

**POLITECHNIKA**



**BIAŁOSTOCKA**

**WYDZIAŁ**



**INŻYNIERII  
ZARZĄDZANIA**

**KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ**

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu:

***Systemy kontrolno-pomiarowe***

Kod przedmiotu: **KSU011012, KNU011012**

**Ćwiczenie Nr 5**

***Wyznaczanie charakterystyki przetwarzania  
termoanemometru (system DASyLab)***

*(z zastosowaniem National Instruments)*

O p r a c o w a ł :

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.*

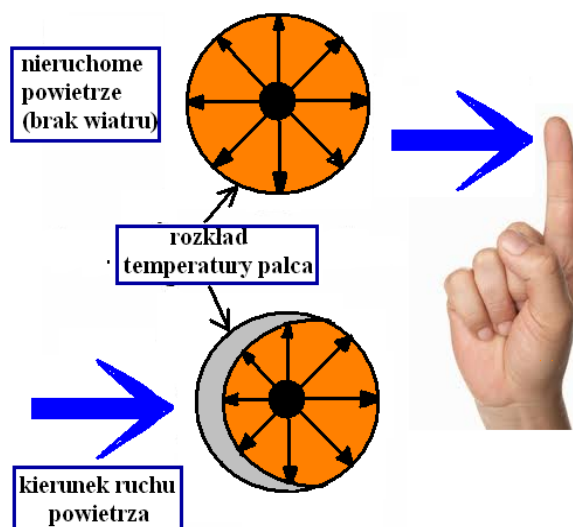
**CEL ĆWICZENIA:** zapoznanie studentów z metodyką wyznaczania charakterystyki przetwarzania termooanemometru oraz wykorzystaniem czujników rezystancyjnych do pomiarów prędkości przepływu powietrza z zastosowaniem systemu National Instruments, a także nauczanie (na przykładzie National Instruments) podstawowych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

## 1. WPROWADZENIE

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

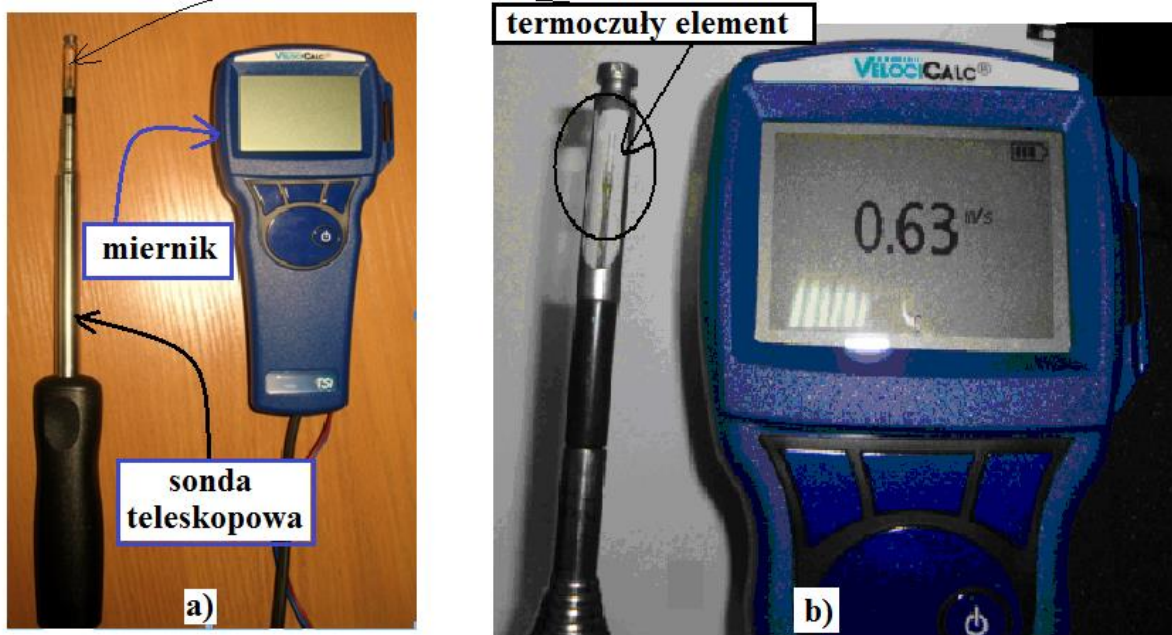
- obrotowych: czasowe, wiatrakowe;
- wychyłowych;
- termooanemometrów;
- ciśnieniowych (rurka Pitota);
- dopplerowskich;
- ultradźwiękowych.

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).



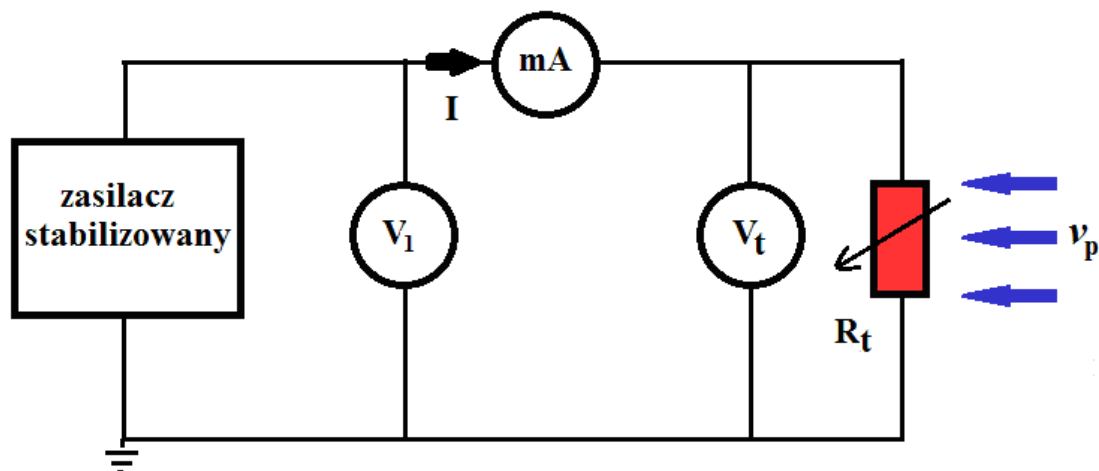
Rys.1. Zasada działania termooanemometru.

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.



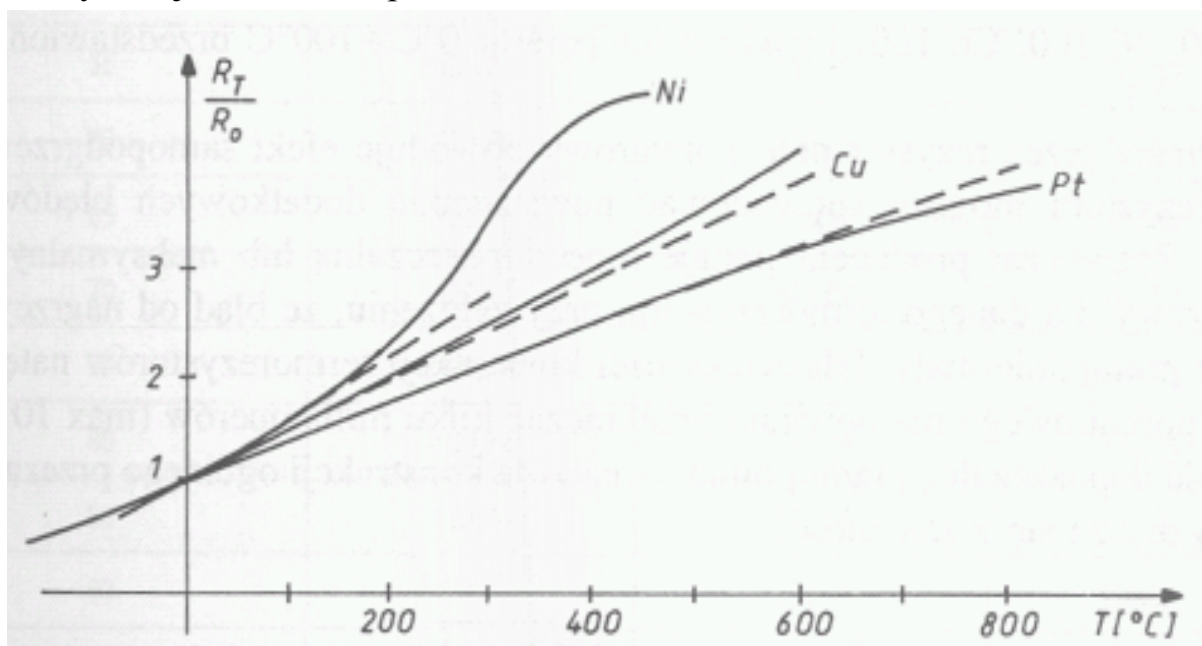
Rys.2. Termooanemometr VelociCalc 9515: a) widok ogólny przyrządu; b) powiększony fragment sondy i wyświetlacz.

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.

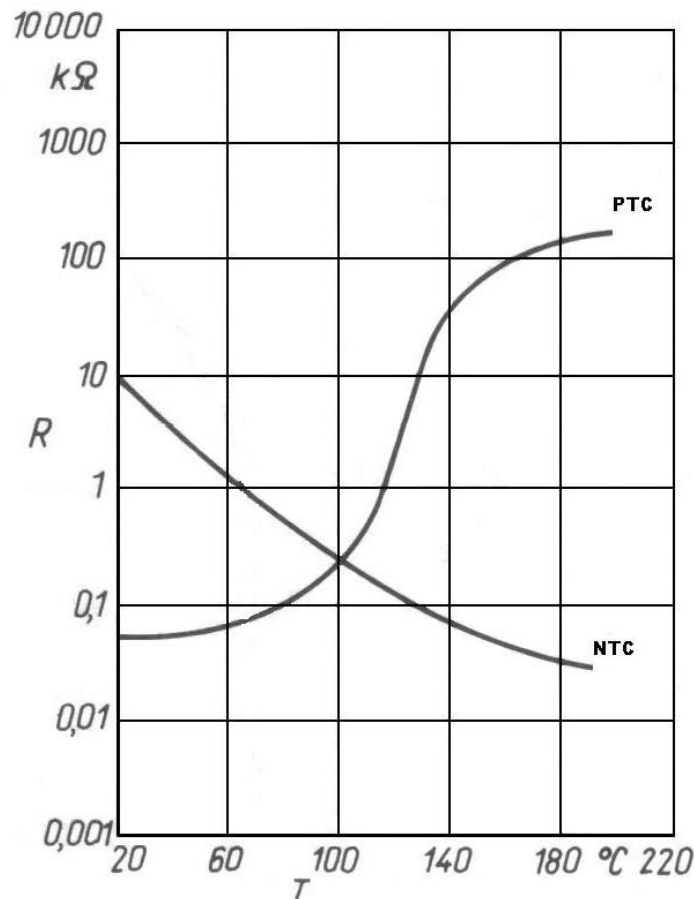
Tabela 1. Zależność rezystancji od temperatury wybranych rezystorów [1].

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:

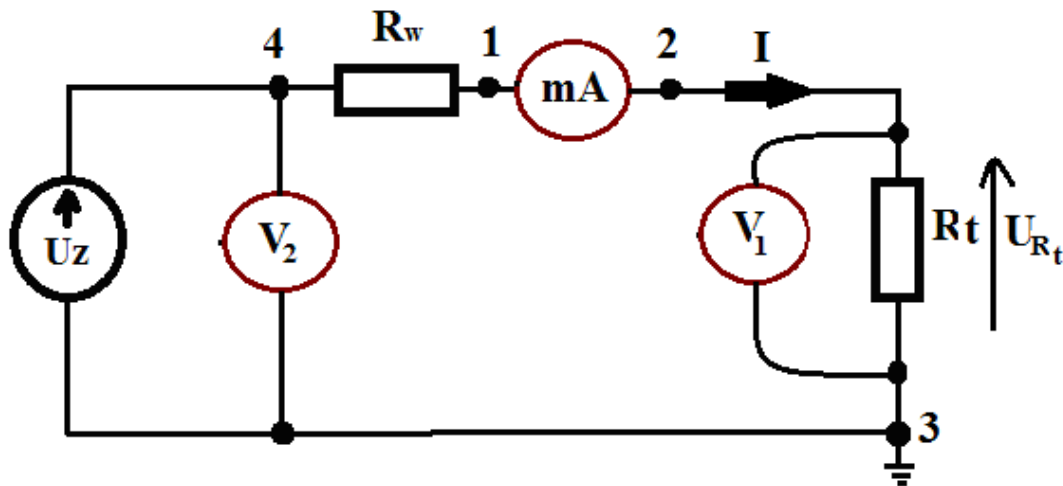
- duży temperaturowy współczynnik rezystancji (rzędu 3-4%/deg);
- duża rezystywność;
- bardzo małe wymiary (perełki o średnicy 0,3-1mm).

Natomiast ich największe wady to:

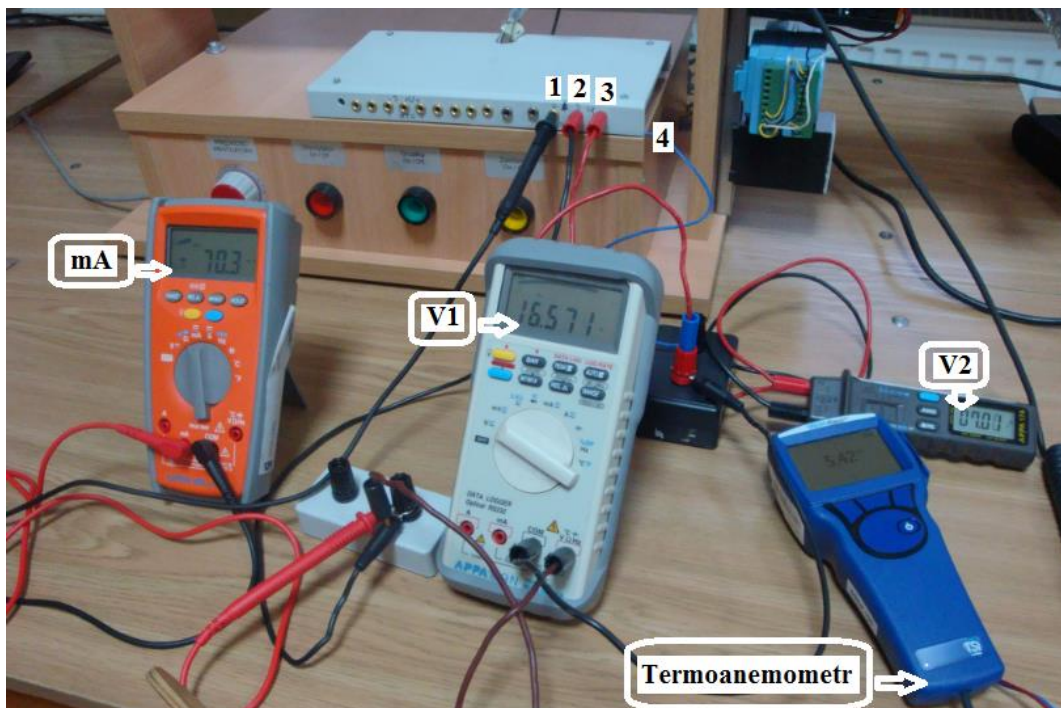
- mała powtarzalność i stałość parametrów (zwłaszcza w temperaturach ponad 200°C);
- niestabilność czasowa;
- bardzo duża nieliniowość.

## 2. WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYKI PRZETWARZANIA TERMOREZYSTORA

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

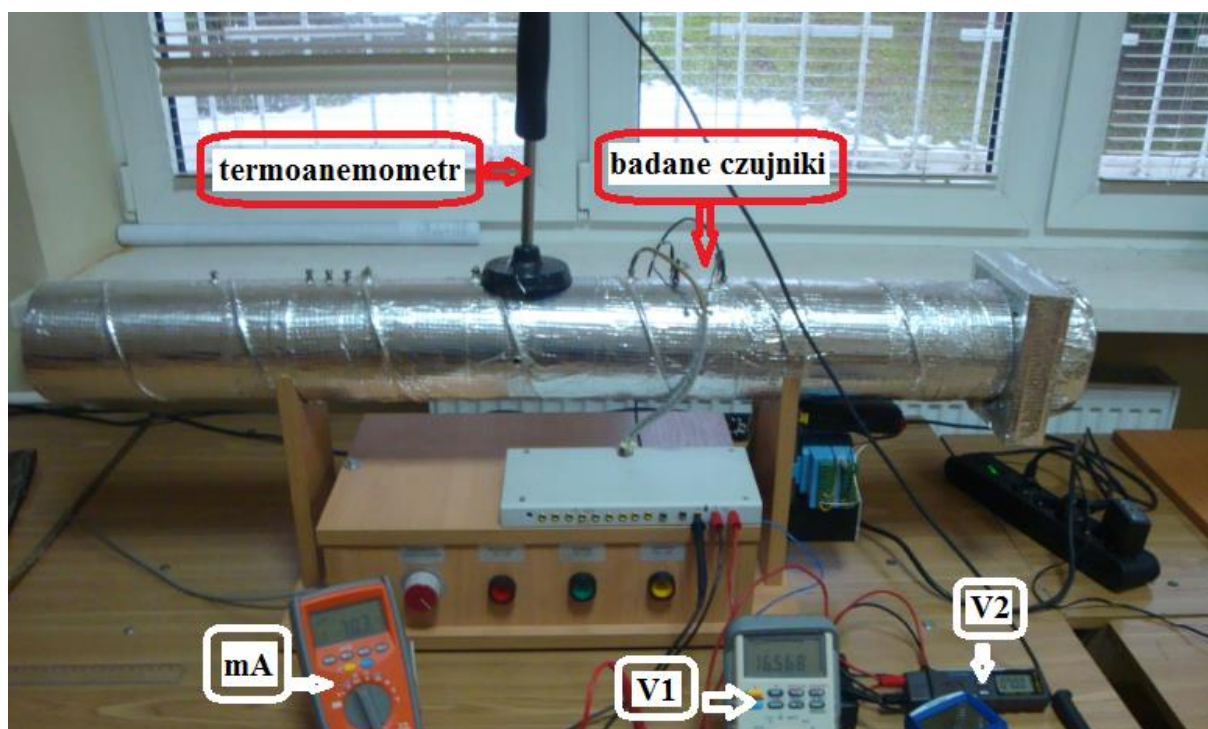


Rys.6. Schemat układu elektrycznego do wyznaczania charakterystyki przetwarzania termorezystorów



Rys.7. Widok stanowiska pomiarowego: 1,2,3,4 – miejsca podłączeń mierników (zgodnie z rys. 6), V1 i V2 – woltomierze do pomiaru napięć: zasilania i na termorezystorze, mA- miliamperomierz o zakresie do 20mA, termoanemometr VelociCalc 9515 - do pomiaru prędkości przepływu powietrza w rurze wentylacyjnej.





Rys.8. Widok ogólny stanowiska pomiarowego



Rys.9. Panel sterowania stanowiska pomiarowego

Przed przystąpieniem do pomiarów należy umieścić sondę pomiarową termooanemometru 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 przekręcić obudowę czujnika aż do pokrycia się markera na czujniku i obudowie).

Kolejność wykonywania ćwiczenia:

1. Włączyć wszystkie mierniki i termooanemometr.

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 termooanemometru do tabeli 2 (najlepiej taką tabelę utworzyć w arkuszu Excel).
6. Powtórzyć punkty 4-5 dla pozostałych położań pokrętki regulacji prędkości wentylatora.

Tabela 2. Wyniki pomiarów charakterystyki termorezystorów

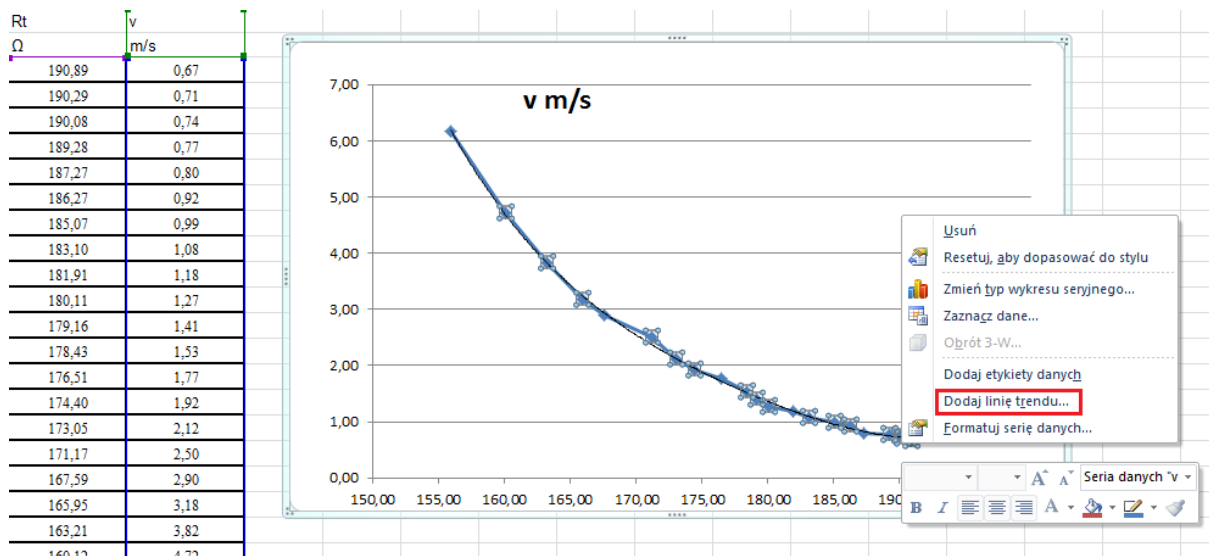
Położenia pokrętki	$v_t$	V2	V1	I	$R_t$
	m/s	V	V	mA	$\Omega$
1					
1,5					
2					
2,5					
3					
3,5					
4					
4,5					
5					
5,5					
6					
6,5					
7					
7,5					
8					
8,5					
9					
9,25					
9,5					
9,75					
10					

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

$$R_t = \frac{U_{Rt}}{I} = \frac{V_1}{I}$$

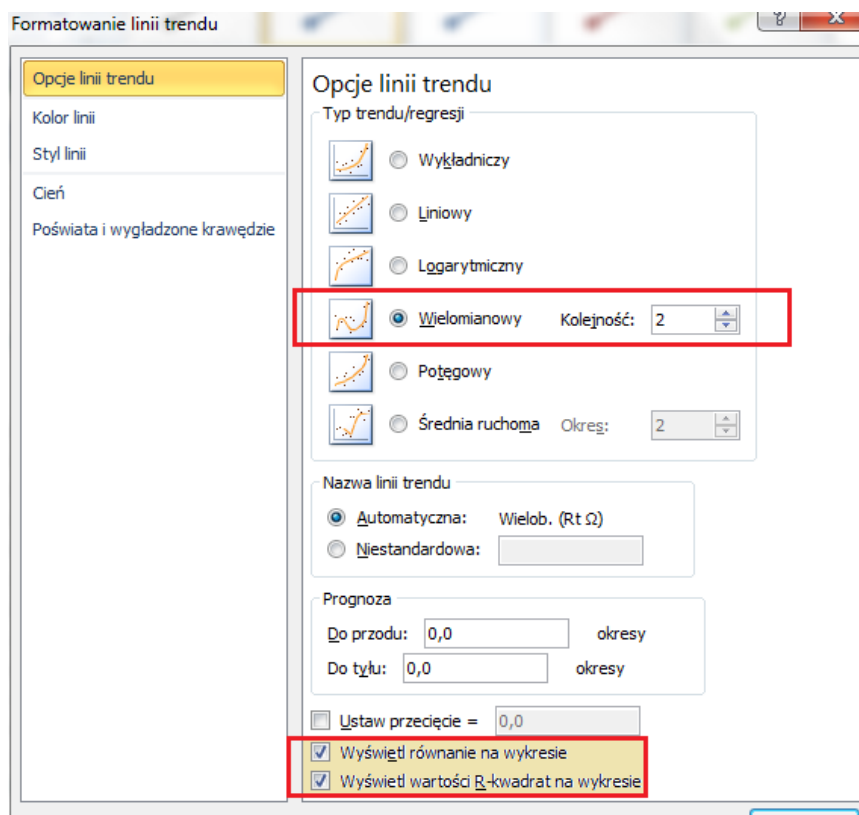
8. Narysować wykres zmian prędkości przepływu powietrza w funkcji rezystancji termorezystora (rys. 10).

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



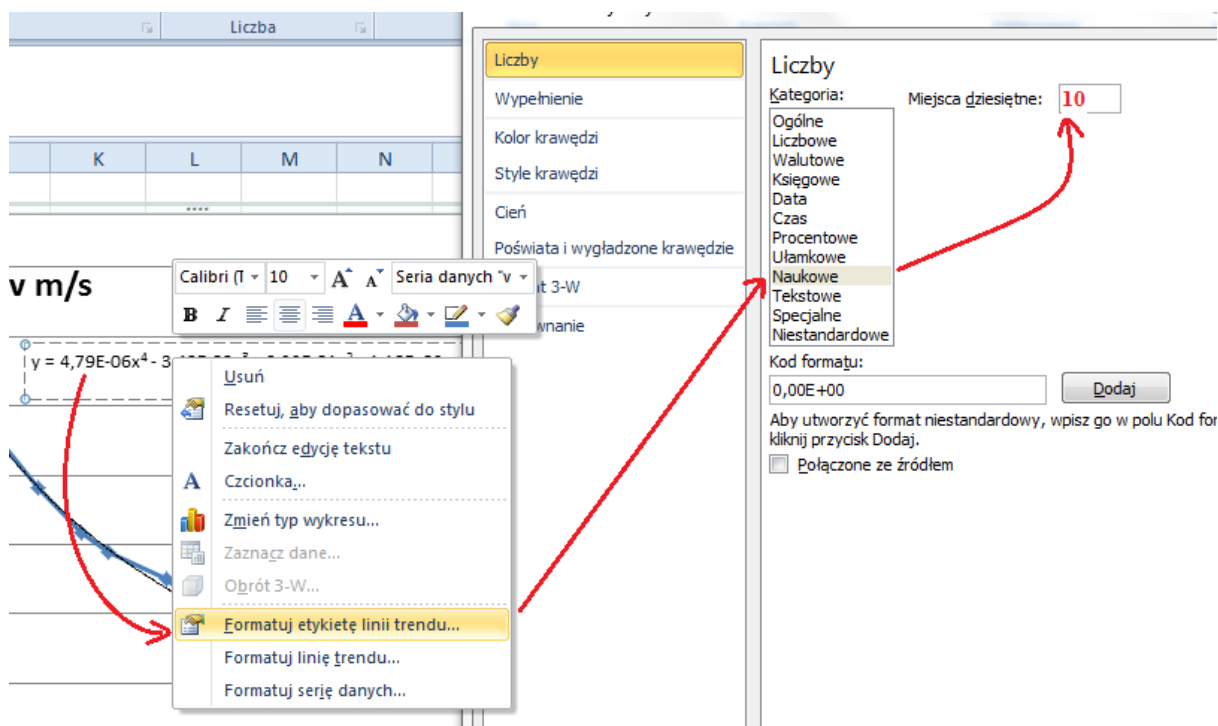
Rys.10. Wykres prędkości przepływu powietrza w funkcji zmian rezystancji termorezystora

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



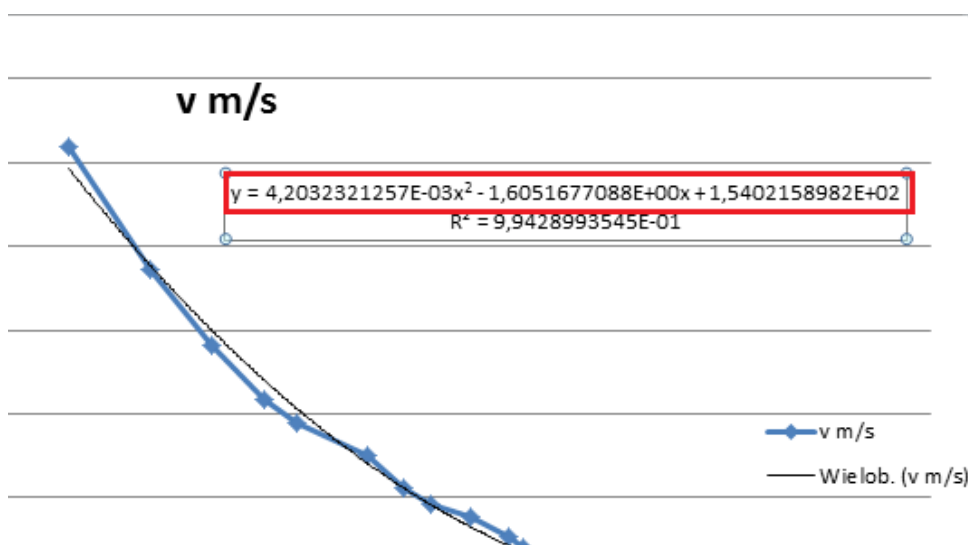
Rys.11. Wybór parametrów linii trendu

11. Po ukazaniu się równania linii trendu klikając na nie prawym klawiszem myszki uaktywnić opcję „Formatuj etykietę linii trendu” (rys. 12) i zmienić format liczb na naukowe z 10-ma miejscami dziesiętnymi (jest to niezbędne do uzyskania wymaganej dokładności odtworzenia charakterystyki termorezystora) i zatwierdzić (zamknij).



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

12. Przepisać (skopiować) uzyskane wartości współczynników równania i R-kwadrat (rys. 13) do tabeli 3.



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

Tabela 3. Wartości współczynników równania linii trendu

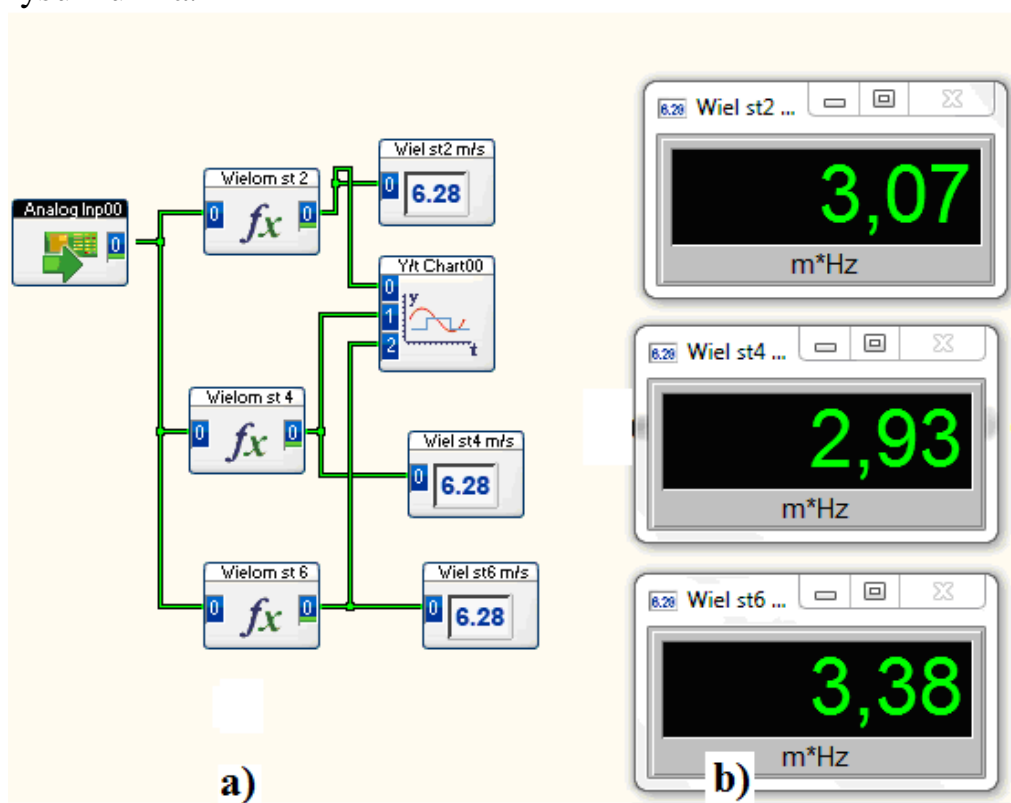
	Rząd wielomianu		
	2	4	6
	Wartości współczynników równania przy poszczególnych potęgach zmiennej		
$x^0$			
$x^1$			
$x^2$			
$x^3$			
$x^4$			
$x^5$			
$x^6$			
R-kwadrat			

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

### 3. POMIAR PRĘDKOŚCI PRZEPIYWU POWIETRZA systemem DASYLab

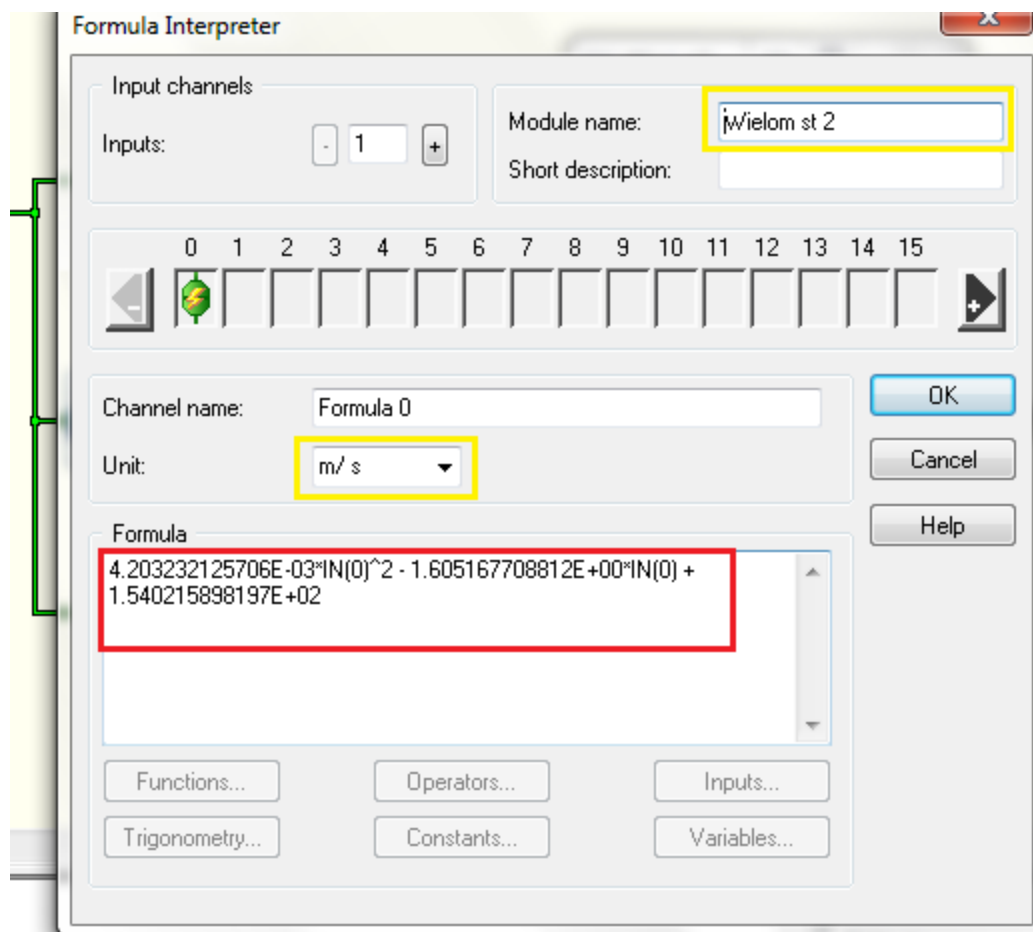
Kolejność wykonywania pomiarów:

1. Uruchomić program DASYLab i zbudować układ pomiarowy jak na rysunku 14a.



Rys.14. Pomiar prędkości powietrza z zastosowaniem DASYLab: a) schemat blokowy; b) wyniki pomiaru prędkości.

2. Skopiować wzór wielomianu z arkusza Excel do np. Worda i pozamieniać przecinki na kropki oraz „x” na **\*IN(0)^** (poniżej pokazany jest przykład takiej modyfikacji):
  - wzór z Excela:  
 $4,203232125706E-03x^2 - 1,605167708812E+00x + 1,540215898197E+02$
  - wzór po modyfikacji:  
 $4.203232125706E-03*IN(0)^2 - 1.605167708812E+00*IN(0) + 1.540215898197E+02.$
3. Uaktywnić blok formula „f<sub>x</sub>” (rys. 15) i skopiować do niego zmodyfikowany wzór, a także ustawić jednostki wielkości mierzonej i nazwę modułu.



Rys.15. Aktywacja i opis bloku „Formuła”

4. Powtórzyć wypełnienie punktów 2 i 3 dla pozostałych stopni wielomianów.
5. Po uruchomieniu stanowiska pomiarowego ustawić pokrętko regulacji prędkości wentylatora w położenie 1, włączyć pomiary w programie DASyLab i zanotować wskazania termooanemometru oraz mierników z programu DASyLab do tabeli 4.

Tabela 4. Wyniki pomiarów prędkości przepływu powietrza

Położenia pokręta	$v_t$	$v_{w2}$	$v_{w4}$	$v_{w6}$	$\delta_{w2}$	$\delta_{w4}$	$\delta_{w6}$
	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							

6. 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.

7. 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, narysuj budowę jednego z anemometrów i opisz zasadę działania.
2. Wyjaśnij zasadę i przyczyny błędów pomiaru prędkości przepływu prędkości powietrza metodą wskazaną przez prowadzącego ćwiczenie.
3. Porównaj wady i zalety dwóch wskazanych przez wykładowcę metod pomiaru prędkości przepływu powietrza.
4. Narysuj oraz opisz budowę i zasadę działania termorezystora oraz podaj jego wady i zalety.
5. Narysuj oraz opisz budowę i zasadę działania termistora oraz podaj jego wady i zalety.
6. Wymień metody aproksymacji charakterystyk pomiarowych i opisz jedną z nich.
7. Opisz wady i zalety metod aproksymacji charakterystyk pomiarowych.

## 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 przeciw pożarową 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