

LABORATORYJNE URZĄDZENIE DO POMIARU AKUSTYCZNYCH PARAMETRÓW MATERIAŁÓW

Andrzej Wesołowski

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. W pracy przedstawiono zaprojektowane, wykonane i wstępnie przetestowane urządzenie wyposażone w moduł pomiarowy pozwalający na precyzyjne wyznaczenie drogi i czasu przejścia fali ultradźwiękowej przez materiał. Moduł pomiarowy pozwala na łatwą i szybką wymianę głowic ultradźwiękowych niezależnie od ich kształtu.

Słowa kluczowe: badania nieniszczące, prędkość propagacji fali ultradźwiękowej, badania ultradźwiękowe

OZNACZENIA

δ – niepewność bezwzględna pomiaru wielkości,
 c – prędkość propagacji fali ultradźwiękowej, m/s,
 d – droga przebyta przez falę ultradźwiękową, m,
 t – czas przejścia fali ultradźwiękowej przez materiał, s,
 t_α – wartość rozkładu t-Studenta,
 \hat{S} – odchylenie standardowe nieobciążone, m/s.

WSTĘP

Nieinwazyjne badania materiałów polegają na wytwarzaniu, a następnie detekcji fali ultradźwiękowej po przejściu przez badany ośrodek. Parametry fali ultradźwiękowej są dobrane w taki sposób, aby nie naruszać struktury i nie zmieniać właściwości badanego materiału [Śliwiński 2001]. Jest to szczególnie ważne w przypadku badań materiałów biologicznych. Naruszenie lub zniszczenie struktury może powodować ich dyskwalifikację. Dlatego do badań tego rodzaju materiałów stosuje się ultradźwięki o natężeniu poniżej 1 W/m² [McClemens 1995]. Materiały biologiczne ze względu na swoją budo-

Adres do korespondencji – Corresponding author: Andrzej Wesołowski, Katedra Inżynierii Procesów Rolniczych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, 10-957 Olsztyn, ul. Heweliusza 14, Tel. 89 523 36 07, e-mail: ika@uwm.edu.pl

wę i skład w większości charakteryzują się wysokim współczynnikiem tłumienia fal ultradźwiękowych.

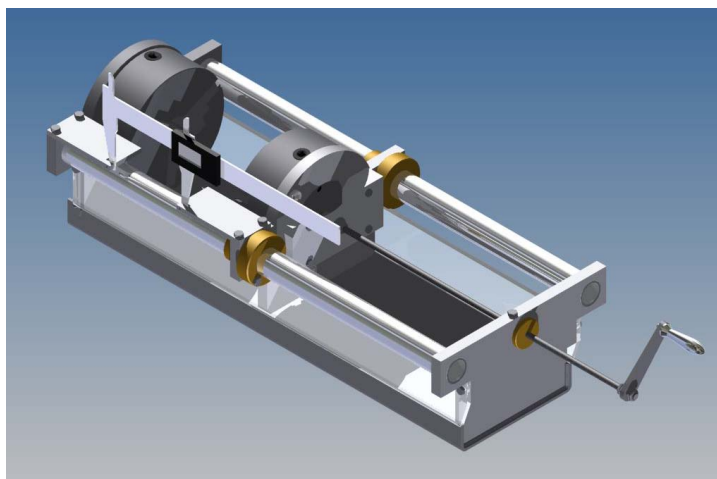
Ogranicza to zastosowanie do ich badania ultradźwięków o dużej częstotliwości, ponieważ dla większości ciał stałych tłumienie jest proporcjonalne do częstotliwości fal ultradźwiękowych [Obraz 1983]. Pomiary głowicami ultradźwiękowymi o dużej częstotliwości pozwalają, co prawda, na uzyskanie czytelnych przebiegów, w których stosunek poziomu sygnału do poziomu szumu jest wysoki, ale rosnące wraz z częstotliwością straty energii spowodowane szczególnie zjawiskami rozpraszania uniemożliwiają często odczyt sygnału po przejściu przez materiał. Dlatego do badań materiałów biologicznych stosuje się ultradźwięki o częstotliwościach do kilku MHz [Mason i in 1996, Knorr i in 2004, Saggin i Coupland 2001]. Konsekwencją tego jest otrzymanie sygnału zaburzonego zakłóceniami. W celu ich zminimalizowania należy dołożyć wszelkich starań, aby nie wprowadzać do systemu dodatkowych zakłóceń spowodowanych nieprecyzyjnym ustawieniem głowic. Układ pomiarowy powinien zatem zapewniać:

- precyzyjny pomiar odległości między głowicami,
- współosiowość głowic,
- równoległość płaszczyzn głowic,
- możliwość szybkiej wymiany głowic o różnych wymiarach.

Celem pracy było zaprojektowanie, wykonanie i przetestowanie laboratoryjnego urządzenia, które zapewni jak największą precyzję i ergonomię oraz powtarzalność pomiarów czasu przejścia i drogi fali ultradźwiękowej.

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA

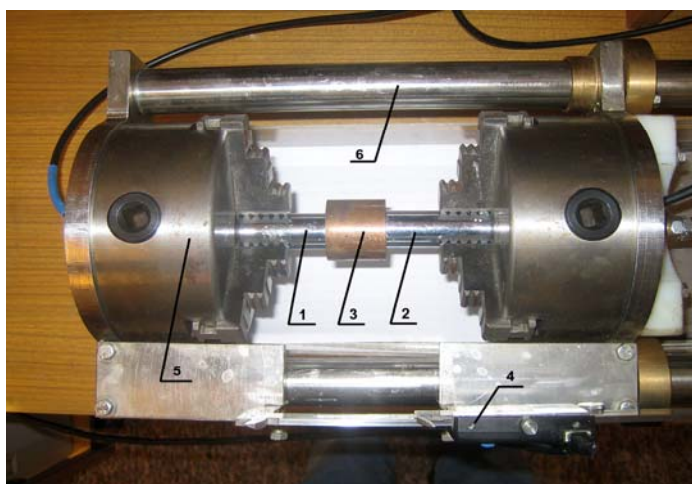
Urządzenie pomiarowe (rys. 1) jest elementem laboratoryjnego stanowiska do badań nieniszczących materiałów biologicznych [Wesółowski 2009].



Rys. 1. Urządzenie pomiarowe (opracowanie własne)
Fig. 1. Measuring device

Jego głównym elementem jest moduł pomiarowy (rys. 2). Moduł składa się z dwóch głowic ultradźwiękowych, ustawionych naprzeciwko siebie.

Współosiowość oraz równoległość płaszczyzn pomiarowych głowic zapewnia ich mocowanie w dwóch samocentrujących uchwytach tokarskich. Jedna z głowic mocowana jest w uchwycie stałym, nieruchomym. Druga natomiast jest mocowana w uchwycie ruchomych.



Rys. 2. Moduł pomiarowy (opracowanie własne): 1 – głowica nadawcza, 2 – głowica odbiorcza, 3 – badany materiał, 4 – suwmiarka elektroniczna, 5 – uchwyt tokarski samocentrujący, 6 – przewodnica

Fig. 2. Measuring module: 1 – sending transducer, 2 – receiving transducer, 3 – investigated material, 4 – electronic digital caliper, 5 – wedge-type chuck, 6 – slideway



Rys. 3. Boczne i osiowe złącze BNC (źródło: Panametrics-ndt)

Fig. 3. Side and straight BNC connection

Uchwyt ruchomy może przesuwać się wzdłuż dwóch poziomych przewodnic, co zapewnia prawidłowe ustawienie głowic niezależnie od odległości między nimi. Odległość pomiędzy głowicami można zmieniać płynnie w zakresie od 0–400 mm.

Zamocowanie w uchwytach tokarskich pozwala na zastosowanie głowic ultradźwiękowych o średnicach do 30 mm z osiowym złączem BNC oraz do 75 mm ze złączem bocznym (rys. 3).

MATERIAŁ I METODY

Sygnal z generatora fal ultradźwiękowych (model 5800 PR, Panametrics, Waltham, MA) podawany jest na głowicę nadawczą. Po przejściu przez badany materiał sygnał ultradźwiękowy odbierany jest przez głowicę odbiorczą. Pomiar czasu przejścia fali z dokładnością do 0,001 μ s umożliwia przebieg widoczny na ekranie oscyloskopu (model Tektronix TDS 1012B, Tektronix Inc., Wilsonville, OR). Jednocześnie suwmiarka elektroniczna wyposażona w specjalistyczne oprogramowanie Suwmix 1.2 (PHUP Dzierżak) pozwala na bieżący odczyt i rejestrację odległości pomiędzy głowicami z dokładnością do $\pm 0,01$ mm. Tak precyzyjne pomiary pozwalają na wyznaczenie prędkości fali ultradźwiękowej w badanym materiale z dużą dokładnością.

Prędkość fali ultradźwiękowej wyznaczano z zależności (1):

$$c = d \cdot t^{-1} \quad (1)$$

Do badań testowych mających na celu wyznaczenie prędkości rozchodzenia się fal ultradźwiękowych w materiale wzorca użyto 10 μ s wzorca stalowego w kształcie walca oraz pary głowic o częstotliwości 2 MHz. Do określenia niezbędnej ilości powtórzeń n_{\min} wykorzystano metodę reprezentacyjną [Hellwig 1998, Greń 1984] (2).

$$n_{\min} \geq t_{\alpha}^2 \cdot \hat{S}^2 \cdot \delta c^{-2} \quad (2)$$

Po przeprowadzeniu 12 pomiarów wstępnych przy założonym błędzie $\delta c = 2$ m/s wyznaczono minimalną ilość pomiarów wynoszącą $n_{\min} = 70$.

Po przeprowadzeniu 70 pomiarów otrzymano średni czas przejścia fali ultradźwiękowej wynoszący $t = 10,090$ μ s. Średnia wysokość wzorca wynosiła 58,82 mm. Prędkość fali ultradźwiękowej wyznaczona z zależności (1) wyniosła $c = 5830$ m/s. Dla podanych wartości z równania (3) wyznaczono błąd bezwzględny wyznaczenia prędkości, który wynosił $\delta c = 1,57$ m/s, co stanowi zaledwie 0,02% wartości obliczonej.

$$|\delta c \cdot c^{-1}| = |\delta d \cdot d^{-1}| + |\delta t \cdot t^{-1}| \quad (3)$$

Podawana w literaturze prędkość fali ultradźwiękowej w stali w zależności od jej rodzaju wynosi 5800–6000 m/s [Blitz 1967, Deputat 1979, Mataushek 1961, Obraz 1983]. Otrzymane wyniki są więc w pełni zgodne z ogólnie uznawanymi wartościami i są obarczone pomijalnie małym błędem.

ANALIZA I WERYFIKACJA WYNIKÓW

W celu empirycznej weryfikacji wyników uzyskiwanych dzięki zastosowaniu urządzenia przeprowadzono szereg pomiarów. W pierwszej kolejności wykonano pomiary prędkości propagacji fali ultradźwiękowej w materiałach, dla których wielkość ta jest znana. Zastosowano wzorce: stalowy, aluminiowy, mosiężny i miedziany. Jednocześnie badaniom poddano próbki jabłka odmiany Lobo i ziemniaka odmiany Wawrzyn (tab. 1). We wszystkich przypadkach, jako materiał sprzęgający zastosowano wodę destylowaną. Otrzymane wyniki nie odbiegają od podawanych w literaturze [Blitz 1967, Deputat 1979, Mataushek 1961, Obraz 1983]. Minimalne różnice wynikają ze składu poszczególnych materiałów. Dostępne dane tabelarycznie bowiem nie zawierają informacji na temat składu badanych materiałów. Analiza danych zamieszczonych w tabeli 1 pokazuje, że otrzymane wyniki są obarczone niewielkimi niepewnościami, o czym świadczą wartości odchylenia standardowego. Największą jego wartość otrzymano dla jabłka i wynosiła ona 13 m/s, co stanowi zaledwie 1,7% wartości średniej prędkości ultradźwięków. Najmniejszą wartość odchylenia standardowego otrzymano natomiast dla stali i miedzi i stanowiła ona 0,1% wartości średniej prędkości ultradźwięków. Wyniki świadczą o wyjątkowo dużej powtarzalności pomiarów.

Tabela 1. Prędkości propagacji fali ultradźwiękowej dla wybranych materiałów
Table 1. The speeds of propagation of ultrasonic wave for some chosen materials

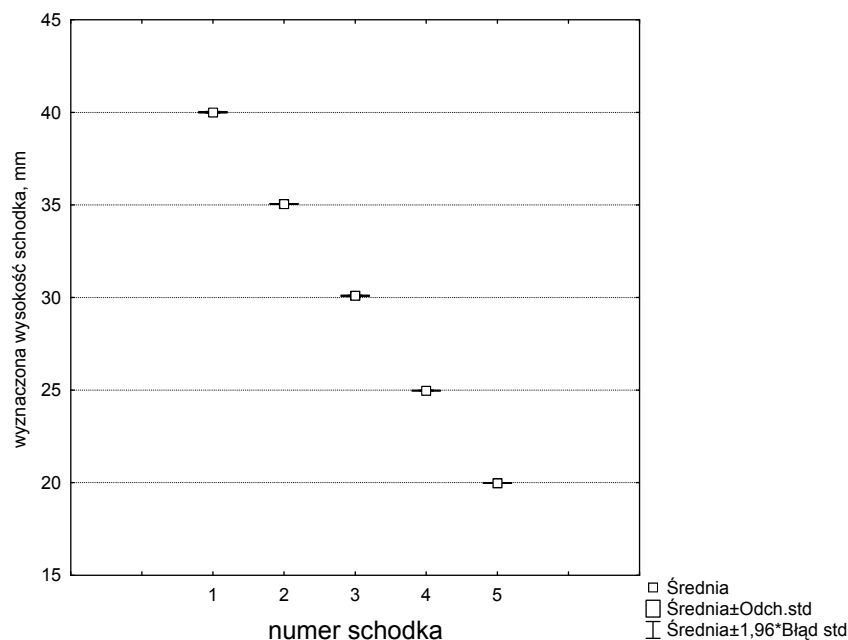
Material – Material	Średnia prędkość fali ultradźwiękowej Mean speed of ultrasonic wave m/s	Prędkość fali ultradźwiękowej podawana w literaturze Ultrasonic wave speed published in the literature m/s
Stal – Steel	5839 ⁽¹⁾ ± 7 ⁽²⁾	5800 – 6000
Aluminium	6288 ± 13	6260
Mosiądz – Brass	4397 ± 14	4430
Miedź – Copper	4723 ± 5	4700
Jabłko odm. Lobo – Apple cv Lobo	662 ± 13	-
Ziemniak odm. Wawrzyn – Potato cv Wawrzyn	1345 ± 14	-

⁽¹⁾ – wartość średnia – mean values, ⁽²⁾ – odchylenie standardowe – standard deviation

Tabela 2. Wyznaczone wysokości schodków aluminiowego wzorca schodkowego
Table 2. Determining the altitude of stairs aluminium stepped standard

Wysokość schodka Height of stepper mm	Wyznaczona wysokość schodka Estimated height of stepper mm
40	40,00 ⁽¹⁾ ± 0,04 ⁽²⁾
35	35,06 ± 0,01
30	30,09 ± 0,03
25	24,98 ± 0,02
20	19,98 ± 0,01

⁽¹⁾ – wartość średnia – mean values, ⁽²⁾ – odchylenie standardowe – standard deviation



Rys. 4. Wyznaczone wysokości wzorca schodkowego

Fig. 4. Determining the altitude of stepper standard

Otrzymaną prędkość ultradźwięków w aluminium zastosowano do wyznaczenia wysokości w aluminiowym wzorcu schodkowym. Otrzymane wyniki zilustrowano na rysunku 4 i zamieszczono w tabeli 2.

Widać wyraźnie dużą powtarzalność i dokładność otrzymanych wyników. Niewielkie różnice są prawdopodobnie spowodowane rodzajem zastosowanego ośrodka sprzęgającego.

Autor podjął badania jego wpływu na pomiary akustyczne. Wyniki zostaną niebawem opublikowane.

PODSUMOWANIE

Wykonane i uruchomione urządzenie pozwala na wykonywanie pomiarów wielkości niezbędnych do oceny podstawowych własności akustycznych materiałów. Pomiary charakteryzują się rzadką przy tego typu pomiarach precyzją i powtarzalnością. Moduł pomiarowy zapewnia ergonomię i swobodę wymiany dowolnych głowic ultradźwiękowych, co ma niebagatelne znaczenie, szczególnie podczas badań wstępnych oraz badań różnych materiałów, gdy badacz nie może z góry określić, jakiego typu głowic użyć.

Po przeprowadzeniu testowych pomiarów na materiałach, dla których własności akustyczne są powszechnie znane urządzenie z modułem pomiarowym zostanie wykorzy-

stane do badań materiałów biologicznych, dla których własności tych jeszcze nie wyznaczono.

PIŚMIENNICTWO

- Blitz J., 1967. Fundamentals of ultrasonics. Butterworths, Londyn.
- Deputat J., 1979. Badania ultradźwiękowe. Instytut Metalurgii Żelaza. Gliwice.
- Greń J., 1984. Statystyka matematyczna. Modele i zadania. PWN Warszawa.
- Hellwig Z., 1998. Elementy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. PWN Warszawa.
- Knorr D., Zenker M., Heinz V., Lee D.-U., 2004. Applications and potential of ultrasonics in food processing. Trends Food Sci. Techn., 15, 261–266.
- Mason T.J., Paniwnyk L., Lorimer J.P., 1996. The uses of ultrasound in food technology. Ultrason. Chem., 3, 253–260.
- Matauschek J., 1961. Technika ultradźwięków. WNT Warszawa.
- McClements D.J., 1995. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. Trends Food Sci. Techn., 6, 293–299.
- Obraz J., 1983. Ultradźwięki w technice pomiarowej. WNT Warszawa.
- Saggin R., Coupland J.N., 2001. Non-contact ultrasonic measurements in food materials. Food Res. International, 34, 865–870.
- Śliwiński A., 2001. Ultradźwięki i ich zastosowania. WNT Warszawa.
- Wesołowski A., 2009. Wpływ naprężeń w mięsie mielonym na prędkość i amplitudę fali ultradźwiękowej. Inż. Roln., 2(111), 191–199.
- Materiały firmy Panametrics-ndt. 48 Woerd Ave, Waltham, MA USA.

LABORATORY DEVICE FOR MEASURING OF MATERIALS ACOUSTIC PARAMETERS

Abstract. In the work is presented designed, built and preliminary tested device equipped with a measuring module which allows to find out a exact way and time of ultrasonic waves getting through material. Measuring module allows easy and fast replacement of ultrasonic transducers of any shape.

Key words: nondestructive research, speed of propagation of ultrasonic waves, ultrasonic research

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 17.05.2011