

**POLITECHNIKA**  **BIAŁOSTOCKA**

**WYDZIAŁ**  **INŻYNIERII  
ZARZĄDZANIA**

**KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ**

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu:

*Podstawy techniki i technologii*

Kod przedmiotu: IS002123, IN002123

**Ćwiczenie Nr 15**

# **POMIARY TENSOMETRYCZNE NAPRĘŻEŃ ZGINAJĄCYCH**

*(z zastosowaniem LabVIEW)*

Autor:

*dr inż. Arkadiusz Łukjaniuk*

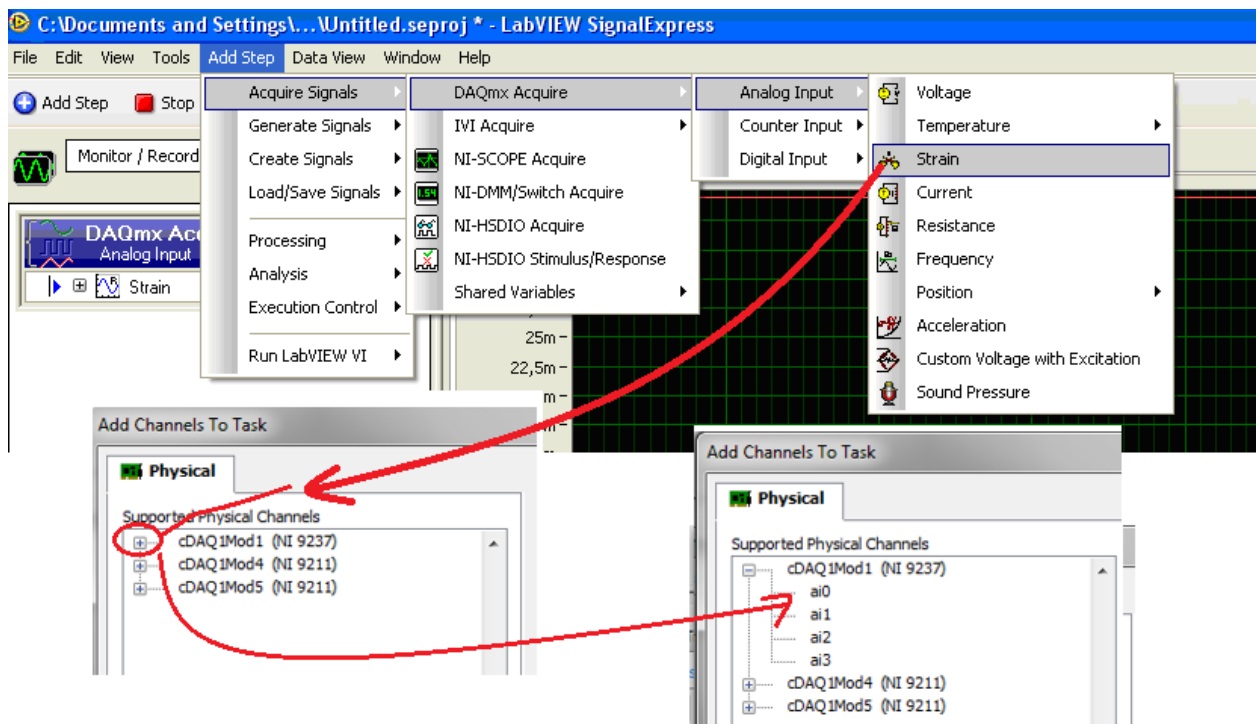
Białystok 2023

*Wszystkie nazwy handlowe i towarów występujące w niniejszej instrukcji są znakami towarowymi zastrzeżonymi lub nazwami zastrzeżonymi podanych w tekście firm*

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z istotą i zastosowaniem pomiarów tensometrycznych oraz nauczenie podstawowych zasad wykorzystywania w miernictwie wielkości nieelektrycznych komputerowych systemów pomiarowych na przykładzie *LabVIEW*.

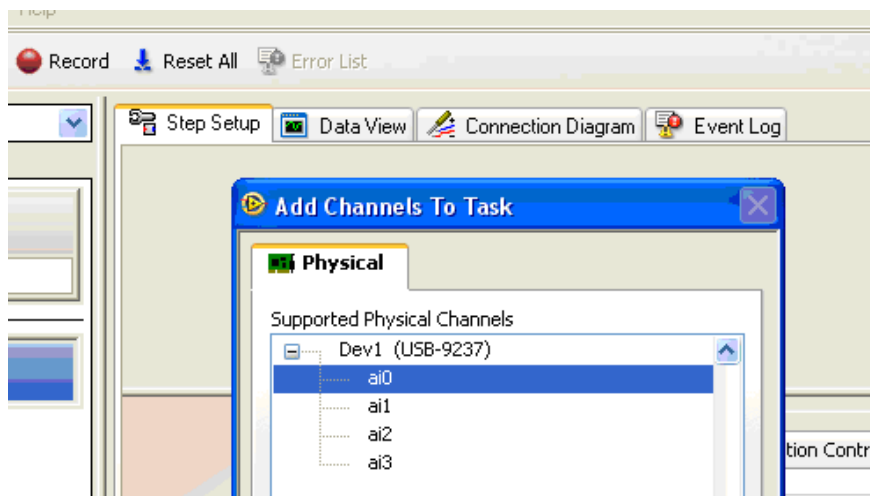
## 1. Przygotowanie do pomiarów mostka tensometrycznego NI USB-9162

W celu dokonania pomiarów odkształceń przy pomocy mostka tensometrycznego National Instruments NI USB-9162 należy uruchomić program LabVIEW SignalExpress. Następnie wybrać rodzaj mierzonej wielkości w następującej kolejności: **Add Step** → **Acquire Signals** → **DAQmx Acquire** → **Analog Input** → **Strain** (w naszym przypadku pomiar odkształceń – strain – rys. 1) → **cDAQ 1Mod1 (NI 9237)**.



Rys. 1. Wybór rodzaju mierzonej wielkości oraz modułu pomiarowego.

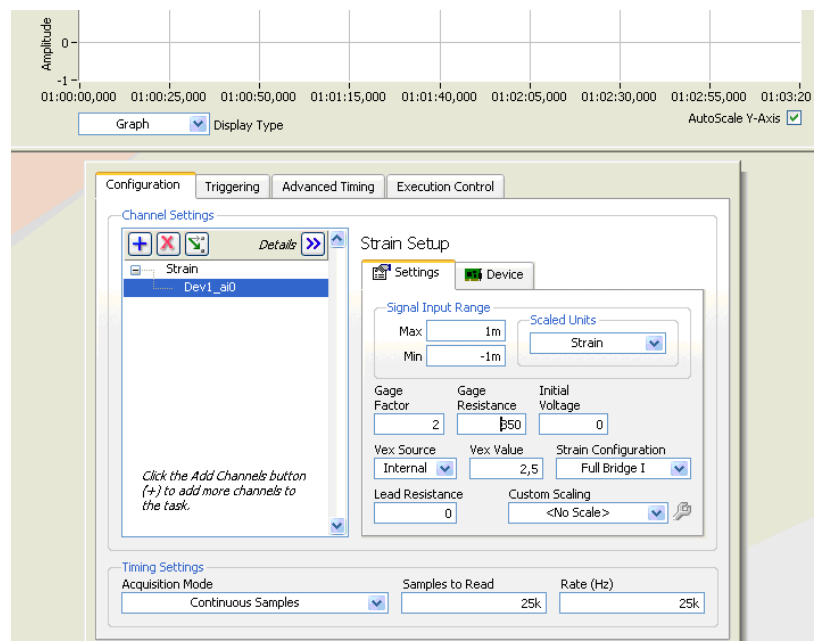
Następnie należy przeprowadzić wybór i konfigurację odpowiednich kanałów mostka. W tym celu należy zaznaczyć kursorem np. kanał **ai0** (rys.2) i potwierdzić „OK.”.



Rys. 2. Wybór kanału mostka tensometrycznego.

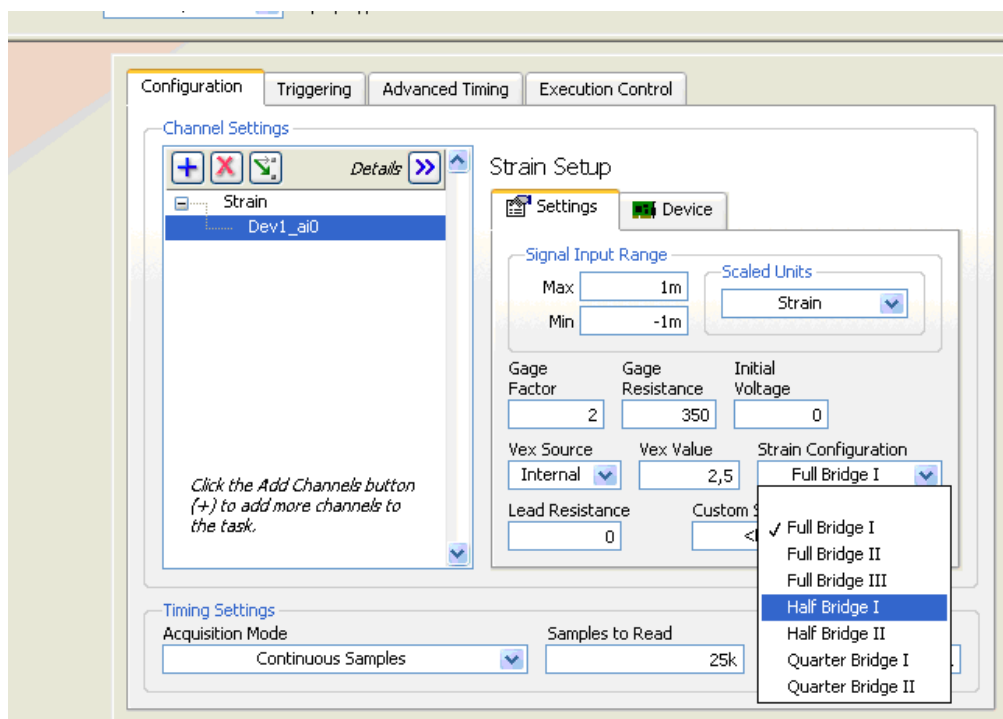
Po pojawieniu się okna jak na rys. 3 należy przeprowadzić ustawienia danego kanału, a mianowicie:

- wprowadzić wartość rezystancji tensometru ( $R = 120,1 \Omega$ );
- wprowadzić wartość stałej tensometru ( $k = 2,13$ );
- wpisać rozmiar bloku próbek (**Samples to Read** –1000) i częstotliwość próbkowania (**Rate** –4000);



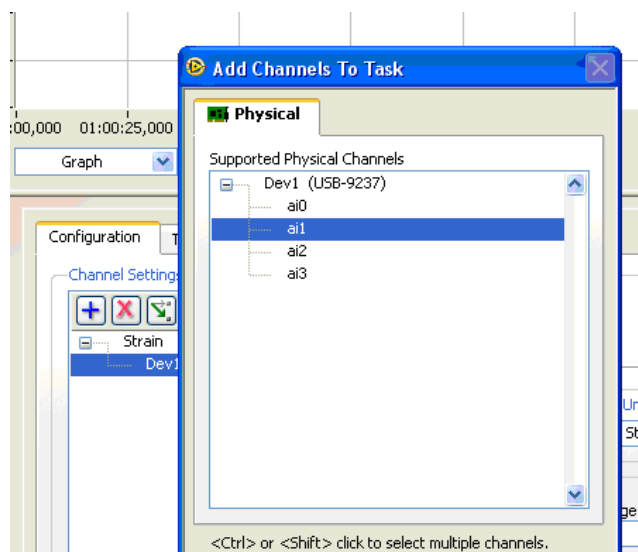
Rys. 3. Parametry kanału mostka tensometrycznego.

- wybrać konfigurację mostka (**Half Bridge I** – pomiar naprężeń zginających i parametrów ruchu drgającego - rys.4).



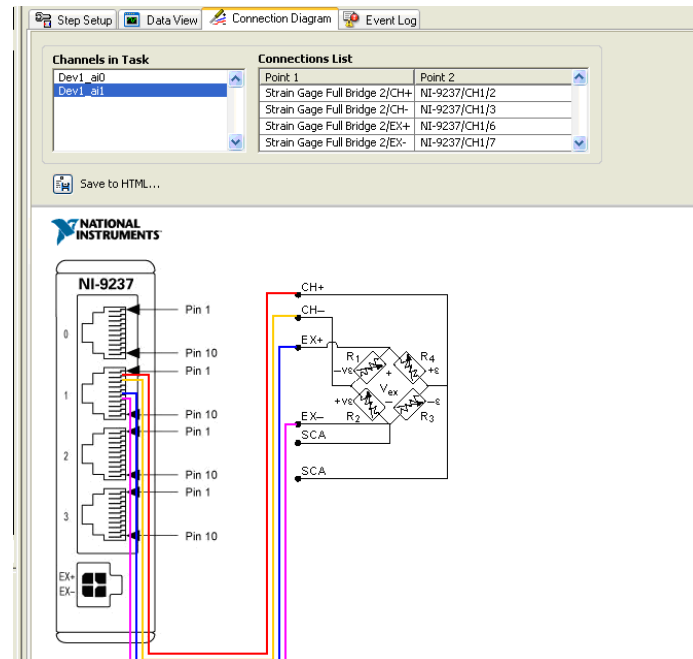
Rys. 4. Wybór konfiguracji mostka tensometrycznego.

W celu dodania następnych kanałów należy uaktywnić przycisk „+” (rys.4) i zaznaczyć odpowiedni kanał (np. **ai1** – rys. 5). Kanał będzie miał takie same ustawienia jak poprzednio skonfigurowany kanał (uaktywnić pozostałe kanały).



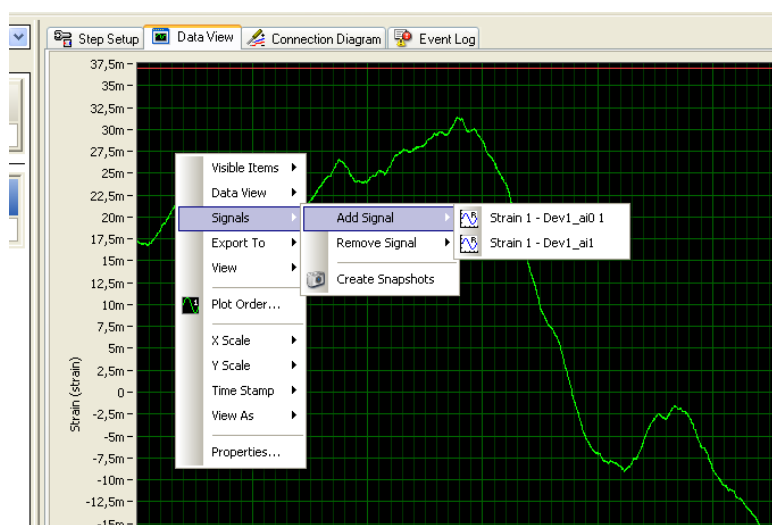
Rys. 5. Aktywacja kolejnych kanałów mostka tensometrycznego.

Opcja **Connection Diagram** (rys. 6) pokazuje sposób podłączenia tensometrów do mostka NI USB-9162.



Rys. 6. Podłączenie tensometrów do mostka tensometrycznego.

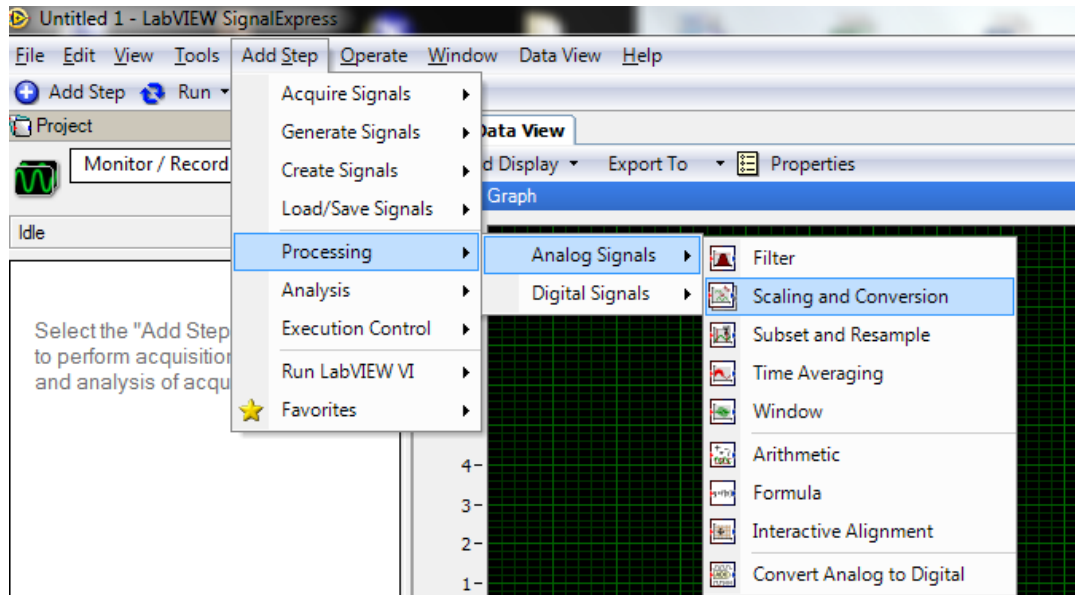
Po wykonaniu tych czynności należy włączyć pomiary (opcja RUN w lewym górnym rogu ekranu). Następnie należy otworzyć okno wizualizacji wyników pomiaru **Data View** (rys. 7) i wybrać niezbędne do wyświetlania numery kanałów (opcje: **Signals** → **Add Signal** → nr kanału). Usuwanie niepotrzebnych do prezentacji kanałów odbywa się przy pomocy opcji **Remove Signals**.



Rys.7. Wizualizacja wybranych przebiegów.

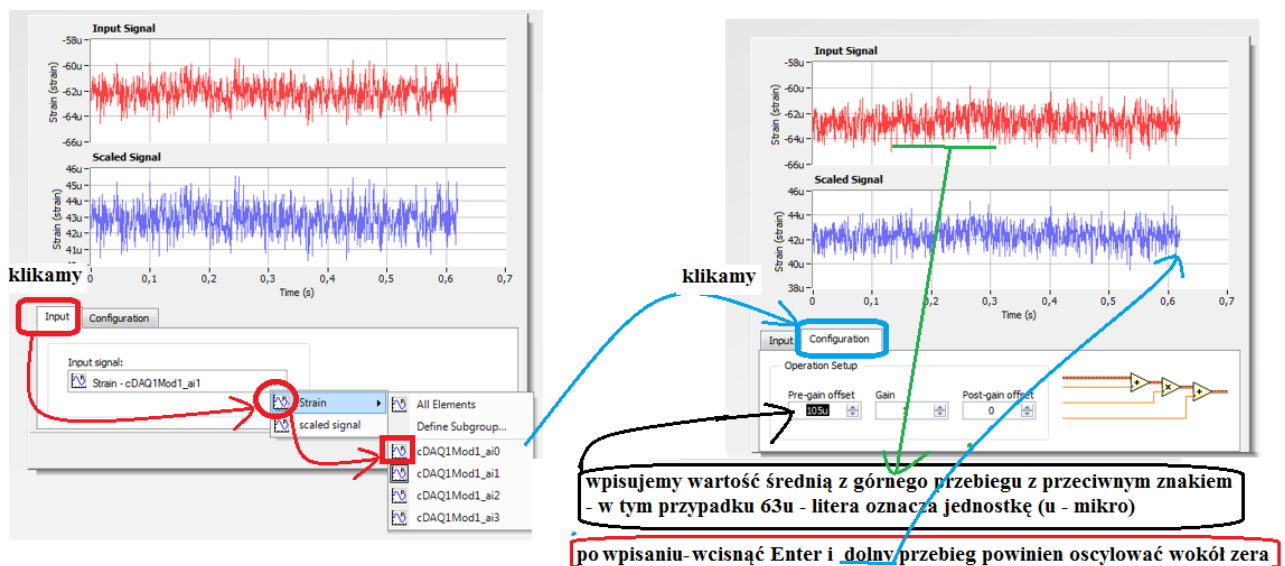
Nietrudno zauważyć, że obserwowane przebiegi pomimo braku obciążenia wskazują wartości różne od „0”. W celu wyzerowania przebiegów należy:

- wyskalować (rys. 8 - **Add Step** → **Processing** → **Analog Signals** → **Scaling and Conversion**);



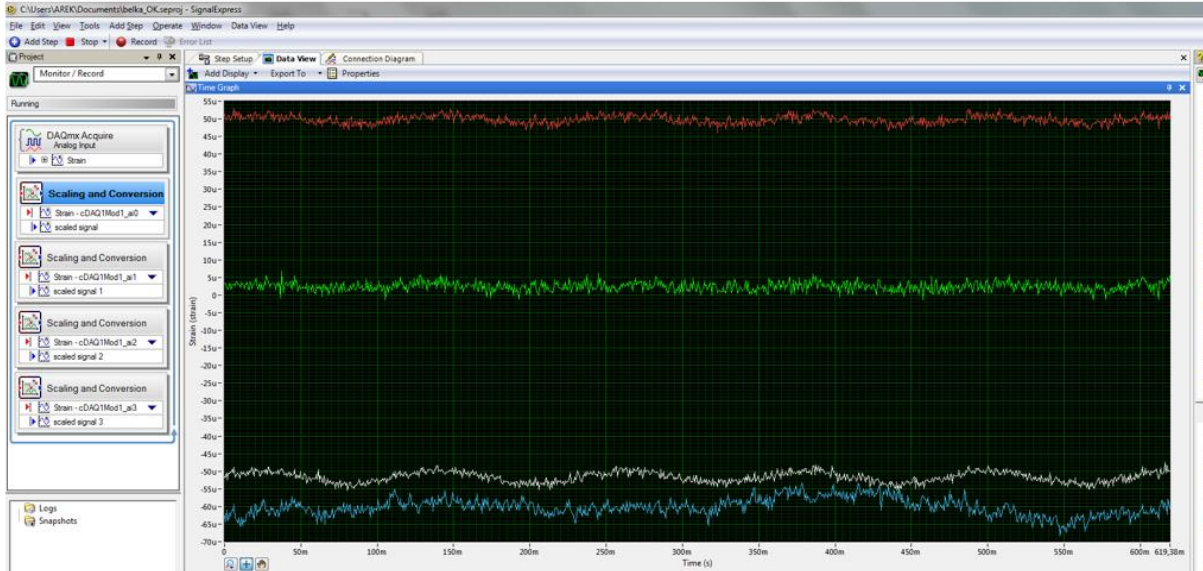
Rys.8. Aktywacja opcji skalowania.

- kolejność operacji - rys. 9: klikamy **Input** → **Strain** → wybieramy pierwszy kanał - **cDAQ1Mod1\_ai0**, następnie klikamy **Configuration** i w okienku „Pre-gain-offset” wpisujemy z przeciwnym znakiem i odpowiednią literą średnią wartość górnego przebiegu → **Enter** → dolny przebieg powinien oscylować wokół zera. Powtarzamy to samo dla pozostałych kanałów;



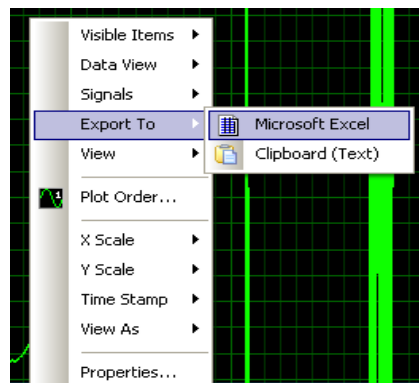
Rys.9. Instrukcja do procesu skalowania.

Następnie wchodzimy do opcji wizualizacji przebiegów (rys.7) i usuwamy aktywne przebieg, a w ich miejsce wstawiamy przebiegi wyskalowane (scaled). Powinniście uzyskać przebiegi jak na rysunku 10.



Rys.10. Wizualizacja przebiegów po skalowaniu.

Tak uzyskane przebiegi trzeba wyeksportować do arkusza **Excel** (przy aktywnym oknie **Data View** klikając prawym przyciskiem myszki otwieramy okno jak na rys. 11 i wybieramy **Export to** → **Microsoft Excel**. Zapisać te dane jako „0” przed pomiarem. Uzyskane w ten dane możemy obrabiać w dowolny sposób według reguł pracy w arkuszu Excel. W realizowanym ćwiczeniu potrzebne jest obliczenie wartości średniej wyeksportowanych do Excela przebiegów. Jest też możliwość wyliczenia wartości średniej obserwowanego przebiegu w programie **SignalExpress**. Znalezienie tej opcji zostawiam ćwiczącym (wtedy nie jest potrzebne eksportowanie danych pomiarowych do arkusza Excel i tam obliczania wartości średniej).

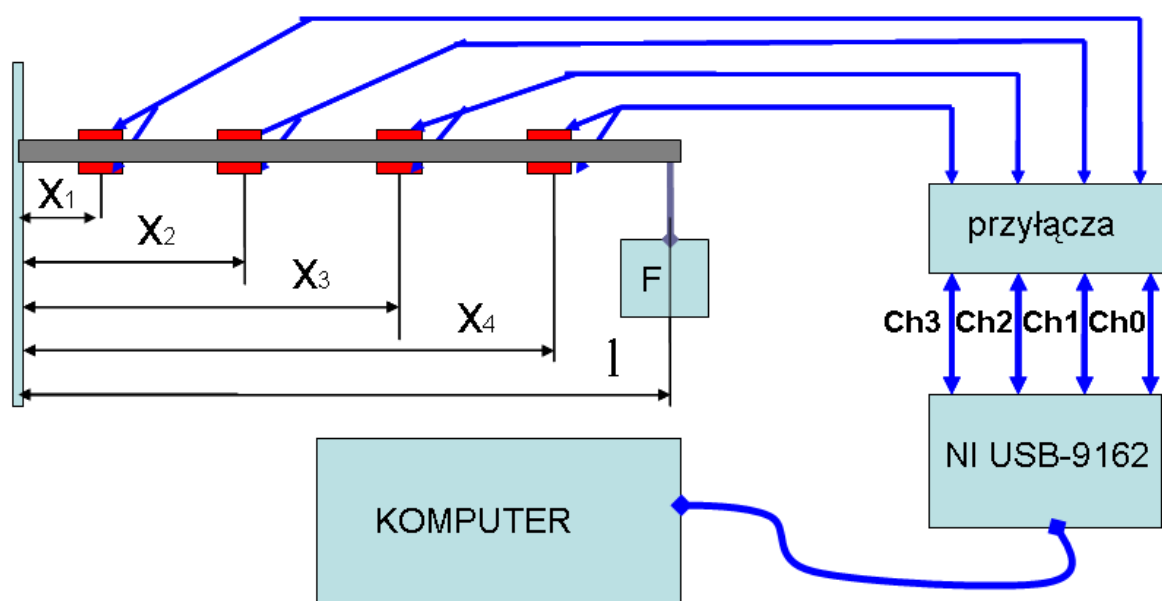


Rys.11. Eksport danych do arkusza Excel.



## 2. Pomiar naprężeń zginających przy pomocy mostka tensometrycznego NI USB-9162

1. Połączyć tensometry do odpowiednich kanałów mostka NI USB-9162 (rys.12).
2. Przeprowadzić konfigurację systemu zgodnie z instrukcją (tensometry są w układzie półmostkowym).



Rys.12. Schemat ideowy układu do pomiaru naprężeń zginających.

3. Wygasić ewentualne drgania belki (belka nieobciążona).
4. Zanotować do tabeli 1 wartości odkształceń w poszczególnych kanałach mostka (lub przeprowadzić zerowanie wskazań kanałów poprzez użycie operacji skalowania - te punkty były wykonane w poprzednim rozdziale).
5. Delikatnie zawiesić na końcu belki odważnik o masie wskazanej przez prowadzącego ćwiczenie i stłumić oscylacje belki i zanotować lub wyeksportować do Excela wskazania poszczególnych kanałów mostka.
6. Przeprowadzić pomiary dla pozostałych wartości obciążeń wskazanych przez prowadzącego ćwiczenie.
7. Obliczyć wielkości podane w tabeli 1 i przeprowadzić analizę uzyskanych rezultatów.

8. Sporządzić na jednym wykresie:  $\sigma_p = f(F)$  i  $\sigma_o = f(F)$  dla wszystkich kanałów pomiarowych.
9. Sporządzić na jednym wykresie (wykres kolumnowy):  $\delta = f(F)$  dla wszystkich kanałów pomiarowych.
10. Przeanalizować uzyskane zależności i wskazać przyczyny błędów.

Tabela 1.

m kg	Ch 0					Ch 1					Ch 2					Ch 3					
	$\epsilon$	$\epsilon_o$	$\sigma_p$	$\sigma_o$	$\delta$	$\epsilon$	$\epsilon_o$	$\sigma_p$	$\sigma_o$	$\delta$	$\epsilon$	$\epsilon_o$	$\sigma_p$	$\sigma_o$	$\delta$	$\epsilon$	$\epsilon_o$	$\sigma_p$	$\sigma_o$	$\delta$	
	$\mu D$	$\mu D$	MPa	MPa	%	$\mu D$	$\mu D$	MPa	MPa	%	$\mu D$	$\mu D$	MPa	MPa	%	$\mu D$	$\mu D$	MPa	MPa	%	
0																					
0,5																					
1,0																					
1,25																					
1,5																					
1,75																					
2,0																					
2,25																					
2,5																					
2,75																					
3,0																					

$l =$  m;  $b =$  m;  $h =$  m;  $x_1 =$  m;  $x_2 =$  m;  $x_3 =$  m;  $x_4 =$  m;

Wartość odkształcenia  $\epsilon_o$  w wybranym punkcie belki  $x$  obliczamy ze wzoru:

$$\epsilon_o = \frac{6F(l-x)}{Ebh^2}, \quad (1)$$

gdzie:  $F$  – siła działająca na belkę w [N];

$b$  – szerokość belki w [m];

$h$  – wysokość belki w [m];

$E$  – moduł Younga (dla stali  $2,1 \cdot 10^5$  MPa);

$l$  – odległość zawieszenia ciężarka od zamocowania belki [m];

$x$  – współrzędna naklejenia tensometrów.

Dokładną wartość naprężeń  $\sigma_o$  wyznaczamy z zależności:

$$\sigma_o = \frac{M_g(x)}{W_g}, \quad W_g = \frac{bh^2}{6}, \quad M_g(x) = F(l-x), \quad (2)$$

natomiast wartość naprężeń uzyskanych przy pomocy pomiarów obliczamy na podstawie:

$$\sigma_p = \varepsilon_p E \quad (3)$$

Ugięcie belki w miejscu odległym o  $x$  od zamocowania wynosi:

$$f_o = \frac{Fx^2(3l-x)}{6EJ_z}, \quad J_z = \frac{bh^3}{12} \quad (4)$$

Różnicę względną pomiędzy naprężeniami wyznaczonymi zgodnie z zależnościami (2) i (3) obliczyć należy korzystając ze wzoru:

$$\delta = \frac{\sigma_o - \sigma_p}{\sigma_o} \cdot 100\%$$

### 3. Pytania kontrolne

1. Podaj definicję odkształcenia jednostkowego  $\varepsilon$ .
2. Podaj definicję naprężenia jednostkowego  $\sigma$ .
3. Podaj i skomentuj wzór określający prawo Hooke'a.
4. Podaj związek, jaki występuje między naprężeniem jednostkowym i odkształceniem jednostkowym.
5. Wyjaśnij zasadę działania tensometru oporowego.
6. Jakie parametry drutu oporowego zmieniają się w wyniku rozciągania (ściskania) tego drutu?
7. Wymień rodzaje tensometrów i narysuj budowę jednego z nich.
8. Wymień i skomentuj przyczyny błędów pomiarów tensometrycznych.
9. Narysuj układ półmostkowy używany w pomiarach tensometrycznych i przeanalizuj jego wady i zalety

### 4. Literatura

1. Miłek M.: *Pomiary wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi*: podręcznik akademicki, Zielona Góra: Politechnika Zielonogórska, 1998
2. Chwaleba A., Czajewski J.: *Przetworniki pomiarowe wielkości fizycznych* Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 1993.
3. Chwaleba A., Czajewski J.: *Przetworniki pomiarowe wielkości fizycznych* Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1993.
4. Chwaleba A. i inni: *Metrologia elektryczna* WNT, Warszawa 2011.
5. W. Nawrocki: *Systemy i sensory pomiarowe*. WPP, Poznań 2001.

## 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.