

INSTRUKCJA WYKONAWCZA

- I. **Zestaw przyrządów:** urządzenie do wyznaczania modułu Younga, mostek tensometryczny typ MTA-1, wskaźnik zera MWA-1, zasilacz stabilizowany 12V, 0,3A typ ZSA-1, belki próbki (stal, mosiądz, duraluminium), 20 obciążników 0,5kg, przewody.

II. Przygotowanie stanowiska do pomiarów.

Przed przystąpieniem do pomiarów należy:

sprawdzić stan urządzeń sieciowych wolnostojących, załączyć urządzenia do sieci zasilającej 220 V, wyłącznik sieciowy "SIEC" wyłączony, dioda elektroluminescencyjna czerwona nie świeci.

III. Przebieg pomiarów

Pomiar modułu Younga metodą bezpośrednią i pośrednią

- sprawdzić wypoziomowanie urządzenia
- ułożyć badaną belkę na podporach oraz wstępnie obciążyć elementami 4 i 5 (rys. 1) w celu likwidacji luzów w układzie pomiarowym
- zamocować czujnik mikrometryczny
- połączyć układ pomiarowy wg rys.2 (bez wejścia wskaźnika zera i zasilania mostka +12V)
- sprawdzić wyzerowanie wskaźnika przy maksymalnej czułości (pokrętło "CZUŁOŚĆ" w prawym skrajnym położeniu) i w przypadku odchylenia wskaźnika od pozycji "zero" wyzerować go pokrętłem "0".

UWAGA !

Czynności wyżej wymienione wykonywać pod kierunkiem prowadzącego zajęcia.

- podłączyć wskaźnik zera do układu zmniejszając jego czułość do minimum
- pokrętło licznika "RÓWNOWAŻENIE" ustawić w pozycji 500 działek
- podłączyć zasilanie + 12V do mostka
- pokrętłem "ZEROWANIE" doprowadzić mostek do równowagi (wskaźnik zera przy maksymalnej czułości nie wychyla się)
- zanotować wskazania licznika mostka (500 działek) oraz wskazania czujnika mikrometrycznego traktując je jako wskazania zerowe
- obciążyć badaną belkę kolejnymi obciążnikami, notując za każdym razem wskazania licznika mostka po każdorazowym jego zrównoważeniu pokrętłem "RÓWNOWAŻENIE" i wskazania czujnika mikrometrycznego
- dla belki stalowej przewidziano 20 obciążników 0,5kg, a dla mosiądzu i duraluminium po 10 obciążników 0,5kg
- po odczycie ostatniego wyniku zmniejszyć czułość do minimum (pokrętło "CZUŁOŚĆ" w lewym skrajnym położeniu) i zdjąć obciążniki
- powtórzyć serię pomiarów po odwróceniu belki o 180°

$$E = \frac{P}{\Delta R} \cdot 6 \cdot \frac{K \cdot k \cdot R}{b \cdot h^2}$$

czyli:

$$E = \frac{P}{\Delta R} \cdot D \quad \text{stąd} \quad P = \frac{E}{D} \Delta R$$

gdzie D jest stałą równą:

$$D = \frac{K \cdot k \cdot R}{b \cdot h^2}$$

Dane:

Dla tensometrów zastosowanych w ćwiczeniu

$R = 121,0 \, \Omega$

$K = 2,18$ - stała tensometrów

$b = 15 \text{ mm}$

$h = 4 \text{ mm}$

$k = 100 \text{ mm}$

SPOSÓB POMIARU

1. Metoda bezpośrednia

Pomiaru strzałki ugięcia dokonuje się przy pomocy czujnika mikrometrycznego. Po ustawieniu belki na podporach i wstępnym obciążeniu elementami 4 i 5 (rys. 1), ustawia się czujnik tak, aby głowica pomiarowa dotykała do belki, sprawdzając kilkakrotnie czy po odciągnięciu głowicy ręką wraca ona do tej samej pozycji. Wartość wskazywaną przez czujnik notuje się jako wartość zerową n_0 . W trakcie obciążania belki i-tym obciążnikiem dokonuje się odczytu wartości n_i na czujniku. Wartość strzałki ugięcia f_i przy obciążeniu i-obciążnikami wynosi więc:

$$f_i = n_i - n_0$$

2. Metoda tensometryczna

Do wyznaczania modułu Younga metodą tensometryczną wykorzystuje się dwa tensometry oporowe typu RL 120/10 naklejone z dwu stron na belkę i włączone do układu mostkowego (rys. 3). Jedna przekątna mostka jest zasilana napięciem stałym, a do drugiej przyłączony jest "Wskaźnik Zera" za pośrednictwem potencjometrów "Zerowanie" i "Równoważenie". Przed dokonaniem pomiarów należy wyzerować "Wskaźnik Zera". Następnie potencjometr "Równoważenie" ustawić w pozycji ⁵⁰⁰ 600 podziałek i przy wstępnym obciążeniu belki elementami 4 i 5 (rys. 1), potencjometrem "Zerowanie" zrównoważyć mostek (przy maksymalnej czułości "Wskaźnika Zera"). Zmiana obciążenia belki z naklejonymi tensometrami powoduje wzrost rezystancji jednego tensometru i malenie drugiego. Powoduje to rozrównoważenie mostka widoczne na "Wskaźniku Zera". Mostek doprowadzamy do stanu równowagi przy pomocy potencjometru "Równoważenie". Wartość ΔR dla obciążenia i-obciążnikami, należy liczyć z zależności:

$$\Delta R = |m_i - 500| \cdot 0,002 \, \Omega$$

gdzie:

m_i – wartość odczytana z potencjometru "Równoważenie"

$0,002 \, \Omega$ – zmiana rezystancji tensometru odpowiadająca jednej działce potencjometru

Dla jednej strony belki wartość $m_i > 600$, natomiast dla drugiej strony wartość $m_i < 600$

IV. Opracowanie wyników

- dla każdego obciążenia obu serii pomiarów obliczyć średnią wartość f_i strzałki ugięcia i ΔR_i
- sporządzić wykres $P = F(f)$ i $P = F(\Delta R)$
- dla badanych belek metodą regresji liniowej najmniejszych kwadratów znaleźć wartość i błąd współczynnika nachylenia a następnie wartość i błąd modułu Younga.

ZAGADNIENIA

Prawo Hooke'a jako przybliżone prawo opisujące własności sprężyste ciał jednorodnych i izotropowych (dla odkształcenia w kierunku przyłożonej siły i dla odkształceń w kierunkach poprzecznych). Sens fizyczny modułu Younga.

LITERATURA

R. Feynman i inni. FEYNMANA WYKŁADY Z FIZYKI Tom II, część 2, PWN.
J. Massalski, M. Massalska FIZYKA DLA INŻYNIERÓW Tom I, PWN.

WSTĘP

Program ćwiczenia obejmuje pomiar i wyznaczenie modułu Younga E metodą:

- bezpośrednią z pomiaru strzałki ugięcia zginanej belki
- pośrednią za pomocą tensometrów naklejonych na zginanej belce.

Jako badanych próbek używa się 3 belek z różnych materiałów (stal, mosiądz, duraluminium).

Do obciążania belki wykorzystywane są obciążniki w postaci tarcz o masie 0.5 kg.

Metoda bezpośrednia pomiaru modułu Young'a

Metoda ta wykorzystuje zależność na strzałkę ugięcia „ f ” zginanej belki:

$$f = \frac{P \cdot k}{24E \cdot J} \cdot [3(L_1 + k)^2 - 4k^2] \quad (1)$$

gdzie:

P - siła gnąca belkę

E - moduł Younga

J - moment bezwładności pola przekroju względem osi obojętnej

k - wymiary belki (pokazane na rys. 1)

L_1 - wymiary belki (pokazane na rys. 1)

Momentem bezwładności pola przekroju względem osi obojętnej nazywamy sumę iloczynów elementarnych pól tego przekroju przez kwadraty odległości tych pól od danej osi. Wzór (1) zachowuje swoją ważność dla naprężeń nie przekraczających granicy sprężystości materiału zginanej belki. Po przekształceniu wzoru (1) otrzymamy:

$$E = \frac{P \cdot k}{24f \cdot J} [3(L_1 + k)^2 - 4k^2] \quad (2)$$

We wzorze (2) siła P oraz strzałka ugięcia f są wielkościami zmiennymi. Pozostałe wyrażenia we wzorze są stałe, wynikające jedynie z wymiarów belki, można więc napisać:

$$E = \frac{P}{f} \cdot C \quad (3)$$

gdzie:

C – stała

Dane:

$$k = 100\text{mm}$$

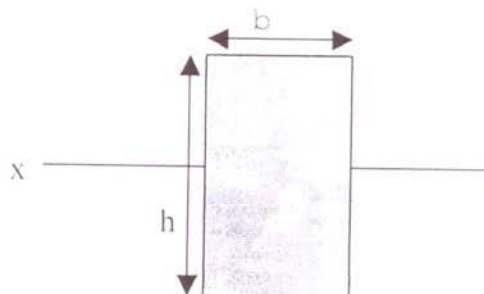
$$L_1 = 200\text{mm}$$

$$J = \frac{bh^3}{12}$$

Wymiary poprzeczne belki:

$$b = 15\text{mm}$$

$$h = 4\text{mm}$$



Metoda pośrednia - tensometryczna wyznaczania modułu Young'a

W metodzie tej wykorzystuje się zjawisko zmiany rezystancji cienkich drucików tensometru pod wpływem wydłużania lub skracania.

Zmiana rezystancji jest wprost proporcjonalna do jednostkowego wydłużenia bądź skrócenia.

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta L}{L} = K \varepsilon$$

gdzie:

$\frac{\Delta R}{R}$ - jednostkowa zmiana rezystancji tensometru

$\frac{\Delta L}{L} = \varepsilon$ - jednostkowe wydłużenie lub skrócenie drucików tensometrów

K - stała tensometrów

R - rezystancja tensometru

L - długość bazy tensometru

Zależność między modułem Young'a E, jednostkowym wydłużeniem lub skróceniem skrajnych włókien belki z naklejonymi tensometrami a naprężeniem ujmuje zależność:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

gdzie:

$$\sigma = \frac{M_g}{W_g}$$

σ - naprężenie w przekroju

M_g = moment zginający

W_g = wskaźnik przekroju

Wskaźnik przekroju W_g (mm³) określa zależność wielkości odkształcenia od kształtu przekroju zginanego przedmiotu.

$$W_g = \frac{J}{e}$$

gdzie:

J - moment bezwładności (w mm²) pola przekroju względem osi obojętnej

e - odległość skrajnych włókien pola przekroju od tej osi (mm)

$$M_g = \frac{P}{2} k \quad W_g = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad J = \frac{bh^3}{12}$$

czyli:

$$\sigma = \frac{3Pk}{bh^2} \quad (6)$$

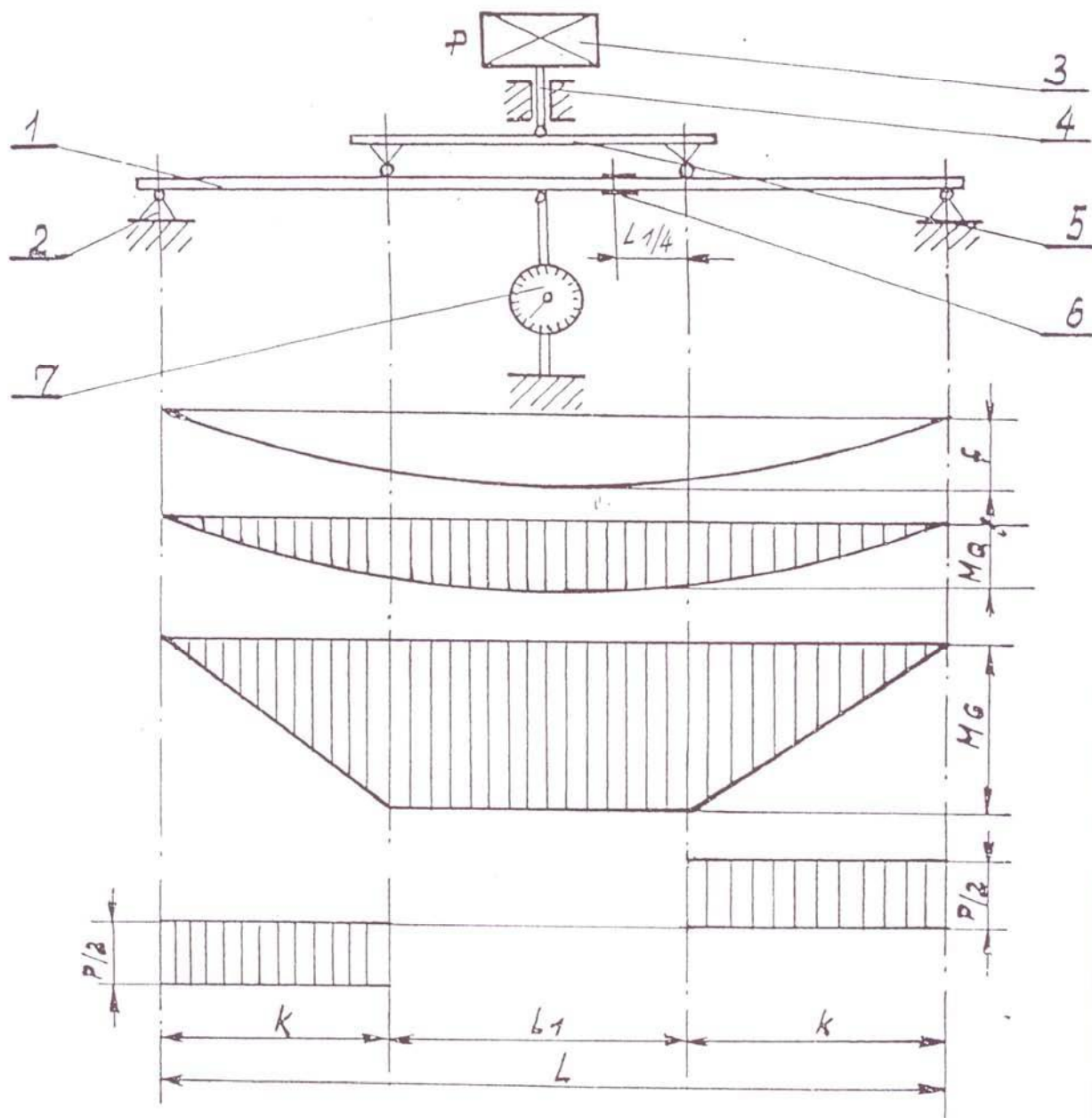
ze wzoru (4) po przekształceniu otrzymamy:

$$\varepsilon = \frac{1}{K} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

Sygnał wyjściowy przy dwu tensometrach jest dwukrotnie większy, stąd:

$$\varepsilon = \frac{1}{2K} \cdot \frac{\Delta R}{R} \quad (7)$$

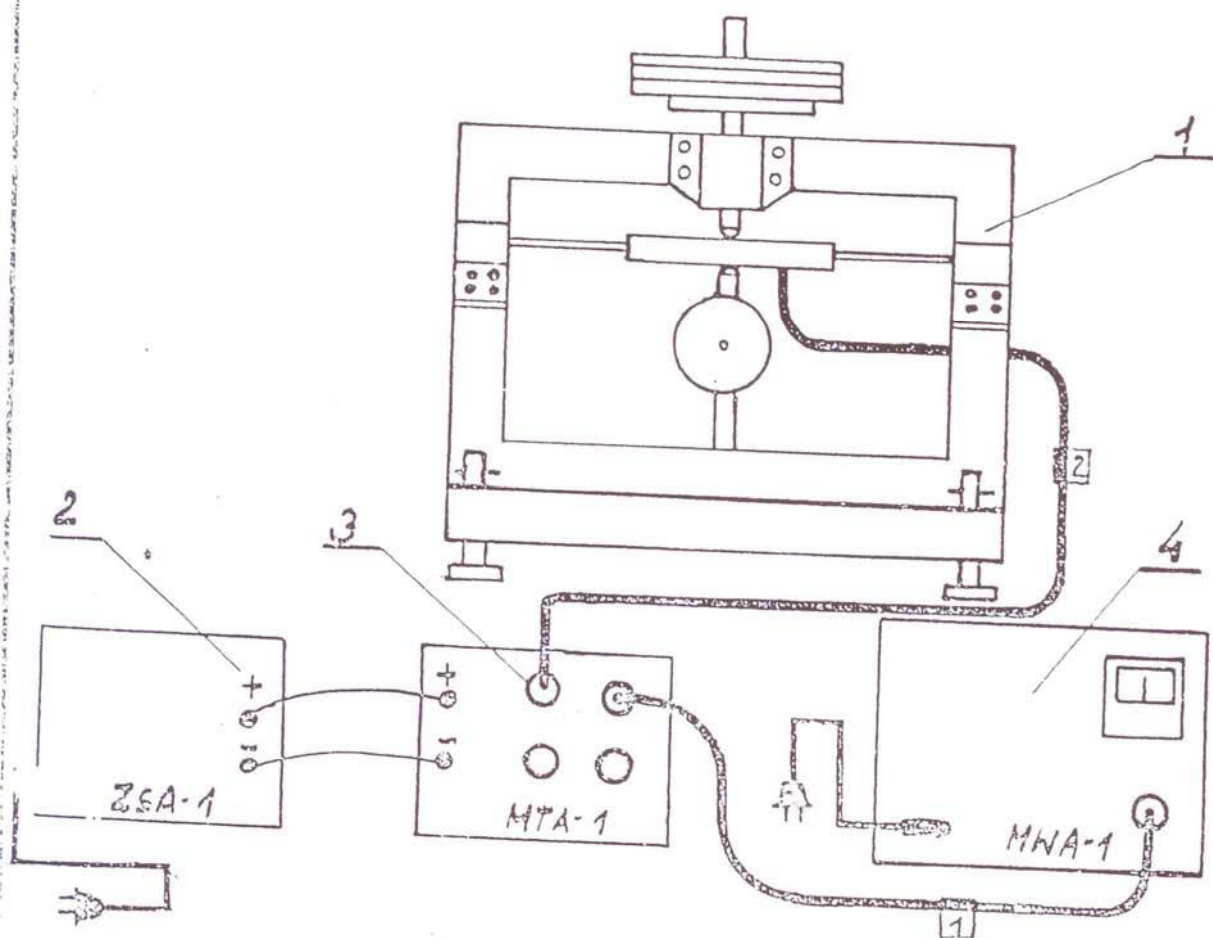
Po podstawieniu wzoru (6) i (7) do wzoru (5) otrzymamy:



Rys 1 Schemat obciążenia belki

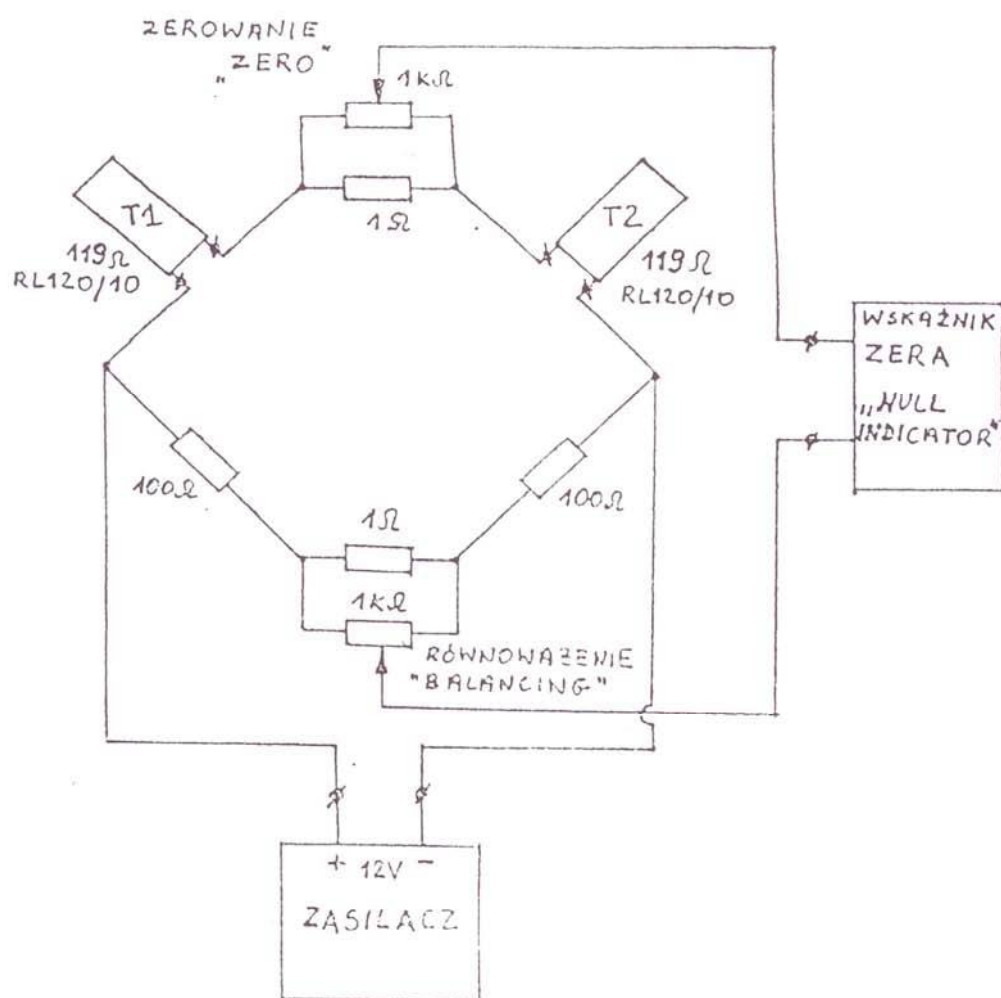
1. Zginana belka
2. Podpora
3. Obciążenie P
4. Trzpień
5. Nakładka
6. Naklejone na belce tensometry
7. Czujnik mikrometryczny

Układ pomiarowy do pomiaru modułu Younga metodą bezpośrednią i pośrednią.



Rys. 2

1. Urządzenie do wyznaczania modułu Younga
2. Zasilacz stabilizowany typ ZSA-1
3. Mostek tensometryczny typ MTA-1
4. Wskaźnik zera typ MWA-1



Rys. 3

Schemat ideowy mostka tensometrycznego