

Wprowadzenie teoretyczne

Doświadczenie „Y O U N G”

Moduł Younga to tak zwany moduł sprężystości, który określamy dla elementów podlegających naprężeniom statycznym takich jak pręty, liny czy płaskowniki. Substancje i materiały posiadają właściwości odzyskiwania swoich kształtów i rozmiarów po usunięciu siły zewnętrznej, która powoduje odkształcenie. Powyższą właściwość sprężystości w pewnym zakresie posiadają wszystkie ciała stałe. Przyłożenie zewnętrznej siły prowadzi do powstania wewnętrznego naprężenia w materiale. Odkształcenie względne ε , związane ze zmianą długości próbki definiujemy jako stosunek wydłużenia x do długości pierwotnej L :

$$\varepsilon = \frac{x}{L}$$

Prawo Hooke’a jest podstawowym doświadczalnym prawem sprężystości ciał, obowiązuje ono dla małych odkształceń. Prawo to mówi o proporcjonalności względnego odkształcenia do naprężenia wywołującego to odkształcenie. Współczynnik proporcjonalności jest wielkością stałą dla danego materiału. Współczynnik ten nazywamy modułem sprężystości. Prawo Hooke’a dla wydłużanego materiału definiujemy wzorem:

$$\frac{F}{S} = E \cdot \frac{x}{L}$$

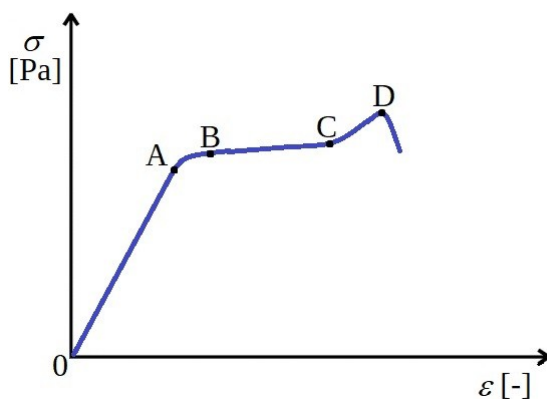
który można skrócić do postaci:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

gdzie:

σ - naprężenie normalne wynikające z działania sił F prostopadłych do powierzchni przekroju S .

E - moduł sprężystości przy wydłużaniu, zwany modułem Younga.



Wykres naprężenia wewnętrznego jako funkcja wydłużania względnego rozciąganego drutu:

Zakres 0-A na wykresie jest zakresem sprężystości o charakterze liniowym, do którego stosuje się prawo Hooke’a.

Punkt B oznacza koniec zakresu sprężystości. Przekroczenie punktu B oznacza trwałą deformację próbki.

Zakres B-C to zakres plastyczności (płynięcia) materiału. Bez dodatkowych naprężeń obserwujemy wydłużanie się próbki.

Punkt D mówi o granicy wytrzymałości materiału, próbka ulega zerwaniu.

Pytania do przygotowania:

„YOUNG”

1. Podaj treść i zapisz wzorem prawo Hooke'a.
2. Wyjaśnij co to jest współczynnik sprężystości i podaj jego jednostkę.
3. Podaj definicję i jednostkę modułu Younga.
4. W jakim zakresie mieszczą się moduły Younga popularnych materiałów np. stal, miedź, aluminium, drewno, nylon itp?
5. Omów podział ciał stałych ze względu na budowę struktury cząsteczkowej i wyjaśnij różnicę w ich budowie (postaciowe i bezpostaciowe).
6. Podaj definicję i jednostkę odkształcenia względnego.
7. Podaj definicję i jednostkę naprężenia normalnego.
8. Podaj definicję i jednostkę siły.
9. Narysuj wykres naprężenia wewnętrznego w funkcji wydłużenia względnego.
10. Opisz charakterystyczne zakresy występujące na wykresie naprężenia wewnętrznego w funkcji wydłużania względnego.
11. Narysuj wykres naprężenia wewnętrznego w funkcji wydłużania względnego w zakresie stosowalności prawa Hooke'a.
12. Jak zmieni się naprężenie normalne jeśli siła rozciągająca wzrośnie dwukrotnie?
13. Podaj rodzaje naprężeń występujących w materiale.
14. Wyjaśnij różnicę między odkształceniem sprężystym a odkształceniem plastycznym.
15. Opisz podział materiałów ze względu na właściwości mechaniczne i wyjaśnij różnicę między nimi (sprężyste, kruche, plastyczne).

Przebieg czynności

1. Zmierzyć średnicę próbki d przy pomocy suwmiarki.
2. Włączyć (wyzerować) siłomierz.
3. Umocować próbkę w uchwytach.
4. Kręcąc korbą znaleźć położenie początkowe, przy którym siłomierz wskazuje 0 N.
5. Zmierzyć suwmiarką długość początkową próbki L (odległość między uchwytami).
6. Rozciągać próbkę dokonując pomiarów wydłużenia x oraz siły rozciągającej F . Wyniki zapisywać co około 0,15 mm.
7. Po zgromadzeniu 15 pomiarów można zwiększyć wydłużenia x do 1-2 mm, aż do zerwania próbki.
8. Wykonać na komputerze wykres zależności naprężenia σ w funkcji odkształcenia ϵ , dla wszystkich punktów pomiarowych.
9. Odczytać wstępnie granicę stosowalności prawa Hooke'a tj. współrzędne punktu A: $\epsilon_{\text{graniczne}}$ oraz $\sigma_{\text{graniczne}}$.
- 10.

Student 1. Wykonać wykres (na papierze milimetrowym) dla 10 punktów z zakresu 0-A. Wyznaczyć moduł Younga jako współczynnik kierunkowy tego wykresu.

Student 2. Wykonać wykres (na papierze milimetrowym) dla wybranych punktów zawierających pomiary w zakresie 0-B (w tym co najmniej 2 kolejne punkty poza granicznym punktem A). Odczytać zakres odkształceń, w którym spełnione jest prawo Hooke'a tj. największy zakres w którym przez pola niepewności można poprowadzić prostą.

„YOUNG”

Student 1: Wyznaczanie modułu Younga dla próbki z tworzywa ABS lub PETG.

Student 2: Wyznaczanie zakresu odkształceń, w którym spełnione jest prawo Hooke’a.



Baza teoretyczna

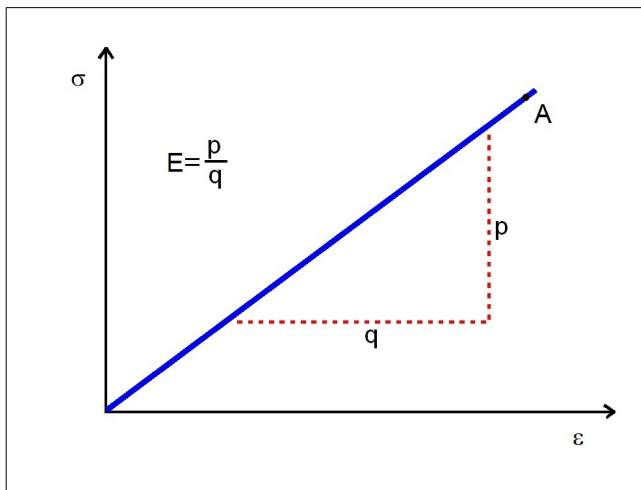
Prawo Hooke’a w zastosowaniu do rozciągania próbki: w granicach sprężystości materiału, wydłużenie x jest wprost proporcjonalne do przyłożonej zewnętrznej siły F , która jest przyczyną tego wydłużenia:

$$\frac{F}{S} = E \cdot \frac{x}{L}$$

Stosując definicję naprężenia σ i odkształcenia ε :

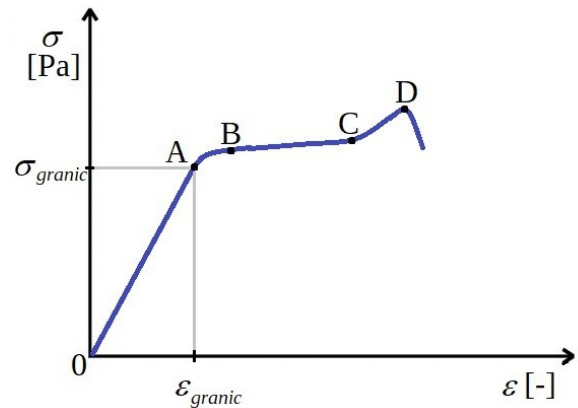
$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Względne wydłużenie (odkształcenie) jest wprost proporcjonalne do wywołującego je naprężenia. Współczynnikiem proporcjonalności jest **moduł Younga E**.



Zatem, aby **wyznaczyć moduł Younga** należy:

- wykonać pomiary zależności naprężenia σ wywołanego rozciąganiem od odkształcenia ε
- sporządzić wykres zależności naprężenia σ od odkształcenia ε w liniowym zakresie zmienności 0-A
- odczytać z niego wartość modułu Younga



Zatem, aby **wyznaczyć zakres stosowalności prawa Hooke’a** należy:

- wykonać pomiary zależności naprężenia σ , wywołanego rozciąganiem od odkształcenia ε
- sporządzić wykres zależności naprężenia σ od odkształcenia ε w zakresie zmienności 0-B
- zanalizować jego liniowość, tj. podać początkowy zakres odkształceń, w którym wykres jest liniowy

„YOUNG”

Student 1: Wyznaczanie modułu Younga na wydłużenie dla próbki z tworzywa ABS lub PETG.

I. Metodyka (ideowy plan ćwiczenia)

II. Przebieg ćwiczenia

II.1. Przebieg czynności

II.2. Szkic układu pomiarowego

III. Wyniki

III.1. Wyniki pomiarów

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
F	[N]																					
x	[mm]																					

L = ...

$\Delta L = \dots$

d = ...

$\Delta d = \dots$

$\Delta x = \dots$

$\Delta F = \dots$

$\epsilon_{\text{graniczne}} = \dots$

$\sigma_{\text{graniczne}} = \dots$

III.2. Obliczenia (przykładowe – odnoszą się do pomiaru nr 2)

$$S = \frac{\pi d^2}{4} =$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{4F}{\pi d^2} =$$

$$\Delta \sigma = \frac{4}{\pi d^2} \Delta F + \frac{8F}{\pi d^3} \cdot \Delta d =$$

$$\epsilon = \frac{x}{L} =$$

$$\Delta \epsilon = \frac{\Delta x}{L} + \frac{x}{L^2} \cdot \Delta L =$$

III.3. Wyniki obliczeń

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
σ	[]										
$\Delta \sigma$	[]										
ϵ	[-]										
$\Delta \epsilon$	[-]										

III.4. Wykres

+ obliczenie E, (nachylenie prostej najlepszego dopasowania dla fragmentu 0-A wykresu)

+ obliczenie E' (nachylenie prostej odchylonej dla fragmentu 0-A wykresu)

+ obliczenie dokładności metody $\Delta E = | E - E' |$

IV. Podsumowanie

Wyznaczona wartość ... wynosi ...

Dokładność metody ...

Tablicowa wartość ... wynosi ...

Dodatkowe wnioski, spostrzeżenia, przyczyny niepewności pomiarowych.

„YOUNG”

Student 2: Wyznaczanie zakresu odkształceń, w którym spełnione jest prawo Hooke’a.

I. Metodyka (ideowy plan ćwiczenia)

II. Przebieg ćwiczenia

II.1. Przebieg czynności

II.2. Szkic układu pomiarowego

III. Wyniki

III.1. Wyniki pomiarów

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
F	[N]																					
x	[mm]																					

L = ...

$\Delta L = \dots$

d = ...

$\Delta d = \dots$

$\Delta x = \dots$

$\Delta F = \dots$

$\varepsilon_{\text{graniczne}} = \dots$

$\sigma_{\text{graniczne}} = \dots$

III.2. Obliczenia (przykładowe – odnoszą się do pomiaru nr 2)

$$S = \frac{\pi d^2}{4} =$$

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{4F}{\pi d^2} =$$

$$\Delta \sigma = \frac{4}{\pi d^2} \Delta F + \frac{8F}{\pi d^3} \cdot \Delta d =$$

$$\varepsilon = \frac{x}{L} =$$

$$\Delta \varepsilon = \frac{\Delta x}{L} + \frac{x}{L^2} \cdot \Delta L =$$

III.3. Wyniki obliczeń

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
σ	[]										
$\Delta \sigma$	[]										
ε	[-]										
$\Delta \varepsilon$	[-]										

III.4. Wykres

IV. Podsumowanie

Na wykresie zależności naprężenia σ w funkcji odkształcenia ε , można poprowadzić prostą przechodzącą przez prostokąty niepewności pomiarowych tylko dla zakresu ε od ... do ... więc zakresem stosowalności prawa Hooke’a jest ... % długości początkowej.

Dodatkowe wnioski, spostrzeżenia, przyczyny niepewności pomiarowych.