

Institut Fizyki UMCS  
Zespół Fizyki Stosowanej  
Kierownik Zespołu: doc. dr hab. Bogdan Adameczyk

Bogdan ADAMCZYK,  
Wiesława KUNISZYK-JÓŻKOWIAK,  
Elżbieta SMOŁKA, Ferdynand JAGIEŁŁO

### Rozchodzenie się fal w stalowych spiralach śrubowych

Распространение волн в стальных винтовых спиралях

Propagation of Waves in Steel Helical Springs

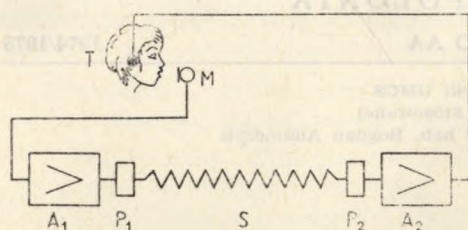
Badania prowadzono w celu wykorzystania stalowej spirali śrubowej jako linii opóźniającej w echo-korektorze mowy lub korektorze pogłosowym. Zasada korekcji mowy u jękających się polega na zsynchronizowaniu dźwięków mowy jękającego się z opóźnionymi dźwiękami echa lub pogłosu (ryc. 1) [1, 2, 3]. Do celów korekcji mowy wymagane jest opóźnienie od 0,1 do 0,3 s, a czas pogłosu około 1 s.

Pierwszą próbę budowy echo-korektora mowy z linią opóźniającą w postaci spirali śrubowej podjęto w r. 1969. Do opóźniania dźwięków użyto spirali o długości 73 cm i średnicy zwojów 14 mm, wykonanej z drutu stalowego o grubości 0,7 mm [4].

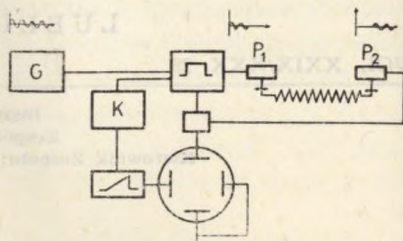
W tej pracy badano prędkość i zakres przenoszenia fal rozchodzących się w spiralach (o średnicy zwojów od 3,4 do 9 mm z drutu stalowego o przekroju 0,3 mm) pobudzanych podłużnie.

Taki sposób pobudzania był interesujący ze względu na możliwość wykorzystania dostępnych w handlu przetworników elektroakustycznych.

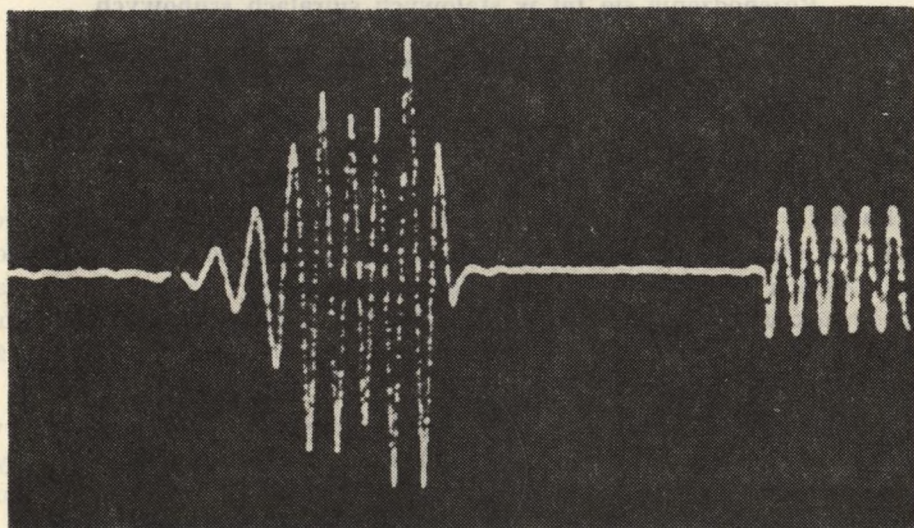
Prędkość fali wyznaczono mierząc opóźnienie sygnału przechodzącego przez sprężynę. Do pomiarów użyto układu impulsowego składającego się z uniwibratora wyzwalanego kluczem, dającego impuls prostokątny o czasie trwania 0,01 s, i układu bramkującego, na którego wejście podawano drgania z generatora o częstościach akustycznych. Na wyjściu takiego układu otrzymywano paczkę drgań sinusoidalnych o czasie trwa-



Ryc. 1. Zasada korekcji mowy u jąkających się przy pomocy pogłosu M — mikrofon,  $A_1$ ,  $A_2$  — wzmacniacze,  $P_1$ ,  $P_2$  — przetworniki, S — spirala, T — słuchawki

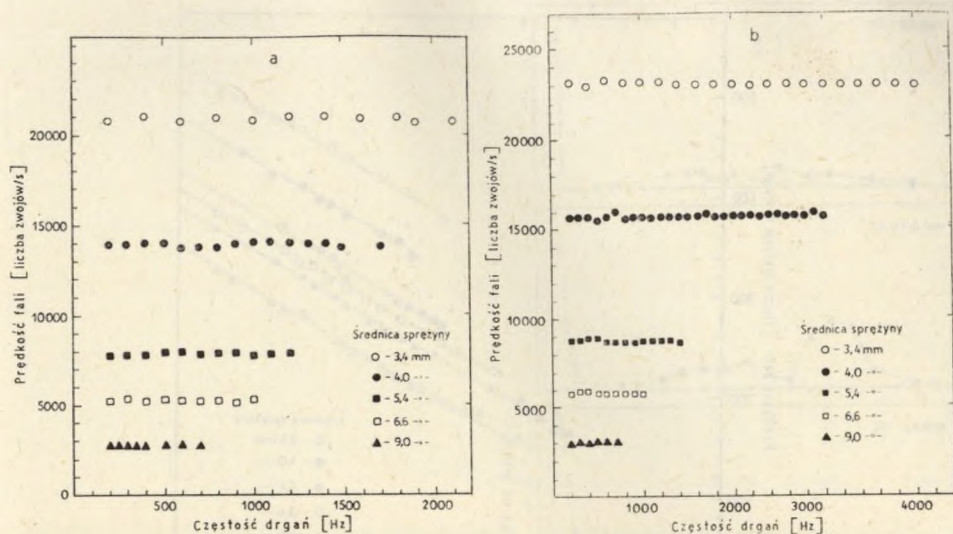


Ryc. 2. Schemat blokowy układu do wyznaczania opóźnienia sygnału przechodzącego przez sprężynę,  $P_1$ ,  $P_2$  — przetworniki, G — generator drgań sinusoidalnych, K — klucz

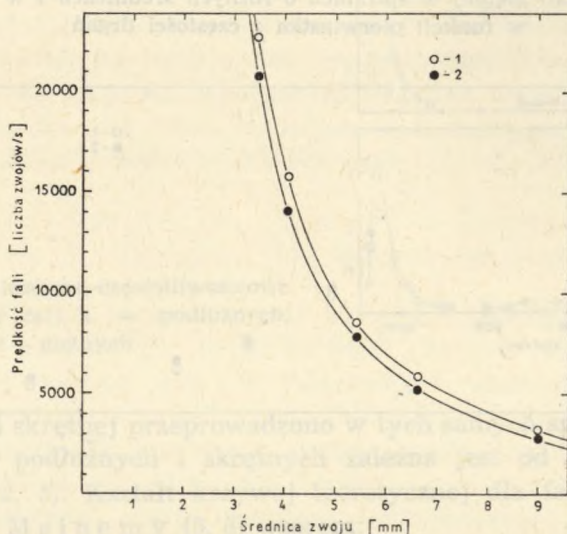


Ryc. 3. Oscylogram opóźnienia sygnału przechodzącego przez spiralę

nia 0,01 s. Schemat układu do wyznaczania opóźnienia sygnału przenieszonego przez spiralę przedstawia ryc. 2. Po włączeniu klucza K paczka fal z układu impulsowego podawana jest do przetwornika  $P_1$  pobudzającego sprężynę i do jednego z wejść odchylenia pionowego oscylografu. Jednocześnie włączenie klucza K wywołuje generator podstawy czasu, który uruchamia plamkę na ekranie oscylografu. Na drugie wejście układu odchylenia pionowego dochodzi opóźniony po przejściu przez spiralę impuls z przetwornika  $P_2$ . Na ekranie powstaje obraz składający się z dwu paczek sinusoid w odległości odpowiadającej czasowi opóźnienia (ryc. 3).

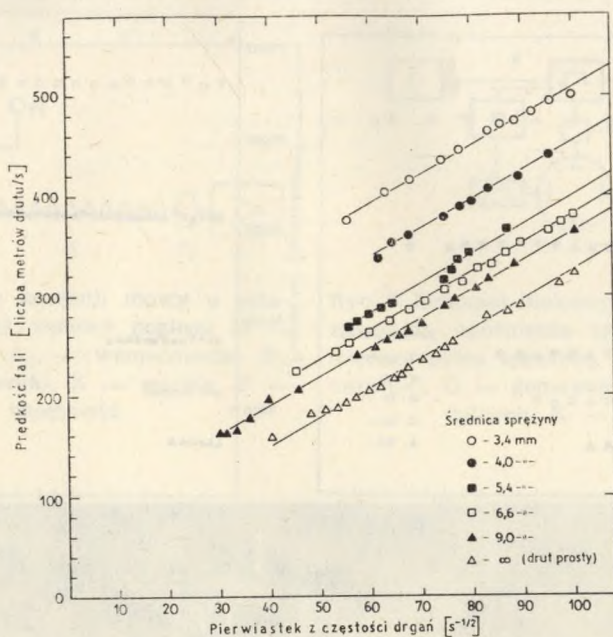


Ryc. 4. Prędkość fal w spiralach o różnych średnicach w funkcji częstości; a — podłużnych, b — skrętnych

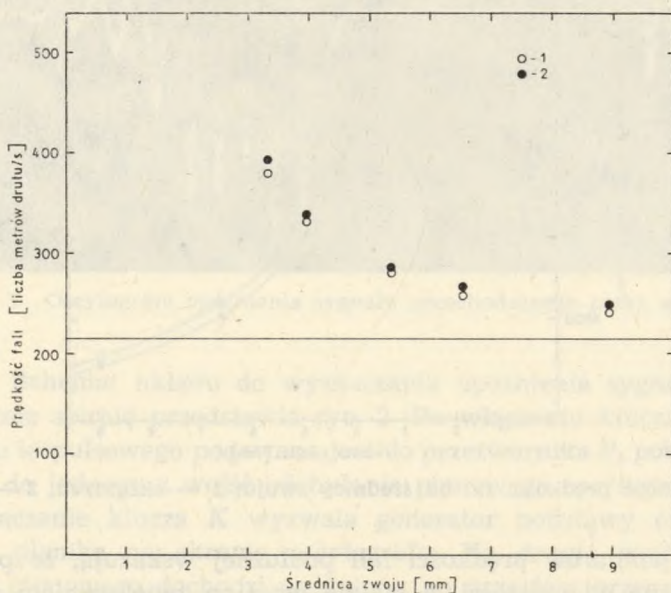


Ryc. 5. Zależność prędkości fal od średnicy zwoju; 1 — skrętnych, 2 — podłużnych.

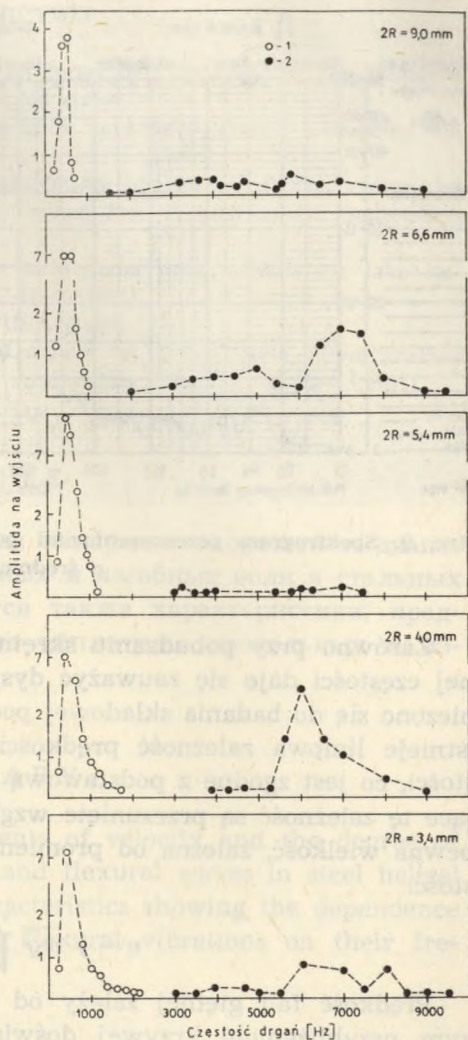
Wyniki pomiarów prędkości fali podłużnej wskazują, że prędkość ta jest niezależna od częstości, a maleje wraz ze zwiększeniem się średnicy zwojów. Jednocześnie ze zwiększeniem się średnicy zwojów zmniejsza się zakres przenoszonych częstości (ryc. 4a). Porównawcze badania



Ryc. 6. Prędkość fali giętniej w spiralach o różnych średnicach i w drucie prostym w funkcji pierwiastka z częstości drgań



Ryc. 7. Zależność prędkości fali giętniej od średnicy zwoju; 1 — teoretyczna, 2 — doświadczalna

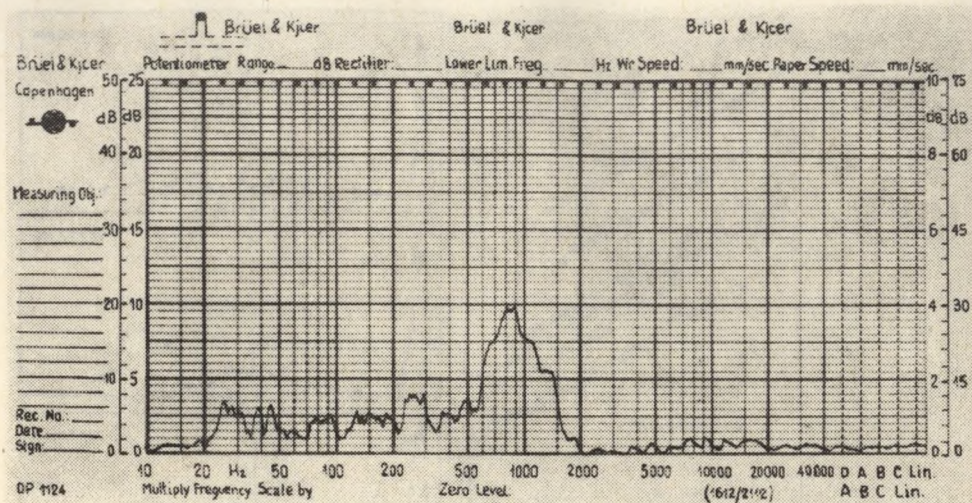


Ryc. 8. Amplitudowo-częstotliwościowe charakterystyki fal; 1 — podłużnych, 2 — giętych

prędkości fali skrętnej przeprowadzono w tych samych spiralach (ryc. 4b). Prędkość fal podłużnych i skrętnych zależna jest od średnicy zwojów sprężyny (ryc. 5). Kształt krzywej teoretycznej dla fal skrętnych opisano według Me i n e m y [5, 6] wzorem:

$$v = \frac{a}{4\pi R^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

gdzie:  $a$  — promień drutu,  $R$  — promień spirali,  $E$  — moduł Younga,  $\rho$  — gęstość materiału, co zgadza się z otrzymanymi wynikami eksperymentalnymi.



Ryc. 9. Spektrogram przenoszenia fal podłużnych i giętnych w spirali śrubowej o średnicy 3,4 mm

Zarówno przy pobudzaniu skrętnym, jak i podłużnym powyżej pewnej częstotliwości daje się zauważyć dyspersyjną falę giętą. W pracy ograniczono się do badania składowej podłużnej tej fali. Jak wynika z ryc. 6, istnieje liniowa zależność prędkości fali giętej od pierwiastka z częstotliwości, co jest zgodne z podstawową teorią fal giętnych, ale proste opisujące tę zależność są przesunięte względem siebie. Przesunięcie to określa pewna wielkość, zależna od promienia zwoju spirali i niezależna od częstotliwości.

$$v = \sqrt{wg} \sqrt[4]{\frac{E}{\rho}} + V(R)$$

Prędkość fali giętej zależy od średnicy zwoju (ryc. 7). Teoretycznym przybliżeniem krzywej doświadczalnej jest krzywa w równaniu  $V(R) = A/R^2$ . Amplituda rozchodzącej się fali giętej jest znacznie mniejsza od amplitudy fali podłużnej. Charakterystyki przenoszenia fal zostały wykonane drogą pomiaru amplitudy dla zaznaczonych na wykresie (ryc. 8) punktami częstotliwości i są zgodne z charakterystykami otrzymanymi na spektrometrze częstotliwości firmy Brüel-Kjaer składającego się z analizatora częstotliwości 2113 i rejestratora 2305 (ryc. 9). Przy użyciu opisanych tu spiral, jako linii opóźniających, można przenosić fale niedispersyjne (podłużne i skrętne) w granicach do 4 tys. Hz. Jest to wystarczające w przypadku przenoszenia dźwięków mowy. Pojawienie się fal giętnych przy częstotliwościach 3–10 kHz jest czynnikiem niewskazanym przy opóźnianiu dźwięków i wymaga eliminacji.

## PIŚMIENNICTWO

1. Adamczyk B.: Psychotherapeutische Faktoren der Behandlung des Stotterns mit der Echo-methode. Folia Phoniatri, **21**, 300 (1969).
2. Adamczyk B.: Trening i psychoterapia w metodzie "Echo", Logopedia **10**, 46 (1971).
3. Adamczyk B., Kuniszyk W.: Application of Speech Reverberation by Stammering Therapy, 9th Acoustics Conference 31st. August to 4th September, Czechoslovakia, **7** (1971).
4. Adamczyk B., Wójcik L.: Spiralna akustyczna linia opóźniająca jako korektor mowy. Fol. Soc. Sci. Lubl., sectio C **12**, 9 (1971).
5. Burger D. A.: I Patent nr 3, 288, 931 USA (1966).
6. Meinema H. E., Johnson H. A., Laube W. C.: A New Reverberation Device for High Fidelity Systems, J. Audio Eng. Soc. **9**, 4, 284 (1961).

## РЕЗЮМЕ

В настоящей работе представлены измерения скоростей и диапазона переноса продольных, крутильных и изгибных волн в стальных винтовых спиралах. Рассматриваются также характеристики, представляющие зависимость от частоты амплитуды продольных и изгибных колебаний.

## SUMMARY

The paper presents the measurements of velocity and the degree of propagation of longitudinal, torsional and flexural waves in steel helical springs. The paper also gives the characteristics showing the dependence of the amplitude of longitudinal and flexural vibrations on their frequency.

