

Wibracyjna metoda pomiaru dynamicznego modułu Younga z zastosowaniem światłowodowego czujnika odbiciowego

Tomasz Więcek, Leszek Pyziak

Politechnika Rzeszowska, Zakład Optyki Stosowanej, al. Powstańców Warszawy 12, 35-029 Rzeszów

Zygmunt Lech Warsza

Polskie Towarzystwo Metrologiczne

Streszczenie: W pracy opisano metodę pomiaru dynamicznego modułu Younga stalowego elementu ferromagnetycznego. Określono parametry wibracji o częstotliwości rezonansowej wzbudzanej zewnętrznym polem magnetycznym nienamagnesowanego oraz namagnesowanego elementu stalowego. Do badania parametrów wibracji tego elementu zastosowano światłowodowy czujnik odbiciowy. Z badań wyznaczono dynamiczny moduł Younga. Opracowano i wykorzystano teorię opisującą wielkość amplitudy drgającej powierzchni z użyciem oddziaływania pola magnetycznego. Omówiono wnioski dotyczące tej metody wynikające z badań na stanowisku eksperymentalnym i zaproponowano zakres dalszych jej badań.

Słowa kluczowe: czujnik światłowodowy odbiciowy, drgania mechaniczne, moduł Younga, ferromagnetyk

1. Wprowadzenie

Właściwości sprężyste materiałów charakteryzuje się modulem Younga. Odształcenia sprężyste proporcjonalne do naprężenia opisuje prawo Hooke'a [1]. Jeśli materiał podlega naprężeniu zmieniającemu się w czasie, w tym wibracjom, to jego właściwości mechaniczne definiuje dynamiczny moduł sprężystości, zwykle o innej wartości niż moduł statyczny. Przykłady prezentowane są w wielu pracach [2–4]. Wynika stąd, że dynamiczny moduł Younga jest parametrem, który charakteryzuje zmiany adiabatyczne w materiale podlegającym wibracjom. Takie zmiany zachodzą przy szybkich odształceniach badanego materiału próbki, tj. gdy nie ma wymiany ciepła z otoczeniem. Natomiast moduł statyczny stosowany jest w warunkach izotermicznych, tj. opisuje powolne odształcenia, które zachodzą przy stałej temperaturze ośrodka.

Dynamiczny moduł sprężystości ma zwykle wartość większą niż moduł statyczny. Różnica ta wynika z charakterystyki tłumienia drgań w próbce badanego materiału. Badania dynamicznych właściwości sprężystych materiału służą głównie wyznaczeniu zależności opisujących jego wytrzymałość. Dalej zostaną opisane podstawowe metody stosowane w takich bada-

niach oraz zaproponowana zostanie nowa metoda pomiaru wibracji badanego elementu z zastosowaniem bezstykowego odbiciowego czujnika laserowego o specjalnej konstrukcji.

2. Impulsowe metody badania sprężystości materiałów

W badaniach sprężystych właściwości materiałów zwykle stosuje się metody impulsowe. Dzieli się one na metody ultradźwiękowe i młoteczkowe. Podział ten wiąże się też z częstotliwością generowanych impulsów. W metodach ultradźwiękowych stosuje się aparaturę, która generuje impulsy o częstotliwości powyżej 20 kHz. Natomiast w metodzie młoteczkowej lub impulsowo-młoteczkowej stosuje się impulsy wywoływane uderzeniami młotka elektromechanicznego. Zasady stosowania obu metod impulsowych są podobne.

2.1. Metoda ultradźwiękowa

Wyznaczanie dynamicznego modułu Younga z użyciem techniki ultradźwiękowej wymaga wprowadzania impulsu ultradźwiękowego lub dźwiękowego do próbki z badanego materiału. Impuls ten przebiega określoną drogą z prędkością zależną od właściwości materiału i jego jakości. Moduł dynamiczny sprężystości materiału jest funkcją prędkości rozchodzenia się fal ultradźwiękowych. Jego związek z wytrzymałością materiału jest zwykle znany, lub też wyznacza się go eksperymentalnie. Jest on opisany w wielu pracach [2, 5, 6].

Głównym kryterium oceny jakości materiału przy użyciu metody ultradźwiękowej jest prędkość rozchodzenia się w nim fali podłużnej. Dokładność pomiaru prędkości tej fali zależy od dokładności pomiaru drogi impulsu i od dokładności pomiaru czasu jego przejścia. Interpretację obrazu impulsu otrzymanego

Autor korespondujący:

Tomasz Więcek, ftkwiece@prz.edu.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 07.04.2025 r., przyjęty do druku 28.01.2026 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Int.

po przejściu fali ułatwia wystarczająco dokładna znajomość jej prędkości w badanym materiale. Dlatego parametry aparatury ultradźwiękowej dobiera się tak, aby pomiar tej prędkości był możliwie najdokładniejszy. Długości drogi fali zależy od wymiarów elementu badanego. Błąd pomiaru tej długości w badaniach laboratoryjnych wynosi około 1 %, ale może być też większy.

Technikę ultradźwiękową stosuje się dość powszechnie do wyznaczania modułu sprężystości – przykład podano w pracy [14].

2.2. Dokładność pomiaru czasu

Dokładność pomiaru czasu przebiegu fali ultradźwiękowej zależy od:

- zastosowanej częstotliwości pomiarowej przetwornika drgań elektrycznych na mechaniczne i związanej z tym kierunkowości fal,
- charakterystyki tłumienia materiału oraz
- sposobu sprzężenia z materiałem przetworników nadawczego i odbiorczego.

Istotne jest, aby dążyć do zapewnienia kontaktu na całej powierzchni przetwornika. Jest to możliwe dzięki wygładzeniu powierzchni styku, a także zastosowaniu odpowiednich ośrodków sprzęgających. Niezależnie od tego, aparatura musi mieć wyznaczone dokładnie wskaźniki czasu oraz system gwarantujący ich stabilność podczas pomiarów.

Badania modułu sprężystości w sposób nieniszczący materiał prezentowane są w pracach [5–12]. Bezkontaktowy pomiar modułu Younga przedstawiany jest w pracy [10]. Do generacji fal sprężystych w materiale wzmocnionym ciągłymi włóknami stosuje się krótkie impulsy laserowe. Za pomocą interferometru optycznego mierzy się w sposób bezdotykowy czas przebiegu tych fal w różnych kierunkach (technika punkt-źródło-punkt-odbiornik). Na podstawie tych danych wyznacza się pięć niezależnych składowych całkowitego tensora sprężystości włókna jednokierunkowego. Technika impulsów laserowych ma kilka zalet: jest bezdotykowa, nieniszcząca i można stosować ją w kontroli jakości on-line w procesach produkcyjnych.

W pracy [3] wykorzystano technikę impulsową do bezkontaktowego pomiaru modułu sprężystości. Konfigurację wzbudzenia impulsowego oparto na normie ASTM E-1876. Próbkę umieszcza się na konstrukcji z podporami i od góry zadaje się impuls mechaniczny. W pobliżu próbki znajduje się mikrofon do odbioru sygnału po uderzeniu impulsowym. Jest on podłączony do komputera z oprogramowaniem LabVIEW przekształcającym ten sygnał na częstotliwość.

Podobną prostą metodę pomiaru reakcji wibracyjnej cienkowarstwowej membrany zastosowano też w pracy [12]. Piezoelektryczne wzbudzenie i detekcję akustyczną (za pomocą mikrofonu) umożliwiają wykonywanie badań widma drgań cienkich membran w zakresie kHz. Do wyznaczania modułu Younga cienkich próbek (μm) wykorzystano częstotliwości wibracji naprężonych super-cienkich folii polistyrenowych.

W artykule zostanie omówiona nowa propozycja zdalnego, bezstykowego sposobu wyznaczania dynamicznego modułu Younga z użyciem światłowodowego czujnika odbiciowego.

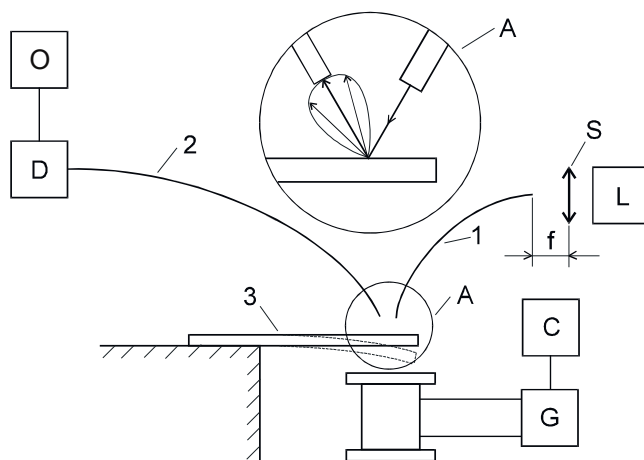
3. Zastosowanie czujnika światłowodowego w badaniach wibracyjnych

Czujniki światłowodowe stosowane są między innymi w biologii, medycynie i technice [13]. Jednym z ważniejszych zastosowań jest kontrola parametrów wibracji mechanicznej. W pracy [5] częstotliwość rezonansowa wykrywana jest też za pomocą samej wiązki laserowej bez użycia światłowodów. Natomiast

w pracy [8] rozproszone światło laserowe zastosowano do monitorowania modułu Younga w czasie twardnienia żelu.

W niniejszej pracy opisuje się wykorzystanie czujnika światłowodowego do pomiaru rezonansu drgań mechanicznych. koncepcja ta obejmuje użycie w pomiarach pary światłowodów do obserwacji amplitudy drgań powierzchni rozpraszającej światło. Sygnał optyczny otrzymuje się po przejściu wiązki laserowej przez parę włókien światłowodowych ustawionych nierównolegle względem siebie. Eksperymentalny układ pomiarowy pokazano na rys. 1.

Światło laserowe z włókna (1) jest skierowane na drgającą powierzchnię. Zmiana położenia powierzchni elementu stalowego



Rys. 1. Układ pomiarowy: L – laser półprzewodnikowy, S – soczewka, D – fotodetektor, 1–2 – światłowód, 3 – element mechaniczny, G – generator, C – częstotłomiernik

Fig. 1. Measuring system: L – semiconductor laser, S – lens, D – photodetector, 1, 2 – optical fibers, 3 – mechanical element, G – generator, C – frequency meter

powoduje zmianę przestrzennego rozkładu światła. Rozproszone na tej powierzchni światło pada do włókna światłowodowego (2) i dochodzi do fotodiody D jako sygnał optyczny. Największą amplitudę drgań osiąga element mechaniczny żelazny (stal narzędziowa) przy jego częstotliwości rezonansowej. Wartość amplitudy otrzymywanego z fotodiody D sygnału elektrycznego można obserwować na oscyloskopie oraz mierzyć i rejestrować w układzie pomiarowym. Jest ona największa dla częstotliwości rezonansowej.

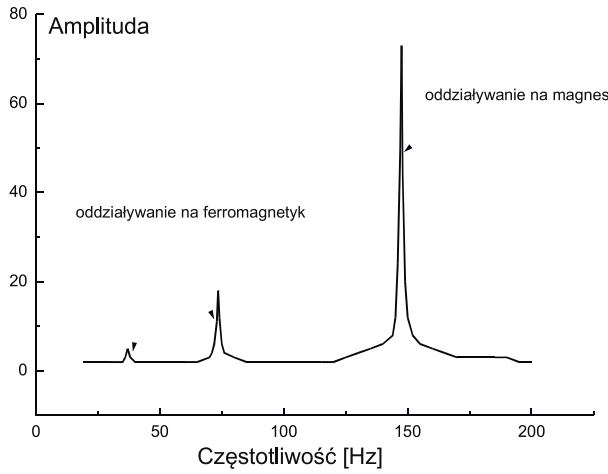
4. Wyniki pomiarów

Do rejestracji amplitudy drgań powierzchni badanej próbki wykorzystano układ pomiarowy przedstawiony na rys. 1. Mierzono nim częstotliwość wibracji w zakresie 10–400 Hz z dokładnością 0,1 Hz oraz ich amplitudę drgań. Otrzymane doświadczalnie maksymalne wartości amplitudy drgającej powierzchni dla różnych częstotliwości pola magnetycznego przedstawia rys. 2.

4.1. Podstawy teoretyczne metody

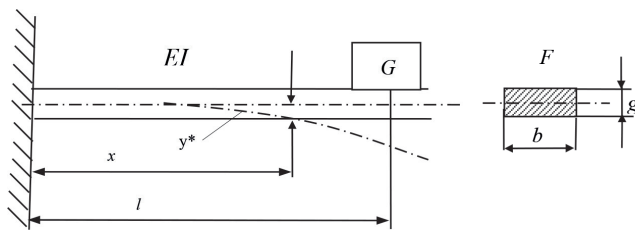
Częstotliwość rezonansową elementu stalowego uzyskuje się dzięki użyciu przemiennej pola magnetycznego o regulowanej częstotliwości. Każdy element ferromagnetyczny stalowy charakteryzuje się magnetyzmem szczątkowym. Nawet po specjalnym jego rozmagiesowaniu, po pewnym czasie nastąpi ponowne namagnesowanie wskutek działania ziemskiego pola magnetycznego.

W opisywanej metodzie, powstające pod wpływem pola magnetycznego drgania belki o przekroju prostokątnym, badano



Rys. 2. Widmo amplitudowe drgającej powierzchni

Fig. 2. Amplitude spectrum of the vibrating surface



Rys. 3. Badana belka poddawana vibracji; F – pole przekroju, b – szerokość belki, g – grubość belki, l – długość belki

Fig. 3. The beam subjected to vibration, F – its cross-sectional area, b, g and l – its width, thickness and length

za pomocą odbitego od niej sygnału optycznego. Sygnał ten doprowadzono do oscyloskopu dwoma odcinkami światłowodu. Na ekranie oscyloskopu odczytuje się amplitudę zmian i częstotliwość tego sygnału. Maksymalne odchylenie tej belki dla określonej częstotliwości zawiera informacje, że przedmiot drgający jest w rezonansie. Dla różnych wartości częstotliwości f pola magnetycznego za pomocą oscyloskopu mierzy się maksymalną amplitudę A sygnału optycznego. Z jej wartości wyznacza się częstotliwość drgań własnych belki o długości l oraz jej sztywność na zginanie EI .

W metodzie tej występują swobodne nietłumione drgania belki. W takim przypadku występuje równość energii kinetycznej E i potencjalnej V [15, 16] w postaci zależności $E_{\max} = V_{\max}$.

Energję kinetyczną E i potencjalną V układu opisują następujące wyrażenia:

$$E = \frac{1}{2} \frac{G}{g} \dot{y}^2 + \frac{1}{2} \int_0^l \rho F \dot{y}^2 dx \quad (1)$$

$$V = \frac{1}{2} \frac{3EI}{l^3} y^2 \quad (2)$$

gdzie: $\dot{y} = \frac{dy}{dt}$.

Zginanie belki opisuje się równaniami:

$$y(t, x) = y(x) \sin(\omega t) \quad (3)$$

$$\dot{y}(t) = y(x) \omega \cos(\omega t)$$

gdzie: $y(x)$ – funkcja opisująca odkształcenie belki o ciężarze G powstające w rezultacie działania siły P w zakresie sprężystości, tj. bez trwałego jej uszkodzenia, ω – częstotliwość drgań belki.

Funkcja $y(x)$ spełnia warunki brzegowe, tj. dla $x = 0$, $y(0) = 0$, a także dla $x = l$, $dy/dx = 0$. Wówczas otrzymuje się:

$$y(x) = \frac{Pl^3}{3EI} \left[\frac{3}{2} \left(\frac{x}{l} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right] \quad (4)$$

Maksymalne wartości energii kinetycznej i potencjalnej są opisane poniższymi wzorami dla $x = l$

$$E = \frac{1}{2} \frac{G}{g} \left(\frac{Pl^3}{3EI} \right)^2 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{x}{l} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right]^2 \omega^2 + \frac{1}{2} \int_0^l \rho F \left(\frac{Pl^3}{3EI} \right)^2 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{x}{l} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right]^2 \omega^2 dx$$

$$E_{\max} = \frac{1}{2} \left(\frac{Pl^3}{3EI} \right)^2 \left\{ \frac{G}{g} \omega^2 + \frac{\rho F \omega^2}{l^4} \left[\int_0^l 9x^4 dx - \int_0^l 6 \frac{x^5}{l} dx + \int_0^l 6 \frac{x^6}{l^2} dx \right] \right\} = \frac{1}{2} \left(\frac{Pl^3}{3EI} \right)^2 \omega^2 \left(\frac{G}{g} + \frac{33}{140} \rho F l \right) \quad (5)$$

$$V = \frac{1}{2} \frac{3EI}{l^2} \left(\frac{Pl^3}{3EI} \right)^2 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{x}{l} \right)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right]^2$$

$$V_{\max} = \frac{1}{2} \frac{3EI}{l^2} \left(\frac{Pl^3}{3EI} \right)^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{Pl^3}{3EI} \right)^2 \quad (6)$$

Z porównania obu energii $E_{\max} - V_{\max} = 0$ wynika

$$\omega^2 = \frac{3EI}{l^3} \frac{140g}{140G + 33\rho Flg} \left[\frac{rad}{s} \right] \quad (7)$$

Dla $G = 0$ otrzymuje się częstotliwość drgań własnych belki, obliczaną z zależności:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{3EI}{l^3} \frac{140}{33\rho Fl} \right)} \quad (8)$$

gdzie

$$I = \frac{bg^3}{12} \quad (9a)$$

$$f^2 = \frac{3EI \cdot 35}{33\pi^2 \rho Fl^4} \quad (9b)$$

Zależność (9b) jest nieliniowa. Można ją zlinearyzować. Zgodnie z sugestią zawartą w pracy [17] łatwiejsze staje się wówczas wyznaczenie, na podstawie wyników pomiarów, parametrów linii prostej metodą regresji liniowej i jej pasma niepewności. Po podstawieniu $f^2 = y$ oraz $\frac{1}{l^4} = x$ otrzymuje się linię prostą $y = ax$.

4.2. Przykład

Dane pomiarowe przedstawione są w tabeli 1, natomiast rys. 4 przedstawia otrzymaną dla tych danych zależność (9b), a rys. 5 – jej linearyzację.

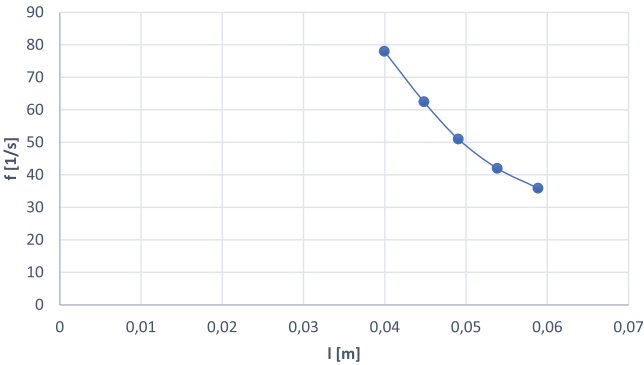
Tabela 1. Zmiana częstotliwości f w funkcji długości belki l / Table 1. Frequency f of the beam vibration as a function of its length l

Lp.	f [Hz]	l [m]
1	35,9	0,05886
2	42,0	0,05384
3	51,0	0,04905
4	62,5	0,04481
5	78,0	0,03994

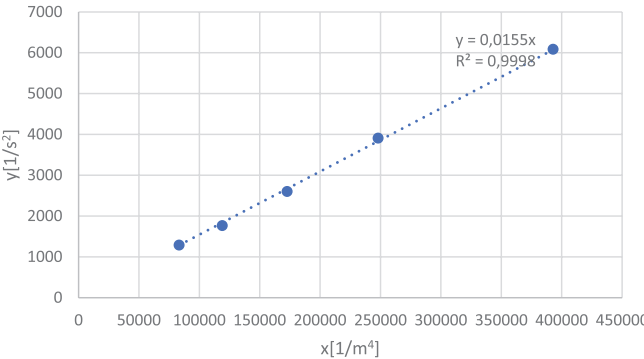
Współczynnik kierunkowy a prostej i moduł Younga E. wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów. Na podstawie danych elementu drgającego o parametrach:

g = (0,150 ±0,001) · 10⁻³ m,
b = (9, 99 ±0,01) · 10⁻³ m,
ρ = (8011 ±53) kg/m³

obliczany jest moduł Younga E.



Rys. 4. Zależność f = f(l) / Fig. 4. Dependence of the beam vibration frequency on its length f = f(l)



Rys. 5. Zależność y = f(x) / Fig. 5. The relationship y = f(x)

Współczynnik kierunkowy prostej wynosi

a = (0,01546 ±0,00013) m⁴/s²

a = $\frac{3EI \cdot 35}{33\pi^2 \rho F}$ (10)

Przekształcając powyższą zależność obliczamy moduł E

E = $\frac{33a\pi^2 \cdot 12\rho gb}{3 \cdot 35bg^3} = \frac{33a\pi^2 \cdot 4\rho}{35g^2} =$
 $= \frac{0,01546\pi^2 \cdot 33 \cdot 8011 \cdot 4}{0,00015^2 \cdot 35} = 204,9 \text{ GPa}$ (11)

Niepewność standardowa

u(E) = $\sqrt{\left(\frac{\partial E}{\partial a} u(a)\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial \rho} u(\rho)\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial g} u(g)\right)^2}$
 $u(E) = \sqrt{\left(\frac{132\pi^2 \rho}{35g^2} u(a)\right)^2 + \left(\frac{132\pi^2 a}{35g^2} u(\rho)\right)^2 + \left(-\frac{264\pi^2 a}{35g^3} u(g)\right)^2} = 2,2 \text{ GPa}$ (12)

Niepewność rozszerzona wynosi:

U(E) = 2 · u(E) = 2 · 2,2 GPa = 4,4 GPa.

5. Podsumowanie i wnioski

W pracy opisano wibracyjną metodę pomiaru dynamicznego modułu Younga. Belka metalowa ferromagnetyczna jest pobudzana do wibracji polem magnetycznym o zmiennej częstotliwości i wchodzi w rezonans, gdy częstotliwość wymuszająca jest zgodna z częstością jej drgań własnych. Częstotliwości rezonansowe belki rejestrowano dla różnych jej długości.

Wartość modułu Younga i jego odchylenie standardowe określono metodą najmniejszych kwadratów.

W układzie pomiarowym zastosowano laserowy światłowodowy czujnik odbiciowy do kontroli amplitudy światła rozpraszanego przez powierzchnię drgającej belki. Metoda jest bezstykowa i nadaje się do obserwacji drgań swobodnych tłumionych belki wykonanej z dowolnego materiału i w dowolny sposób pobudzanej do drgań.

Metoda ta może więc być zastosowana zarówno w badaniach właściwości mechanicznych różnych materiałów, jak i w kontroli produkcji.

Bibliografia

1. Cottrell A.H., *The mechanical properties of matter*, John Wiley & Sons, New York, 1964.
2. Wang L., Rybacki E., Bonnelye A., Bohnhoff M., Dresen G., *Experimental Investigation on Static and Dynamic Bulk Moduli of Dry and Fluid-Saturated Porous Sandstones*, “Rock Mechanics and Rock Engineering”, Vol. 54, 2021, 129–148, DOI: 10.1007/s00603-020-02248-3.
3. Chio W.H., Amares S., *Development of a low-cost non-destructive test system for measurement of elastic modulus*, “Journal of Physics: Conference Series”, Vol. 2523, 2023, DOI: 10.1088/1742-6596/2523/1/012009.

4. Holt R.M., Fjær E., Bauer A., *Static and dynamic moduli – so equal, and yet so different*, 47th US Rock Mechanics/ Geomechanics Symposium, 2013, 2252–2259.
5. Bolborea B., Baera C., Dan S., Gruin A., Burduhos-Nergis D.-D., Vasile V., *Concrete Compressive Strength by Means of Ultrasonic Pulse Velocity and Moduli of Elasticity*, “Materials”, Vol. 14, No. 22, 2021, DOI: 10.3390/ma14227018.
6. Chen J., Wang X., Yang X., Zhang L., Wu H., *Application of Air-Coupled Ultrasonic Nondestructive Testing in the Measurement of Elastic Modulus of Materials*, “Applied Sciences”, Vol. 11, No. 19, 2021, DOI: 10.3390/app11199240.
7. Hunt A.J., Ayers M.R., *Investigation of silica alcogel aging using coherent light*, “Journal of Non-Crystalline Solids”, Vol. 285, No. 1-3, 2001, DOI: 10.1016/S0022-3093(01)00448-3.
8. Kabayashi T., Ohsava J., Hara T., Yamaguchi N., *Contactless measurement using laser beam excitation and detection of vibration of thin-film microresonators*, “Japanese Journal of Applied Physics”, Vol. 43, No. 3R, 2004, 1178–1182, DOI: 10.1143/JJAP.43.1178.
9. Nowak T., Patalas F., Karolak A., *Estimating Mechanical Properties of Wood in Existing Structures- Selected Aspects*, “Materials”, Vol. 14, No. 8, 2021, DOI: 10.3390/ma14081941.
10. Burgholzer P., Hofer C., Breitingner B., Mohammed A., Degischer H.P., Loidl D., Schulz P., *Non-contact determination of elastic moduli of continuous fiber reinforced metals*, “Composites Science and Technology”, Vol. 65, No. 2, 2005, 301–306, DOI: 10.1016/j.compscitech.2004.07.011.
11. Senapati S., Shah A., Patra P.K., Mahato M., *Measurement of elastic modulus of CNT composites: a nondestructive study*, “Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures”, Vol. 30, No. 2, 2021, 290–296, DOI: 10.1080/1536383X.2021.1936506.
12. Roberts N.M., Sharp J.S., *Piezoelectric excitation and acoustic detection of thin film polymer membrane vibrations*, “Physical Review E”, Vol. 109, 2024, DOI: 10.1103/PhysRevE.109.014802.
13. Bailey D., Wright E., *Practical Fiber Optics*, Elsevier, 2003.
14. Sachin Raj P.V., Kumaresh Babu S.P., *High-temperature corrosion behavior of BaCeO₃ in Na₂SO₄ + V₂O₅ salt mixture*, “Next Materials”, Vol. 7, 2025, DOI: 10.1016/j.nxmte.2024.100374.
15. Pain H.J., *The Physics of Vibration and Waves*, John Wiley & Sons, 2005.
16. William J. Palm III., *Mechanical vibration*, John Wiley & Sons, 2007.
17. Warsza L.Z., Puchalski J., Więcek T., *Novel method of fitting a nonlinear function to measurement data based on linearization by change variables, examples and uncertainty*, “Metrology”, Vol. 4, No. 4, 2024, 718–735, DOI: 10.3390/metrology4040042.

Vibration-Based Method of Measuring the Dynamic Young's Modulus Using a Fiber-Optic Reflectance Sensor

Abstract: This paper describes a method for measuring the dynamic Young's modulus of a ferromagnetic steel element. The vibration parameters at the resonant frequency induced by an external magnetic field are studied for both unmagnetized and magnetized steel elements. A reflective fiber optic sensor was used to study the vibration parameters of this element. From these studies, the dynamic Young's modulus was determined. A theory describing the amplitude of a vibrating surface using magnetic field interaction was developed and applied. Conclusions resulting from experimental tests are discussed, and the scope of further research on this method is proposed.

Keywords: reflective fiber optic sensor, mechanical vibrations, Young's modulus, ferromagnetic material

dr hab. inż. Tomasz Więcek

ftkwiece@prz.edu.pl

ORCID: 0000-0002-4776-9357

Absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Rzeszowskiej 1978, doktorat 1986, doktor habilitowany 2014. Praca w Katedrze Fizyki Politechniki Rzeszowskiej na stanowiskach: asystenta 1978–1986, adiunkta 1986–2012, starszego wykładowcy 2012–2014 i profesora Politechniki Rzeszowskiej od 2014 r. Ponadto: Prezes Zarządu Fundacji Nauka dla Przemysłu i Środowiska od 1992 r., redaktor naczelny czasopisma Informatyka Automatyka Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska 2008–2011, oraz członek Polskiego Towarzystwa Fizycznego i Polskiego Stowarzyszenia Fotonicznego. Autor trzech patentów i 70 publikacji naukowych.



dr Leszek Pyziak

l.pyziak@prz.edu.pl

ORCID: 0000-0003-4898-8911

Absolwent kierunku Nauczanie Fizyki i Informatyki na Wyższej Szkole Pedagogicznej w Rzeszowie. Doktor w dziedzinie nauk fizycznych w dyscyplinie: fizyka i specjalność optyka informacyjna (Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, 2015). Od 2016 r. pracownik Zakładu Optyki Stosowanej na Wydziale Matematyki i Fizyki Stosowanej Politechniki Rzeszowskiej. Zainteresowania naukowe: optyczne metody pomiarów właściwości mechanicznych materiałów, w tym o pochodzeniu biologicznym.



doc. dr inż. Zygmunt Lech Warsza

zlw1936@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3537-6134

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej 1959, doktorat 1967, docent od 1970. Praca: Instytut Elektrotechniki 1958–1963 i 1994–1995, Politechnika Warszawska 1960–1970, Politechnika Świętokrzyska 1970–1978 (organizator i dziekan Wydziału Transportu w Radomiu), Organizator i kierownik: Ośrodka Aparatury Pomiarowej w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej 1978–1982 oraz Zakładu Automatykacji i Pomiarów w Instytucie Chemii Przemysłowej 1983–1992. Doradca Ministra Edukacji Narodowej 1992–1995, Politechnika Radomska 1983–2002, główny specjalista w Sieci Badawczej Łukasiewicz – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP 2010–23, doradca Prezesa GUM 2016/17. Autor 475 publikacji naukowych (190 ang.), dwóch własnych monografii i rozdziałów w 25 innych oraz w książce, kilkudziesięciu prac badawczych i konstrukcyjnych, 11 patentów, promotor dwóch doktorów. Członek stowarzyszeń: Polskie Towarzystwo Metrologiczne (prezes), POLSPAR, Akademia Metrologii Ukrainy.

