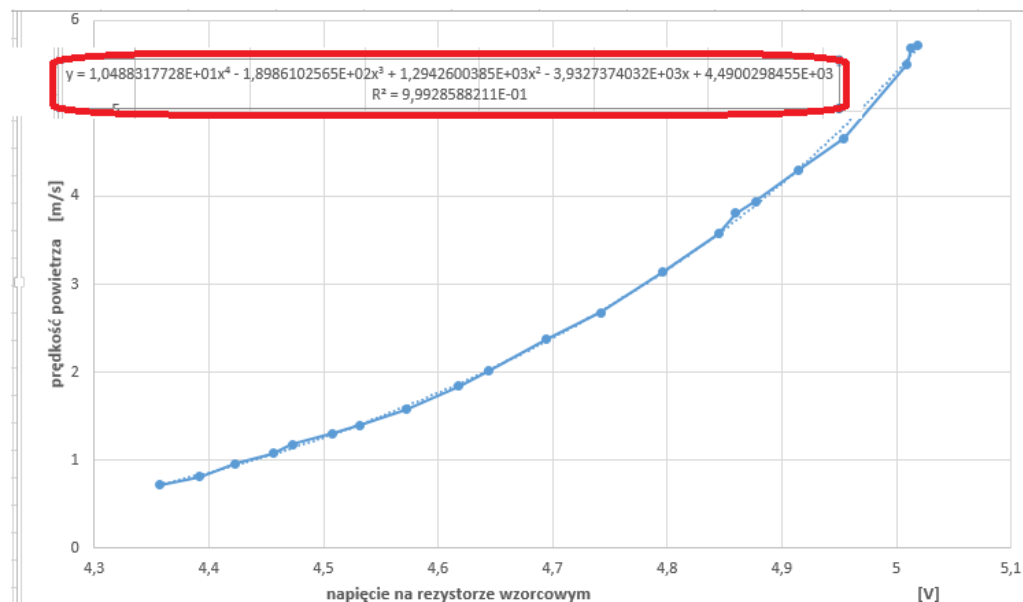
Rys.11. Wybór parametrów linii trendu

12. Po ukazaniu się równania linii trendu klikając na nie prawym klawiszem myszki uaktywnić opcję (1) „Formatuj etykietę linii trendu” (rys. 12) i zmienić format liczb na naukowe (2) z 10-ma miejscami dziesiętnymi (3) (jest to niezbędne do uzyskania wymaganej dokładności odtworzenia charakterystyki termorezystora) i zatwierdzić (dodaj) (4). Spowoduje to wyświetlenie równania linii trendu z wymaganą dokładnością (5).



Rys.12. Wybór sposobu przedstawiania liczb w równaniu linii trendu

13. Przepisać (skopiować) uzyskane równanie linii trendu i  $R^2$  (rys. 13) do tabeli 3.



Rys.13. Równanie linii trendu z wartościami współczynników zapisanych z wymaganą dokładnością

Tabela 3. Równania linii trendu

Rząd wielomianu	Postać równania linii trendu	$R^2$
2		
3		
4		
5		
MNK		

14. Powtórzyć polecenia 9,10 i 12 dla kolejnych stopni wielomianów.

Do wyznaczenia charakterystyki pomiarowej termorezystora można użyć równanie Kinga:

$$U_R^2 = A + Bv^n,$$

gdzie:  $U_R$  – napięcie na rezystorze;

$v$  – prędkość powietrza omywającego rezystor;

$n$  – wykładnik potęgi w standardowych warunkach  $n=0,5$ ;

$A$  i  $B$  współczynniki równań wyliczane np. przy pomocy metody najmniejszych kwadratów (MNK):

$$A = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i (\sum y_i x_i)}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2},$$

$$B = \frac{N(\sum y_i x_i) - \sum x_i \sum y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2},$$

$N$  – liczba pomiarów;

$x_i = \sqrt{v_i}$  - pierwiastek kwadratowy z wartości prędkości w  $i$ -tym pomiarze;

$y_i = U_{Ri}^2$  - kwadrat wartości napięcia na rezystorze wzorcowym w  $i$ -tym pomiarze.

Ostatecznie uzyskane równanie do wyznaczania prędkości przepływu powietrza ma postać:

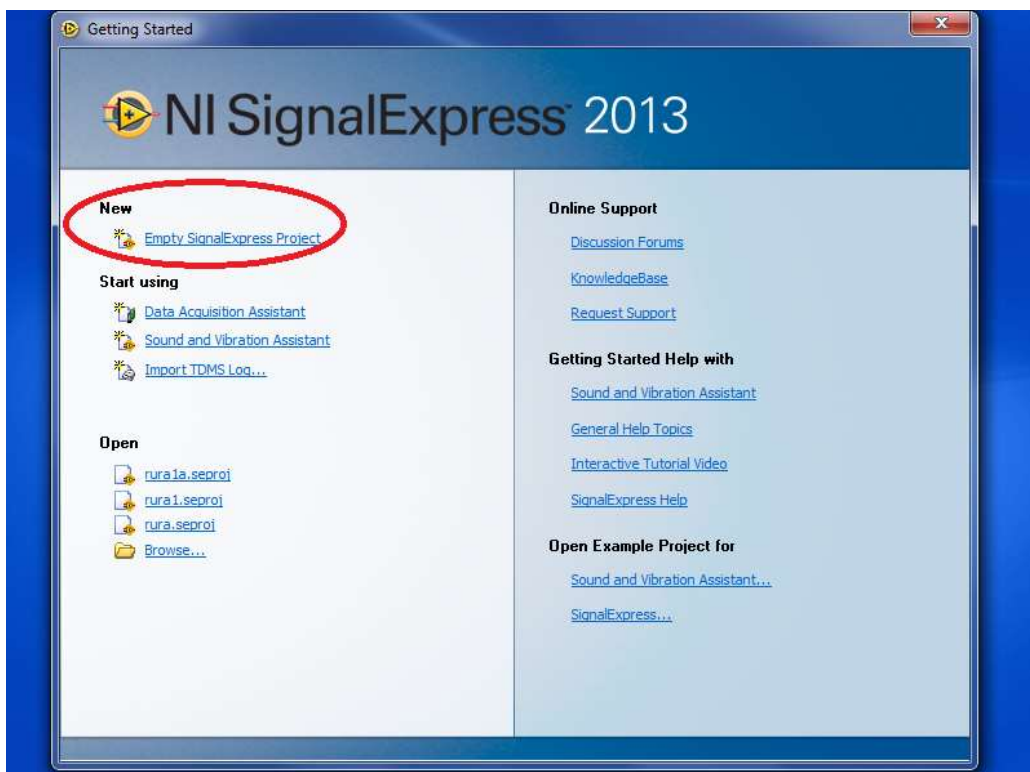
$$v = \left( \frac{U_R^2 - A}{B} \right)^2.$$

W ćwiczeniu należy MNK na podstawie danych pomiarowych w domu wyznaczyć równanie prędkości powietrza i wpisać do tabeli 3.

### 3. POMIAR PRĘDKOŚCI PRZEPLYWU POWIETRZA systemem National Instruments

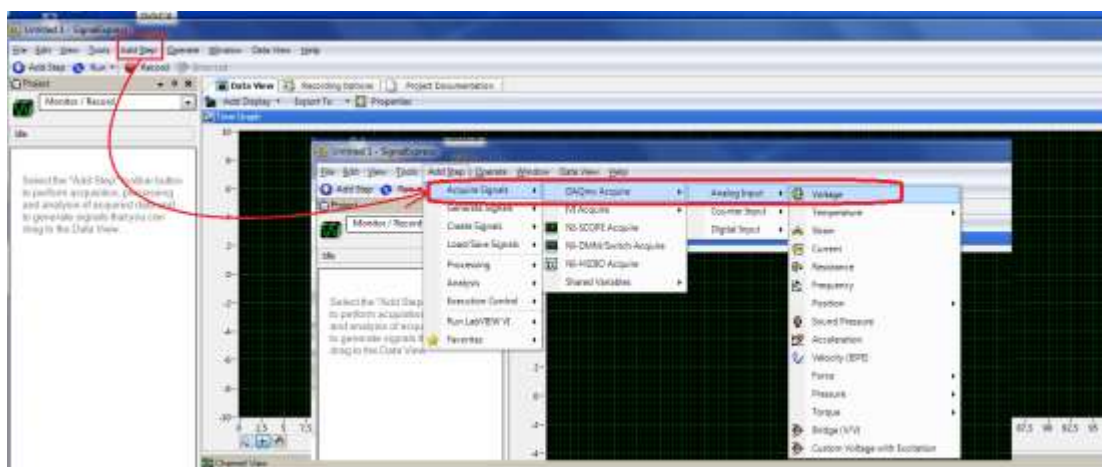
Kolejność wykonywania pomiarów:

1. Uruchomić program NI SignalExpress 2013 i otworzyć pusty dokument - rysunek 14. Włączyć zasilanie stanowiska i wentylator.



Rys.14. Rozpoczęcie pracy z programem NI SignalExpress 2013.

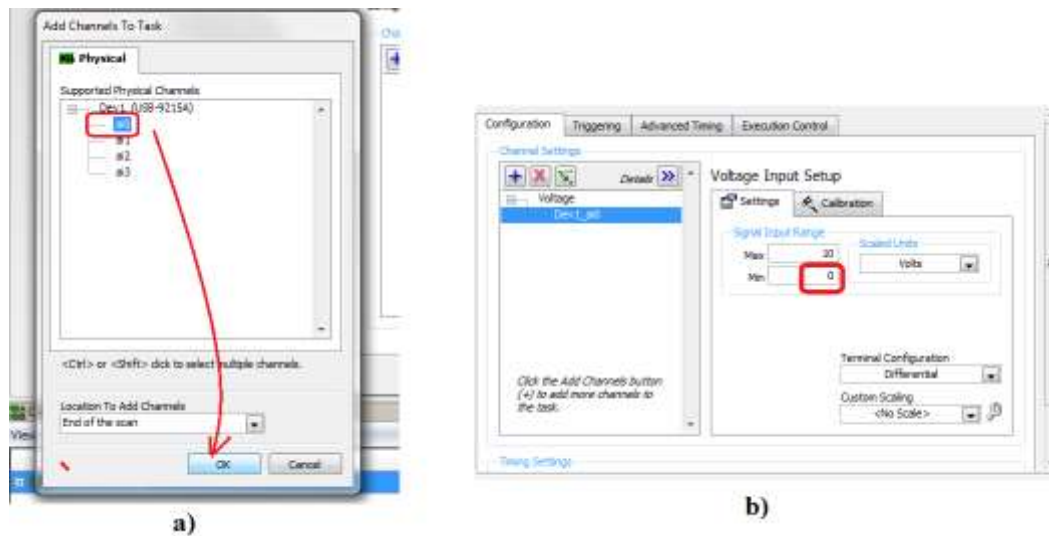
2. Postępując zgodnie z rys. 15 uaktywnić opcję pomiaru napięcia (Add step→Acquire Signals→DAQmx Acquire→Analog Input→Voltage).



Rys.15. Uaktywnienie opcji pomiaru napięcia.

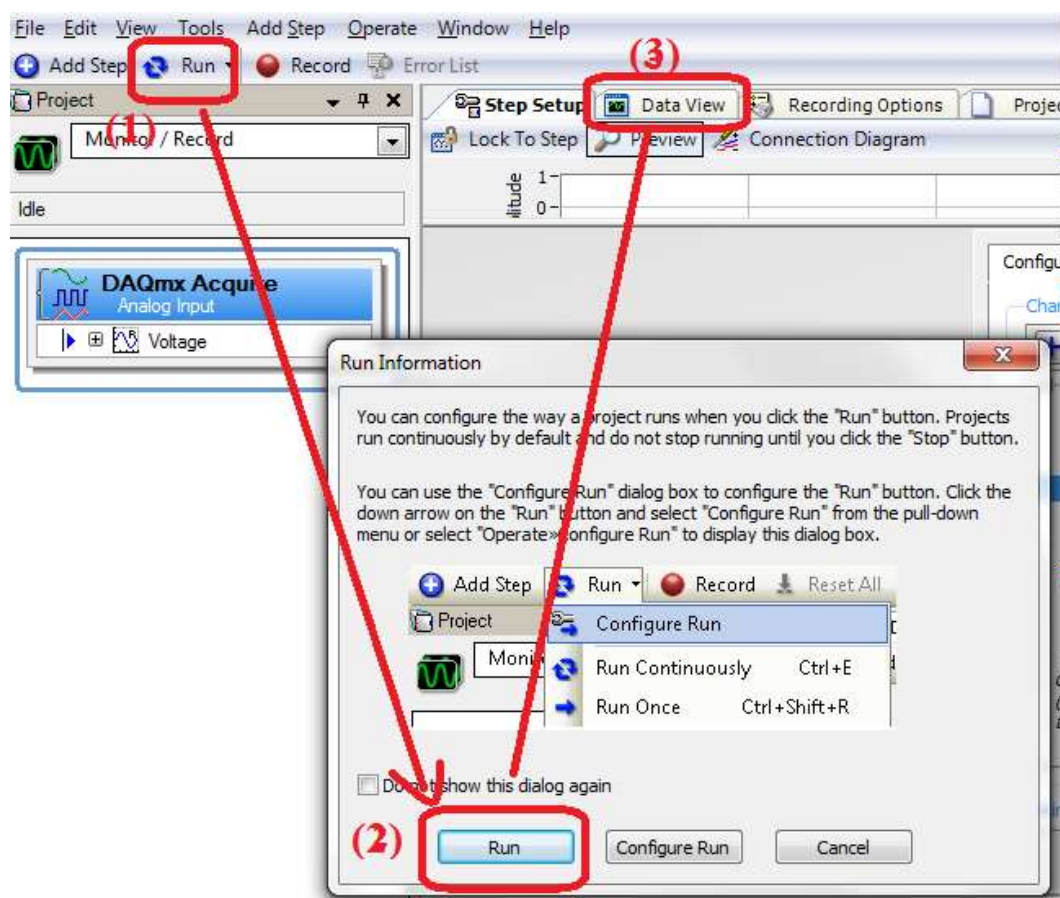


3. W modelu USB-9215A wybrać kanał ai0 i zatwierdzić OK (rys.16a), a następnie zmienić minimalną wartość napięcia na "0" (rys.16b).



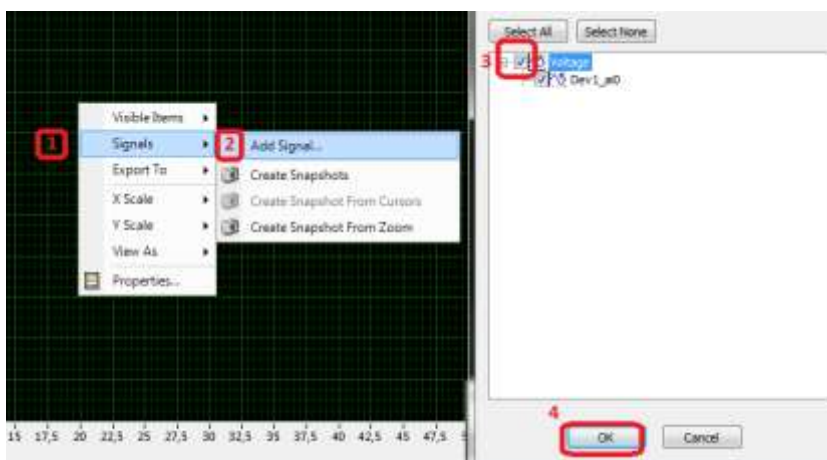
Rys.16. Wybór numeru kanału i wartości napięć.

4. Następnie uruchomić pomiary uaktywniając zgodnie z rysunkiem 17 - (1) Run – górny pasek menu i zatwierdzić klikając w pojawiającym się okienku ikonę Run (2), a następnie otworzyć okno do wizualizacji przebiegów klikając Data View (3).



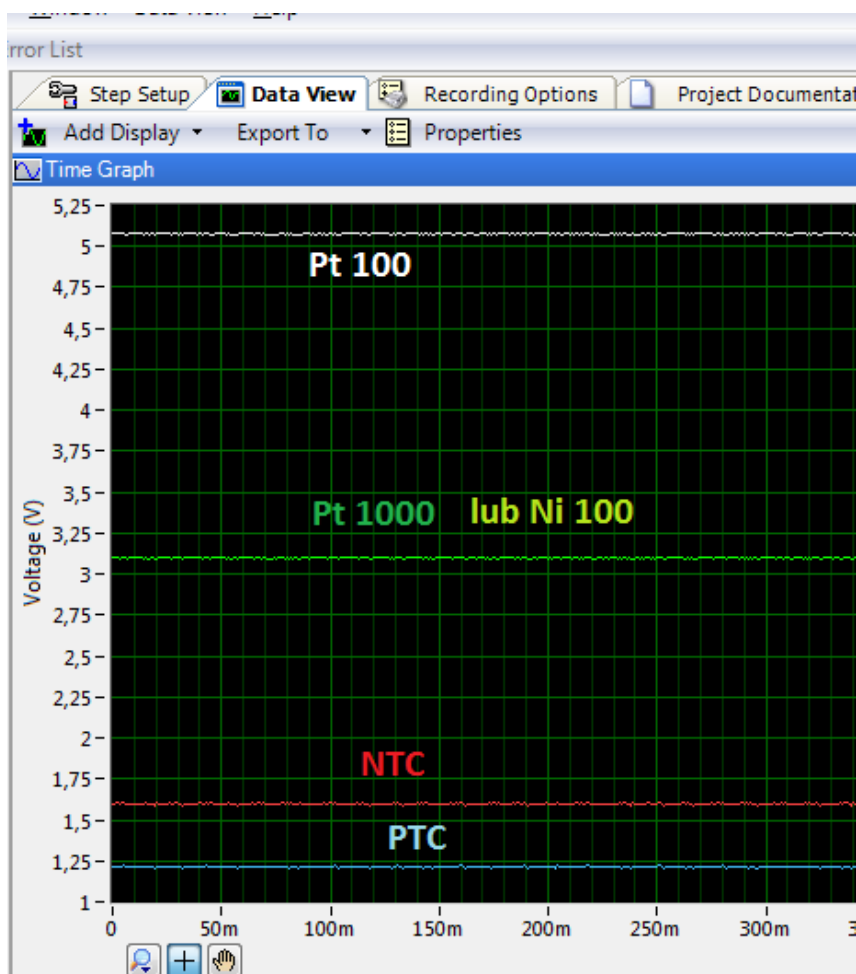
Rys.17. Wybór numeru kanału i wartości napięć.

5. Następnie wybrać numer kanału, sygnał którego chcemy obserwować (**Signals**→**Add Signal**→np. **Dev1\_ai0**) – rys.18 i zatwierdzić **OK**.



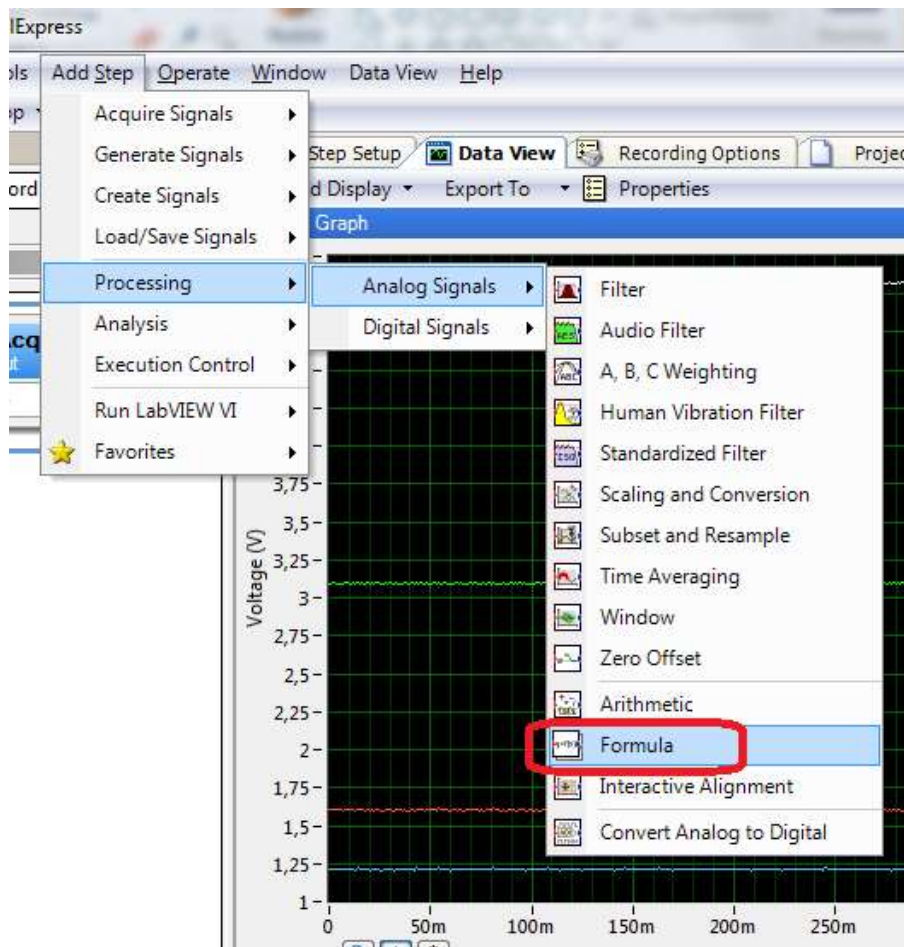
Rys.18. Wybór numeru kanału do wizualizacji przebiegu.

6. Na ekranie powinien pojawić się przebieg czasowy wybranej wielkości- rys. 19.



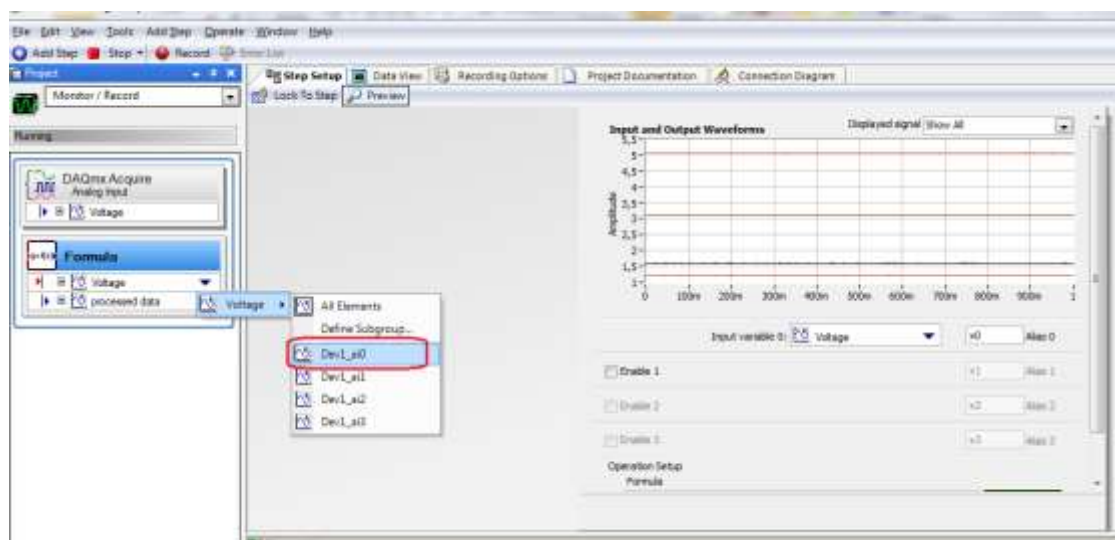
Rys.19. Przebieg czasowy wybranej wielkości.

7. Uaktywnić opcję obliczania **Formuła** według rys. 20 (**Add step**→**Processing**→**Analog Signals**→**Formuła**).



Rys.20. Aktywizacja opcji przeliczania wielkości mierzonej wg określonej zależności matematycznej.

8. Wybrać w powstałym bloku **Formuła** opcję **Voltage**→**Dev1\_ai0** (rys. 21)



Rys.20. Wybór numeru kanału poddawanego operacji matematycznej w bloku **Formuła**.

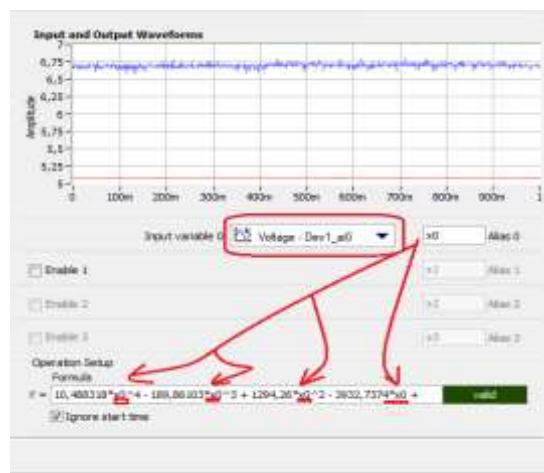
9. W okno **Formuła** (rys. 21) wkleić przygotowany wcześniej w tabeli 3 wzór linii trendu. Następnie pozamieniać liczby z zapisu naukowego na dziesiętny (przesuwając odpowiednio przecinek) oraz „x<sup>n</sup>” na \*x0<sup>n</sup> (poniżej pokazany jest przykład takiej modyfikacji – wielomian stopnia czwartego):

➤ wzór z Excela:

$$y = 1,0488318E+01x^4 - 1,8986103E+02x^3 + 1,2942600E+03x^2 - 3,9327374E+03x + 4,4900298E+03$$

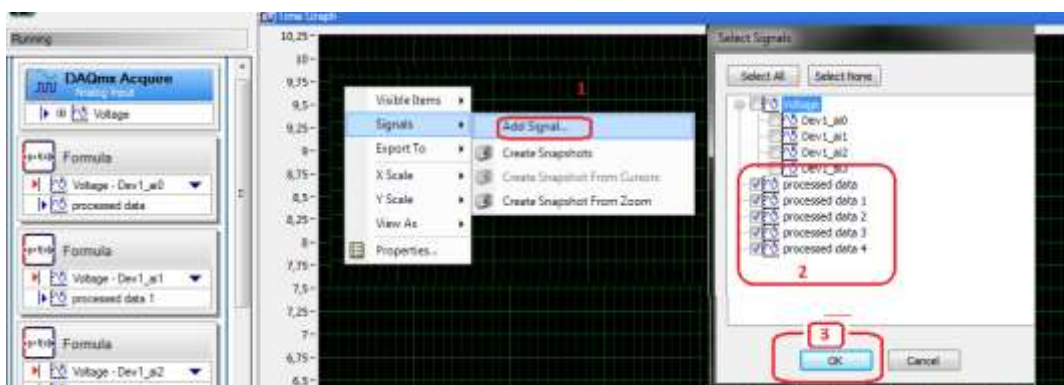
➤ wzór po modyfikacji:

10,488318\*x0<sup>4</sup>- 189,86103\*x0<sup>3</sup>+ 1294,2600\*x0<sup>2</sup> - 3932,7374\*x0 + 4490,0298 – poprawna postać wzoru jest sygnalizowana zielonym napisem **valid** (rozpoczynamy od wielomianu stopnia 2).



Rys.21. Wpisywanie postaci matematycznej równania linii trendu w bloku **Formuła**.

10. Powtórzyć punkty 7-9 w celu wprowadzenia postaci matematycznych dla pozostałych linii trendu wklejając i modyfikując w oknie Formuła odpowiednie wyrażenia matematyczne.
11. Wyświetlić przebiegi uzyskane w wyniku obliczeń z zastosowaniem różnych stopni wielomianów równania linii trendu (**Data View**→ **Signals**→ **Add Signals**→ i zaznaczyć wszystkie okna z napisem **processed data** – rys. 22) oraz zatwierdzić **OK**.



Rys.22. Wybór przebiegów do wizualizacji.



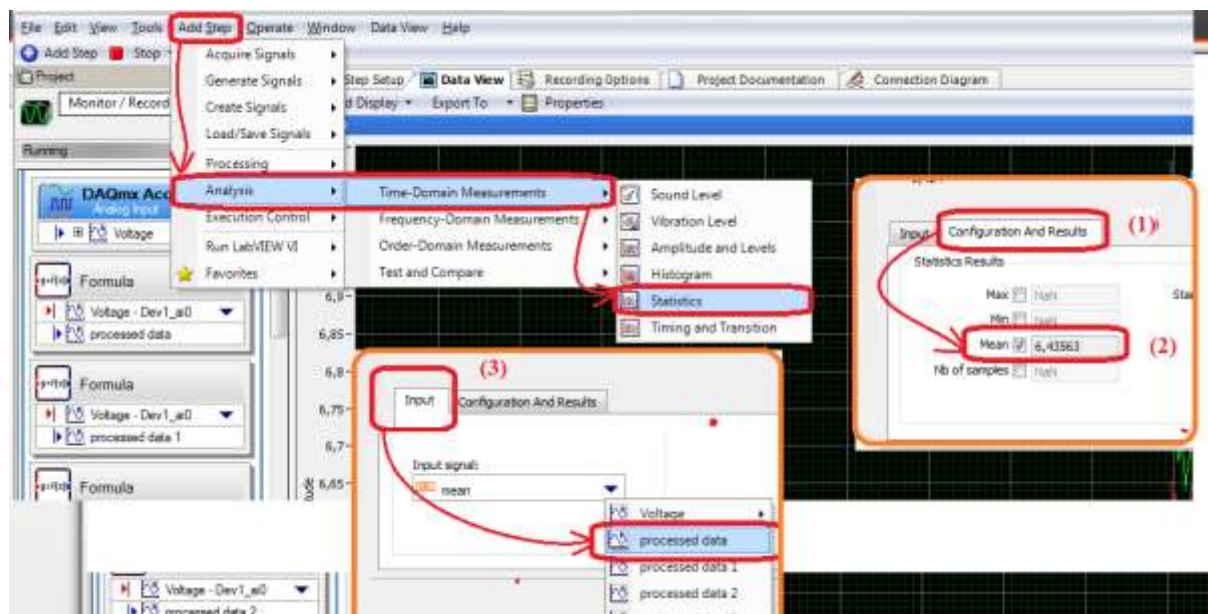
12. Na ekranie komputera powinny pojawić się wybrane w punkcie 12 przebiegi – rys. 23. Są to wartości prędkości przepływu powietrza uzyskane za pomocą aproksymacji charakterystyki pomiarowej termorezystora różnymi wyrażeniami matematycznymi.



Rys.23. Przebiegi czasowe wyznaczonej prędkości przepływu powietrza.

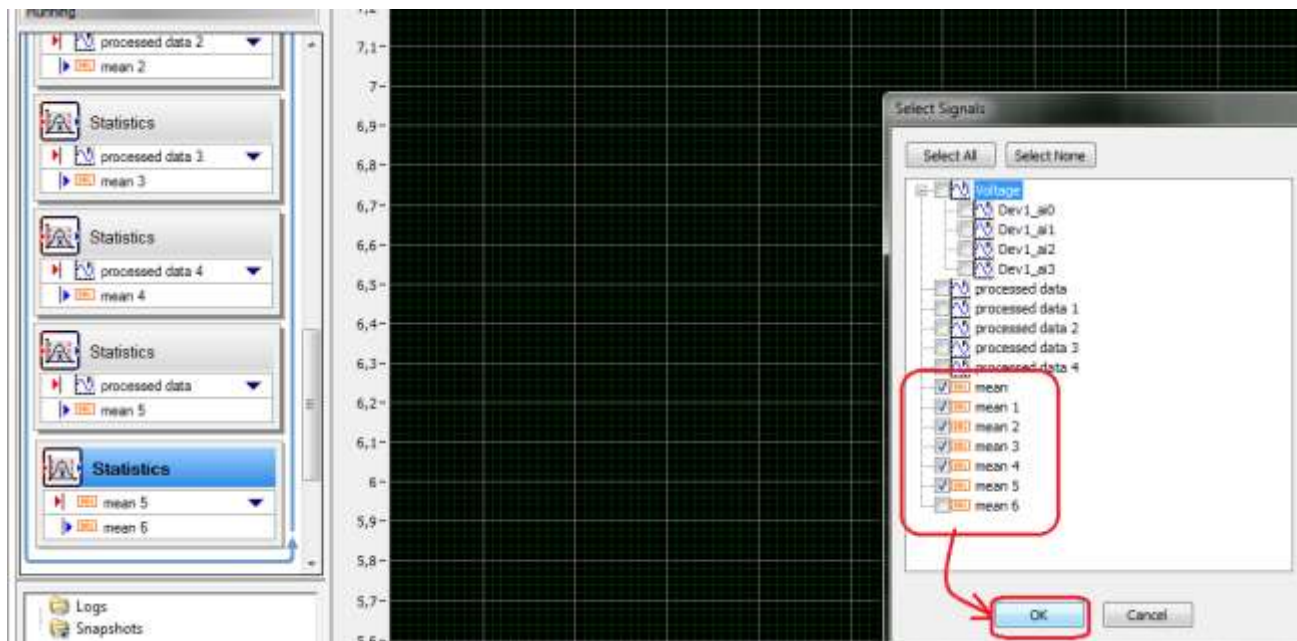
13. W celu zmniejszenia zakłóceń należy wprowadzić operację uśredniania uzyskanych przebiegów. W tym celu należy wykonać: **Add step**→**Analysis**→**Time Domain Measurements**→**Statistic** (rys. 24). Następnie kliknąć na okno **Configuration and Results** (1) i odznaczyć **Min** i **Max**, a zaznaczyć **Mean** (2). Po wykonaniu tych operacji poprzez okno **Input** (3) wybrać uśredniany kanał (processed data).

14. Punkt 13 powtórzyć dla pozostałych kanałów (processed data1-3)



Rys. 24. Uruchomienie operacji uśredniania mierzonej wielkości.

15. Następnie uaktywnić wyświetlanie uśrednionych przebiegów (**Data View**→**Signals**→**Add Signals**→ i zaznaczyć wszystkie okna z napisem **mean** – rys. 25) oraz zatwierdzić **OK**.



Rys. 25. Wybór uśrednionych wartości prędkości przepływu powietrza. i ich wizualizacja



Rys. 26. Wizualizacja uśrednionych wartości prędkości przepływu powietrza (uzyskanych dla różnych postaci linii trendu aproksymującej charakterystykę termoanemometru).

16. Po uruchomieniu stanowiska pomiarowego ustawić pokrętkę regulacji prędkości wentylatora w położenie 1 i zanotować wskazania termoanemometru oraz wartości średnie z odpowiednich kanałów programu NI SignalExpress (rys. 26) do tabeli 4.



Tabela 4. Wyniki pomiarów prędkości przepływu powietrza

Położenia pokrętła	$v_t$	$v_{w2}$	$v_{w3}$	$v_{w4}$	$v_{w5}$	$\delta_{w2}$	$\delta_{w3}$	$\delta_{w4}$	$\delta_{w5}$
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	%	%	%	%
1									
1,5									
2									
2,5									
3									
3,5									
4									
4,5									
5									
5,5									
6									
6,5									
7									
7,5									
8									
8,5									
9									
9,25									
9,5									
9,75									
10									

17. Obliczyć wartość błędu względnego pomiaru prędkości przepływu powietrza z zależności:

$$\delta_{w_x} = \frac{v_{w_x} - v_t}{v_t} 100\%$$

gdzie:  $\delta_{w_x}$  - wartość błędu względnego pomiaru prędkości przepływu powietrza przy zastosowaniu aproksymacji charakterystyki przetwarzania termorezystora wielomianem stopnia „x”;

$v_{w_x}$  – prędkość przepływu powietrza zmierzona przy zastosowaniu aproksymacji charakterystyki przetwarzania termorezystora wielomianem stopnia „x”;

$v_t$  - prędkość przepływu powietrza zmierzona termoanemometrem.

18. Zaobserwować wpływ zmiany położenia termorezystora względem kierunku strumienia powietrza na wynik pomiaru prędkości.

## **SPRAWOZDANIE POWINNO ZAWIERAĆ**

1. Uwagi o przebiegu ćwiczenia.
2. Interpretacja wyników pomiarów prędkości przepływu powietrza, ze szczególnym uwzględnieniem porównania wartości wyznaczonych z pomiarów z zastosowaniem różnych stopni wielomianów aproksymujących charakterystykę przetwarzania.
3. Analizę przyczyn rozbieżności między wynikami pomiarów.
4. Analizę kształtu uzyskanej charakterystyki przetwarzania.
5. Analizę wpływu zmiany położenia termorezystora względem kierunku strumienia powietrza na wynik pomiaru prędkości.

## **4. PYTANIA KONTROLNE**

1. Wymień metody pomiaru prędkości przepływu powietrza i opisz jedną z nich.
2. Narysuj budowę jednego z anemometrów i opisz zasadę działania.
3. Wyjaśnij zasadę i przyczyny błędów pomiaru prędkości przepływu prędkości powietrza metodą wskazaną przez prowadzącego ćwiczenie.
4. Porównaj wady i zalety dwóch wskazanych przez wykładowcę metod pomiaru prędkości przepływu powietrza.
5. Narysuj oraz opisz budowę i zasadę działania termorezystora oraz podaj jego wady i zalety.
6. Narysuj oraz opisz budowę i zasadę działania termistora oraz podaj jego wady i zalety.
7. Wymień metody aproksymacji charakterystyk pomiarowych i opisz jedną z nich.
8. Opisz wady i zalety metod aproksymacji charakterystyk pomiarowych.
9. Opisz procedurę konfiguracji systemu NI SignalExpress do pomiaru napięć.
10. Scharakteryzuj parametry i zastosowanie modułu NI 9215.

# LITERATURA

1. Michalski A., Tumański S., Żyła B.: *Laboratorium miernictwa wielkości nieelektrycznych*, oficyna wydawnicza Pol. Warszawskiej, W-wa 1999.
2. L. Michalski, K. Eckersdorf, J. Kucharski: *Termometria, przyrządy i metody*. Pol. Łódzka 1998.
3. Biernacki Z.: *Sensory i systemy termoanemometryczne*. Warszawa, WKŁ 1997.
4. Chwaleba A. i inni: *Metrologia elektryczna* WNT, Warszawa 2003.

## Wymagania BHP

Warunkiem przystąpienia do praktycznej realizacji ćwiczenia jest zapoznanie się z instrukcją BHP i instrukcją przeciwpożarową oraz przestrzeganie zasad w nich zawartych. Wybrane urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym mogą posiadać instrukcje stanowiskowe. Przed rozpoczęciem pracy należy zapoznać się z instrukcjami stanowiskowymi wskazanymi przez prowadzącego.

W trakcie zajęć laboratoryjnych należy przestrzegać następujących zasad.

- ♦ Sprawdzić, czy urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym są w stanie kompletnym, nie wskazującym na fizyczne uszkodzenie.
- ♦ Sprawdzić prawidłowość połączeń urządzeń.
- ♦ Załączenie napięcia do układu pomiarowego może się odbywać po wyrażeniu zgody przez prowadzącego.
- ♦ Przyrządy pomiarowe należy ustawić w sposób zapewniający stałą obserwację, bez konieczności nachylania się nad innymi elementami układu znajdującymi się pod napięciem.
- ♦ Zabronione jest dokonywanie jakichkolwiek przełączeń oraz wymiana elementów składowych stanowiska pod napięciem.
- ♦ Zmiana konfiguracji stanowiska i połączeń w badanym układzie może się odbywać wyłącznie w porozumieniu z prowadzącym zajęcia.
- ♦ W przypadku zaniku napięcia zasilającego należy niezwłocznie wyłączyć wszystkie urządzenia.
- ♦ Stwierdzone wszelkie braki w wyposażeniu stanowiska oraz nieprawidłowości w funkcjonowaniu sprzętu należy przekazywać prowadzącemu zajęcia.
- ♦ Zabrania się samodzielnego włączania, manipulowania i korzystania z urządzeń nie należących do danego ćwiczenia.
- ♦ W przypadku wystąpienia porażenia prądem elektrycznym należy niezwłocznie wyłączyć zasilanie stanowisk laboratoryjnych za pomocą wyłącznika bezpieczeństwa, dostępnego na każdej tablicy rozdzielczej w laboratorium. Przed odłączeniem napięcia nie dotykać porażonego