A8. Pomiar modułu Younga metodą jednostronnego rozciągania

***Celem ćwiczenia** jest poznanie własności sprężystych ciał poddanych działaniu sił zewnętrznych oraz doświadczalny pomiar wartości modułu Younga i współczynnika Poissona.*

Działanie siły zewnętrznej na ciało prowadzi do jego odkształcenia, czyli zmiany jego rozmiarów i objętości. Zwykle takiej deformacji towarzyszy zmiana kształtu ciała. Niekiedy, przy równomiernym ściskaniu lub rozciąganiu we wszystkich kierunkach, kształt ciała się nie zmienia.

Zgodnie z ***III zasadą dynamiki Newtona,*** wewnątrz deformowanego ciała powstaje siła reakcji, zwana ***siłą sprężystości***, równa, co do wartości, sile deformującej.

W zależności od przyłożonej siły ciało może ulegać odkształceniom trwałym lub nietrwałym. Jeżeli po usunięciu siły odkształcającej ciało powraca do rozmiarów początkowych – mówimy o ***odkształceniu sprężystym. Prawo Hooke'a*** mówi, że:

siła sprężystości F, pojawiająca się przy niewielkich odkształceniach dowolnego typu, jest proporcjonalna do wielkości odkształcenia.

Wielkość fizyczna określająca stosunek siły sprężystości do wielkości powierzchni S przekroju poprzecznego ciała nazywamy ***naprężeniem.***

Jeżeli siła ta jest skierowana prostopadle do powierzchni mówimy o ***naprężeniu normalnym*** ($\sigma_n = F_n/S$), gdy jest skierowana stycznie do tej powierzchni, mówimy o ***naprężeniu stycznym*** ($\sigma_s = F_S/S$).

Najprostszym odkształceniem jest rozciągnięcie lub ściśnięcie podłużne ciała, tzn. jego wydłużenie lub skrócenie pod wpływem naprężenia normalnego. Miarą deformacji jest wówczas ***odkształcenie względne***: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_o}$, gdzie Δl jest zmianą długości np. rozciąganego pręta o długości początkowej l_o. Związek między odkształceniem i naprężeniem jest liniowy, zgodnie z ***prawem Hooke'a***: $\sigma_n = E \cdot \varepsilon = E\frac{\Delta l}{l_o}$, gdzie współczynnik E nazywany jest ***modułem Younga.*** Jego wartość zależy od materiału i liczbowo jest równy wielkości naprężenia, pod wpływem którego, względne wydłużenie pręta wynosi 1, tzn.: $\Delta l/l_o = 1$, czyli następuje podwojenie jego długości początkowej.

Naprężenie normalne działające równomiernie we wszystkich kierunkach powoduje ***odkształcenie objętościowe*** ciała.

Gdy na ciało działa naprężenie styczne następuje ***odkształcenie postaciowe*** tego ciała, tzn. jego ścinanie lub skręcenie np. o kąt α. Wówczas $\sigma_s = G \cdot \alpha$, gdzie G jest ***modułem sztywności*** materiału.

Podczas rozciągania ciała zmniejsza się jego pole przekroju poprzecznego S, mierzone w kierunku prostopadłym do kierunku działania siły czyli następuje przewężenie ciała. Stosunek względnego przewężenia $\varepsilon_p = \frac{\Delta S}{S_0}$ do względnego wydłużenia $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ nosi nazwę **współczynnika Poissona:** $-\mu = \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon}$, który jest wielkością charakterystyczną dla danego materiału i zależnie od materiału przyjmuje wartości z przedziału $0 \le \mu \le 0.5$. Współczynnik Poissona jest wielkością bezwymiarową, nie określa sprężystości materiału, a jedynie sposób, w jaki się on odkształca. Nie zależy od kształtu i wymiarów ciała, ma taką samą wartość dla rozciągania i ściskania.

Literatura uzupełniająca:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker - Podstawy fizyki – T.2 rozdz. 13.6
2. Cz. Bobrowski – Fizyka –krótki kurs – rozdz.7.7

Zobacz też:

symulacje komputerowe na stronie internetowej *Katedry Fizyki i Biofizyki* (**https://sparrow.up.poznan.pl/kfb/**) (zakładka: *Symulacje zjawisk fizycznych*).

A8. Protokół pomiarów i obliczeń

Nr pary:	Imię i nazwisko studenta:	Kierunek studiów: Grupa:
Data:	Imię i nazwisko prowadzącego:	Zaliczenie:

Wykonanie ćwiczenia

Przyrządy: siłomierz zamontowany na podnośniku automatycznym z panelem sterującym, zaczepy (haczyki), zestaw gumek kauczukowych, suwmiarka, linijka.

1. Wybierz dziesięć gumek kauczukowych o równej długości. Posługując się szczękami suwmiarki przeznaczonymi do pomiarów wymiarów wewnętrznych, zmierz długość początkową (bez naciągania) jednej wybranej gumki l_0 = ……
2. Ustaw prędkość automatycznego przesuwu siłomierza według wskazań prowadzącego (sugerowane ustawienie prędkości jest zaznaczone na panelu głównym podnośnika).
3. Dopasuj wzajemną odległość punktów zaczepu gumki (haczyków) do wartości równej podwojonej długości początkowej l_0. W tym celu należy posłużyć się panelem sterującym podnośnika i w zależności od potrzeb - podnieść lub opuścić siłomierz (przyciski UP / DOWN na panelu sterowania) w takie położenie, by odległość między haczykami l_1 była równa $2 \cdot l_0$.
4. Opuść górny ogranicznik podnośnika automatycznego (G) do aktualnej pozycji, w której ustawiłeś podnośnik i go zablokuj. W ten sposób siłomierz podczas rozciągania zatrzyma się samoczynnie w momencie gdy nastąpi podwojenie długości rozciąganego elementu.
5. Za pomocą suwmiarki określ wymiary przekroju poprzecznego w stanie nierozciągniętym pięciu wybranych gumek, tzn. ich grubość (h_0) oraz szerokość (d_0). Wykonując pomiar zwróć szczególną uwagę, aby szczęki suwmiarki dotykały powierzchni gumki, ale jej nie deformowały (ściskały). Wyniki wpisz do Tabeli 1.
6. Zamontuj po kolei wybrane gumki na haczykach, znajdujących się we wzajemnej odległości $2 \cdot l_0$ i zmierz ich wymiary h_1 oraz d_1 w stanie rozciągniętym. Wykonując pomiar zwróć szczególną uwagę, aby szczęki suwmiarki dotykały powierzchni gumki, ale jej nie deformowały (ściskały). Wyniki wpisz do Tabeli 1.
7. W celu ochrony czujnika siłomierza przed uszkodzeniem przy jego automatycznym obniżaniu, opuść siłomierz w dół na „bezpieczną wysokość" tj. na odległość ok 3,5 cm między haczykami, przy czym odległość ta musi być tak dobrana, aby gumki po założeniu ich w tej pozycji nie były rozciągane przez haczyki. Zablokuj w tej pozycji dolny ogranicznik podnośnika (D).
8. Włącz siłomierz i wybierz funkcję pomiaru maksymalnej wartości siły przyciskiem PEAK.
9. Zaczep pierwszą gumkę o haczyki, wyzeruj siłomierz (przycisk ZERO), upewnij się że wartość siły wskazywana przez siłomierz wynosi 0, a następnie za pomocą podnośnika zacznij podnosić go do góry (ustaw tryb pracy podnośnika na AUTO). W momencie gdy siłomierz zatrzyma się na wcześniej zablokowanej wysokości, odczytaj wartość siły rozciągającej F (w niutonach) i zapisz ją w odpowiedniej kolumnie w Tabeli 2.
10. Pomiar siły rozciągającej powtórz trzykrotnie. W tym celu opuść podnośnik do skrajnego położenia dolnego. Każdorazowo przed rozciąganiem gumek, wyzeruj wskazanie siłomierza (przycisk ZERO) i upewnij się, że wskazanie siłomierza zostało wyzerowane.
11. Wykonaj pomiary siły rozciągającej dla coraz większej liczby gumek (n), tj. opuść siłomierz w dół i kolejno dokładaj po jednej gumce powtarzając pomiary siły F, jak w punkcie powyżej.

Tabela 1.

Lp.	Grubość gumki h_0 [m]	Szerokość gumki d_0 [m]
	W stanie nierozciągniętym	
1		
2		
3		
4		
5		
	$h_{0śr}$ =	$d_{0śr}$ =
pole przekroju poprzecznego $S_0 = h_{0śr} \cdot d_{0śr}$ = …… [m]		

Grubość gumki h_1 [m]	Szerokość gumki d_1 [m]
W stanie rozciągniętym	
$h_{1śr}$ =	$d_{1śr}$ =
pole przekroju poprzecznego $S_1 = h_{1śr} \cdot d_{1śr}$ = …….. [m]	

Tabela 2.

Ilość gumek n	Wartość siły rozciągającej F [N]			Wartość średnia siły rozciągającej $F_{śr}$ [N]	Całkowite pole przekroju poprzecznego S [m^2]
	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3		
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Opracowanie wyników

1. Na podstawie danych z Tabeli 1 oblicz wartość średnią grubości ($h_{0śr}$) oraz szerokości ($d_{0śr}$) gumek w stanie nierozciągniętym oraz wartość średnią grubości ($h_{1śr}$) oraz szerokości ($d_{1śr}$) gumek w stanie rozciągniętym a następnie odpowiednio pola przekroju poprzecznego S_0 i S_1.
2. Dla każdego układu gumek (dla każdej ilości gumek podlegających jednoczesnemu rozciągani) oblicz całkowite pole przekroju poprzecznego badanych elementów ze wzoru:

$$S = 2 \cdot h_{0śr} \cdot d_{0śr} \cdot n = 2 \cdot S_0 \cdot n$$

   gdzie n jest liczbą użytych gumek. Wyniki obliczeń wpisz do Tabeli 2.
3. Wyznacz wartość średnią siły rozciągającej $F_{śr}$ dla każdego zestawu rozciąganych gumek.
4. Sporządź wykres liniowej zależności średniej wartości siły rozciągającej $F_{śr}$ od wartości obliczonego pola przekroju poprzecznego S (powstanie w ten sposób wykres funkcji: $F_{śr}=A \cdot S$) a następnie wyznacz współczynnik kierunkowy A otrzymanej prostej wraz z jego błędem pomiarowym ΔA (w tym celu możemy posłużyć się odpowiednim programem komputerowym).

A = ……..…..….. […….] ΔA = …….. […….]

<u>Uwaga:</u> Jeśli współczynnik kierunkowy A otrzymanej prostej wyznaczamy z wykresu sporządzonego na papierze milimetrowym, wówczas błąd współczynnika kierunkowego ΔA wyznaczamy z dokładności odczytu poszczególnych wartości naniesionych na wykresie – patrz „Graficzna analiza wyników" (https://sparrow.up.poznan.pl/kfb/).

5. Wyznaczony współczynnik kierunkowy prostej *A* liczbowo równy jest modułowi Younga *E* badanego materiału. Po odpowiednim zaokrągleniu znalezionych wartości zapisz zestawienie wyniku w postaci *(E ± ΔE) jedn.SI*:

$$E = (\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \pm \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots)\ [\ldots\ldots\ldots]$$

6. Oblicz, z podanego poniżej wzoru, współczynnik Poissona μ badanego materiału jako stosunek względnego przewężenia $\varepsilon_p = \frac{S_1 - S_0}{S_0}$ do względnego wydłużenia $\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0}$. W naszym ćwiczeniu względne wydłużenie pręta wynosi 1, tzn.: $l_1 = 2l_0$ stąd $\varepsilon = 1$ i równanie na współczynnik Poissona upraszcza się do postaci:

$$-\mu = \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon} = \varepsilon_p = \frac{S_1 - S_0}{S_0} =$$

Wartości S_1 i S_0 należy przyjąć zgodnie z Tabelą 1.