

Nazwisko

Data

Nr na liście

Imię

Wydział

Dzień tyg.

Godzina

Ćwiczenie 411

Wyznaczanie modułu Younga za pomocą ultradźwięków

Nazwa materiału		Glin	Drewno	Beton	Szkło organiczne	Miedź
Gęstość, d	[kg/m ³]	2700	728	2100	1200	8890
Długość ciała, l	[m]					
Czas przejścia sygnału, t_i	[μs]					
Średni czas, t	[μs]					
Prędkość, v	[m/s]					
Moduł Younga, E	[GPa]					
Wartość tablicowa*	[GPa]					
Moduł Younga, E						

* szukaj w Tablicach Matematyczno-Fizycznych

Ćwiczenie 411. Wyznaczanie modułu Younga za pomocą ultradźwięków

Definicja modułu Younga

Jeżeli na unieruchomione ciało sprężyste podziałamy siłą, to powstaną w tym ciele naprężenia, wywołujące jego odkształcenie. *Naprężenie* σ w pręcie o przekroju poprzecznym A , na który działa siła \vec{F} (prostopadła bądź styczna do A) równe jest stosunkowi siły do pola przekroju pręta:

$$\sigma = F/A \quad (1)$$

Naprężeniu stawiają opór siły międzycząsteczkowe wewnątrz materiału. Rozróżnia się zwykle trzy rodzaje naprężeń: rozciągające (wydłużają ciało), ściskające (skracają ciało) i ścinające (deformują postać ciała). W ostatnim przypadku siła działa stycznie do powierzchni przekroju.

Zmiana długości pręta spowodowana rozciąganiem lub ściskaniem jest proporcjonalna do jego długości. Jeśli, na przykład, pręt o długości l , rozciągany siłą \vec{F} , zwiększa swoją długość o Δl , rys. 1, to miarą odkształcenia ε jest względna zmiana długości:

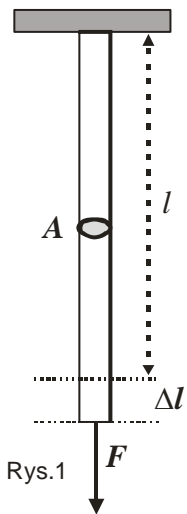
$$\varepsilon = \Delta l/l. \quad (2)$$

Gdy po usunięciu siły \vec{F} ciało wraca do swych wymiarów, to *odkształcenie nazywamy sprężystym*. Przy małych odkształceniach, ε jest proporcjonalne do σ .

$$\varepsilon = \frac{1}{E} \cdot \sigma, \quad (3)$$

gdzie E jest *modułem sprężystości* (nazywanym *modułem Younga*) materiału. Liniowa zależność pomiędzy naprężeniem a odkształceniem znana jest jako *prawo Hooke'a*. Po podstawieniu do (3) wzorów definiujących ε i σ , otrzymamy:

$$\Delta l = \frac{1}{E} \cdot \frac{l}{A} F. \quad (4)$$



A zatem, prawo Hooke'a stwierdza, że podczas rozciągania lub ściskania zmiana długości jest proporcjonalna do działającej siły.

Moduł Younga wyraża się, tak jak naprężenie czy ciśnienie, w paskalach: $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$.

Wyznaczanie modułu Younga za pomocą ultradźwięków

Fale dźwiękowe są to rozchodzące się w ośrodku mechaniczne drgania cząsteczek tego ośrodka. Źródłem dźwięku są obszary ośrodka, w których z jakichś przyczyn występują drgania mechaniczne, a więc wahania naprężenia lub ciśnienia. W ciałach stałych mogą występować różne typy fal dźwiękowych. W gazach i cieczach drgania cząsteczek, związane z falą dźwiękową, odbywają się jedynie zgodnie z kierunkiem ruchu fali (jest to, zatem, fala podłużna).

Drgania cząsteczek ośrodka, ze względu na zakres odbieranych przez ucho ludzkie częstotliwości, dzielimy na: *infradźwięki* ($0 \div 16 \text{ Hz}$), *dźwięki* ($16 \text{ Hz} \div 20 \text{ kHz}$) i *ultradźwięki* (od 20 kHz). Prawa fizyczne dotyczące wymienionych rodzajów drgań są takie same, natomiast ich własności (np. oddziaływanie na materię ożywioną) są różne.

Znane są dwie metody wytwarzania ultradźwięków. Jedną z nich wykorzystuje *zjawisko magnetostrykcji*, które polega na tym, że pręty wykonane z ciał ferromagnetycznych (np. żelazo, nikiel), umieszczone w zmiennym polu magnetycznym, doznają zmian swojej długości w takt zmian pola magnetycznego. Drgania te są szczególnie silne, gdy częstotliwość drgań własnych pręta pokrywa się z częstotliwością zmian pola. Pręt wykonuje wtedy drgania rezonansowe i staje się źródłem ultradźwięków. W ten sposób można wytwarzać ultradźwięki o częstotliwości do 60 kHz . Drugą metodą wytwarzania ultradźwięków, stosowaną w próbnikach materiałów, polega na wykorzystaniu tzw. *odwrotnego zjawiska piezoelektrycznego*. Tą metodą można wytwarzać ultradźwięki o częstotliwościach do około 300 Mhz .

Pewne kryształy, np. kwarc, umieszczone w polu elektrycznym, którego kierunek pokrywa się z odpowiednią osią kryształu, zmieniają swoje wymiary geometryczne w takt zmian pola elektrycznego. Rozmiary kryształu są tak dobrane, aby wykonywał on drgania rezonansowe, czyli aby częstotliwość jego drgań własnych była zgodna z częstotliwością zmian pola elektrycznego.

Próbnik materiałów jest przyrządem przeznaczonym do dokładnego pomiaru czasu t przejścia fal ultradźwiękowych w badanym materiale. Jeżeli droga przejścia fali w danym materiale jest l , to prędkość rozchodzenia się fali sprężystej spełnia zależność

$$v = l/t. \quad (5)$$

Z teorii drgań sprężystych wiemy, że prędkość v fali w ośrodku zależy od modułu Younga E i od gęstości d badanego materiału, zgodnie z wzorem: $v = \sqrt{E/d}$, skąd

$$E = v^2 \cdot d. \quad (6)$$

Mierząc prędkość rozchodzenia się ultradźwięków w ośrodku sprężystym, możemy ze wzoru (6) wyznaczyć moduł Younga.

Wykonanie pomiarów

1. Mierzmy długość l badanego ciała (są to walce bądź klocki prostopadłościennne wykonane z określonych materiałów, takich jak metal, drewno, beton, szkło organiczne).
2. Sprawdź połączenia głowic — nadawczej (transmitującą ultradźwięki, oznaczoną literą **T**) i odbiorczej (rejestrującą ultradźwięki, oznaczoną literą **R**), z próbnikiem materiałów za pomocą kabli koncentrycznych. Głowica nadawcza powinna być podłączona do gniazda płyty czołowej próbnika, oznaczonego symbolem $\ominus \rightarrow$. Głowica odbiorcza powinna być podłączona do gniazda $\rightarrow \ominus$.
3. Próbnik jest podłączony na stałe do zasilacza, który włączamy do sieci prądu zmiennego. Zasilacz ma odpowiednio ustawione napięcie i zakres prądowy i nie można zmieniać tych ustawień.
4. Ustalamy przełącznikiem „**Accuracy**” dokładność pomiarów (wystarcza $\pm 0,1 \mu\text{s}$).
5. Kalibrujemy przyrząd. Polega to na odpowiednim ustawieniu pokrętki zerowania, oznaczonego symbolem $\rightarrow \mathbf{O} \leftarrow$. Między głowicami umieszczamy **wzorcową płytkę metalową w kształcie walca o wysokości około 12 mm** (powierzchnie płytki smarujemy np. kremem do rąk, który sprzęga głowice z płytką). Włączamy zasilanie (przełącznik „**Batt.**” ustawiamy w górnym położeniu) i obracamy pokrętkę zerowania tak, aby wskazanie przyrządu wynosiło $2,0 \mu\text{s}$.
6. Umieszczamy kolejno ciała między głowicami i mierzymy czas przejścia ultradźwięków (powierzchnie smarujemy np. kremem do rąk, który sprzęga głowice z płytką). Po pomiarze zasilanie należy wyłączyć.
7. Obliczamy prędkość rozchodzenia się ultradźwięków w badanym materiale i moduł Younga. Pamiętaj o przeliczeniach jednostek.

Rachunek błędów. Maksymalne błędy bezwzględne Δv i ΔE obliczymy metodą pochodnej logarytmicznej, którą zastosujemy do wzorów (5) i (6). Otrzymujemy wówczas:

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta t}{t}, \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta E}{E} = 2 \frac{\Delta v}{v} + \frac{\Delta d}{d}.$$

Po obliczeniu błędu względnego $\Delta E/E$ (w procentach) należy obliczyć błąd bezwzględny ΔE .

Błędy bezwzględne w powyższych wzorach obliczamy następująco:

- $\Delta l = 1 \text{ mm}$;
- $\Delta t = \max |t - t_i|$, $i = 1, 2, 3$. Jeżeli będzie to mniej niż $0,5 \mu\text{s}$, to podstawić $\Delta t = 0,5 \mu\text{s}$.
- $(\Delta d/d) \cdot 100\% = 1,3\%$.