

# **WPLYW STRUKTURY ORAZ CIŚNIENIA STATYCZNEGO NA PRZENOSZENIE DRGAŃ W ELASTYCZNYCH PRZEWODACH HYDRAULICZNYCH**

**Wiesław FIEBIG<sup>1</sup>, Marek SPŁAWSKI<sup>1</sup>**

## **STRESZCZENIE**

*W referacie przedstawiono wyniki wstępnych badań dotyczących przenoszenia drgań mechanicznych przez elastyczne przewody hydrauliczne. Wyniki badań pozwalają na określenie zakresu częstotliwości w którym następuje przenoszenie drgań oraz ustalenie wpływu długości, ciśnienia statycznego oraz struktury przewodu na przenoszenie drgań. Wyniki analizy modalnej pozwoliły na ustalenie częstotliwości drgań własnych przy których występują drgania giętne przewodów.*

## **WPROWADZENIE**

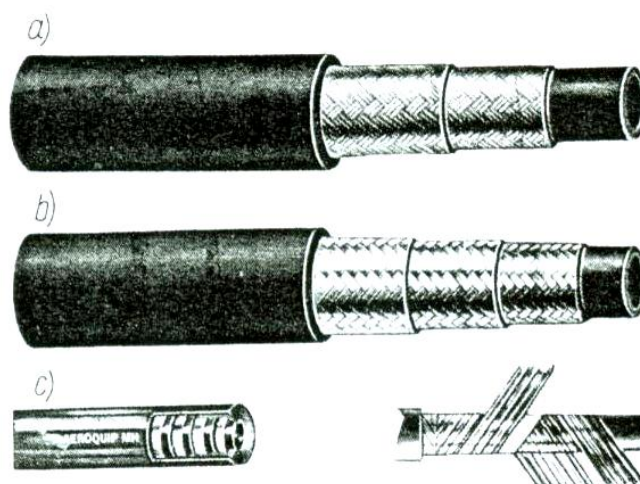
Przewody hydrauliczne służą do elastycznego połączenia pomiędzy ruchomymi elementami układu hydraulicznego w maszynach roboczych. Są one stosowane również wówczas gdy zależy nam na redukcji drgań przenoszonych pomiędzy elementami układu hydraulicznego maszyny. Struktura, długość, średnica wewnętrzna mają istotny wpływ na przenoszenie drgań i bardzo często są one dobierane intuicyjnie na etapie projektowania lub wykonania układu hydraulicznego bez wnikania w ich charakterystyki przenoszenia drgań. W niniejszej pracy podjęto próbę doświadczalnego określenia funkcji przenoszenia drgań dla wybranych przewodów hydraulicznych. W następnym etapie ustalono przy pomocy analizy modalnej jakie postacie drgań posiadają przewody elastyczne w zakresie częstotliwości istotnym dla wymuszeń w układach hydraulicznych.

## **PRZEDMIOT BADAŃ**

Elastyczne przewody hydrauliczne składają się z warstwy wewnętrznej (Rys. 1) zbrojenia oraz warstwy zewnętrznej. Warstwa wewnętrzna jest wykonywana z gumy lub poliamidu i jest ona odporna na działanie oleju. Warstwa zewnętrzna wykonana również z gumy jest odporna na pękanie, uszkodzenia mechaniczne i wpływy atmosferyczne.

---

<sup>1</sup> prof. dr hab. inż. Wiesław Fiebig- Politechnika Wrocławska, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Zakład Napędów i Automatyki Hydraulicznej, ul. Łukaszczyka 7/9, 51-377 Wrocław



Rys.1: Przykłady wykonania przewodów elastycznych: a) b) zbrojenie wykonane z przewodów stalowych z podwójnym lub potrójnym splotem krzyżowym c) ze splotem spiralnym

Przewody wybrane do badań są produkowane przez firmę Parker Hannifin i zostały zestawione w Tabeli 1.

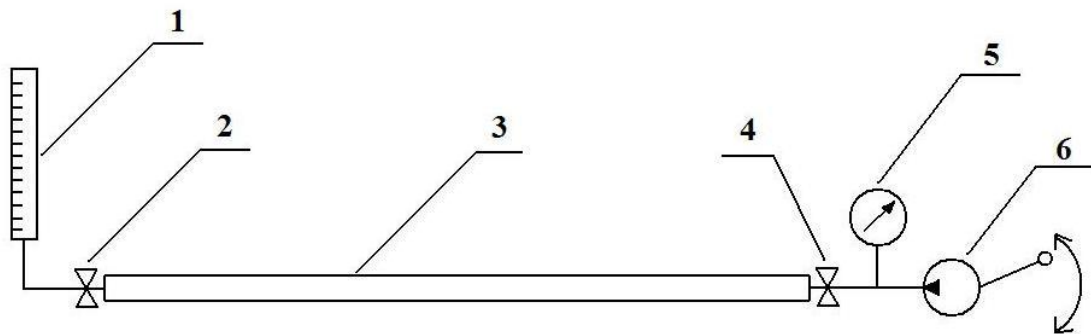
Nr	Typ	Średnica [mm]	Długość [mm]	Ciśnienie max [MPa]	Liczba oplotów
1	492-6	10	500	22,5	1
2	492-6	10	1000	22,5	1
3	492-6	10	1500	22,5	1
4	462-6	10	500	35	2
5	462-6	10	1000	35	2
6	462-6	10	1500	35	2
7	492-8	12,5	500	19	1
8	492-8	12,5	1000	19	1
9	462-8	12,5	500	31	2
10	462-8	12,5	1000	31	2
11	492-12	19	500	15	1
12	492-12	19	1000	15	1
13	462-12	19	500	28	2
14	462-12	19	1000	28	2

Tabela 1: Przewody elastyczne wybrane do badań

Przy wyborze przewodów do badań kierowano się typowymi zastosowaniami przemysłowymi: wytypowano przewody o maksymalnym ciśnieniu roboczym: 15-35MPa i średnicy zewnętrznej od 10 do 19mm, czyli przekrojowy wybór przewodów stosowanych w maszynach z napędem hydrostatycznym.

## WPŁYW CIŚNIENIA STATYCZNEGO NA MODUŁ SPRĘŻYSTOŚCI PRZEWODU

Ciśnienie statyczne w przewodach (3) wytwarzane było przy pomocy prasy hydraulicznej (6) przy zamkniętym zaworze odcinającym (2). Po osiągnięciu wymaganego ciśnienia statycznego mierzonego manometrem (5), zamykany jest zawór odcinający (4) a po otwarciu zaworu odcinającego (2) odczytuje się przyrost objętości cieczy ( $\Delta V$ ). Pomiar wykonywany dla różnych długości przewodu jednego gatunku przewodu, następnie jest uśredniany i wykonywany jest wykres zależności modułu sprężystości przewodu w funkcji ciśnienia.



*Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego*

*1 - menzurka do pomiaru przyrostu objętości, 2 i 4 - zawory odcinające, 3 - badany przewód elastyczny, 5 – manometr, 6 - pompa z napędem ręcznym*

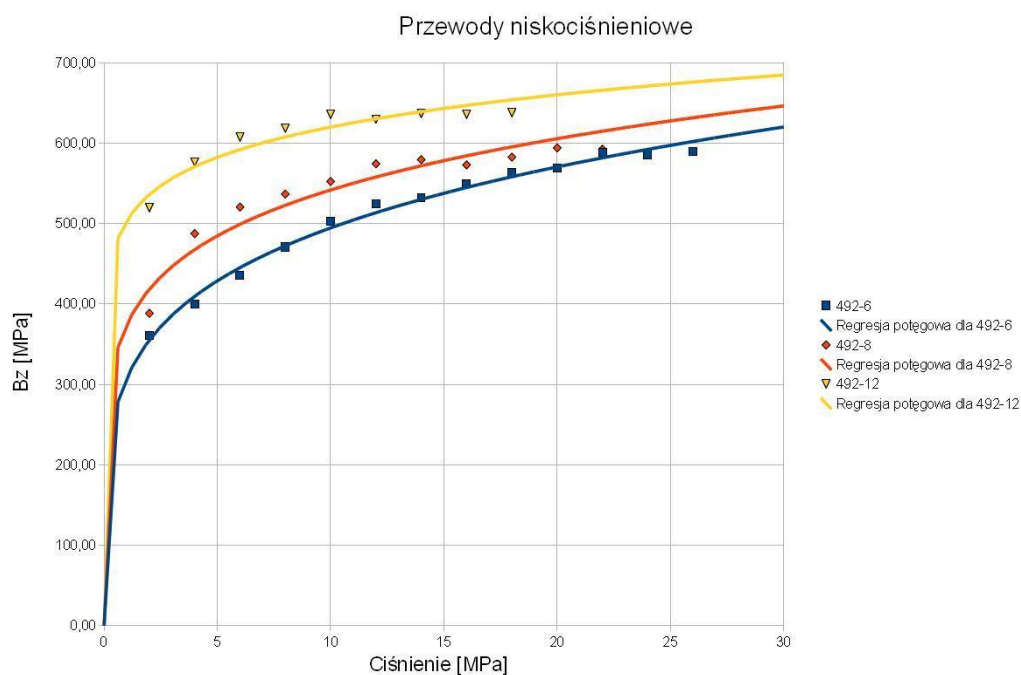


*Rys. 2. Widok stanowiska pomiarowego do badania wpływu ciśnienia statycznego na moduł sprężystości cieczy*

Moduł sprężystości można wyliczyć z wzoru:

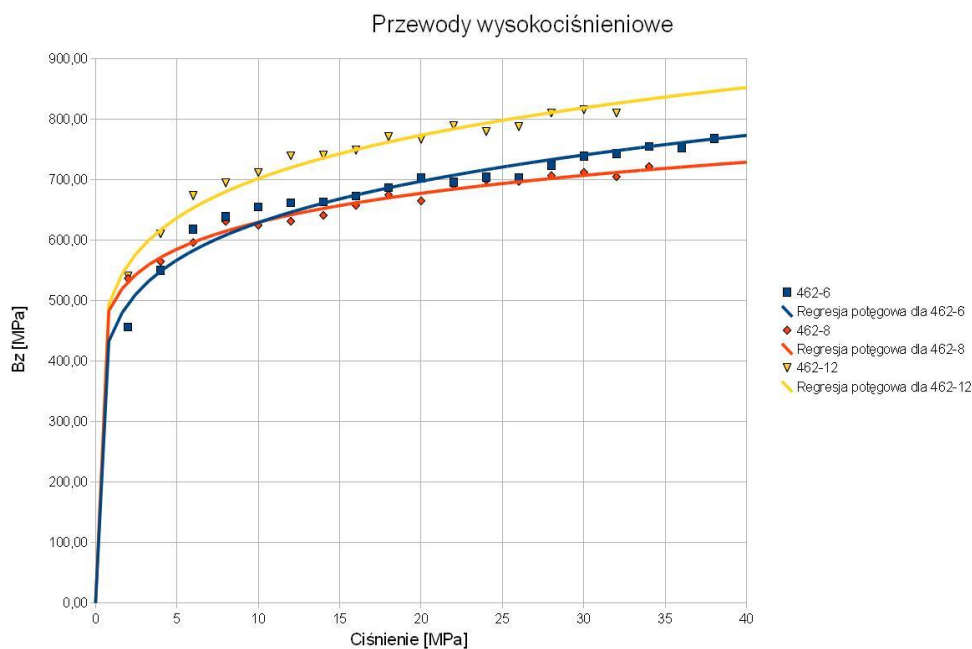
$$B_z = \Delta p / \Delta V/V_0$$

Wyniki pomiarów dla przewodów niskociśnieniowych – gatunki 492-6, 492-8, 492-12:



Rys. 3. Zależność zastępczego modułu sprężystości od ciśnienia statycznego dla przewodów niskociśnieniowych

Wyniki pomiarów dla przewodów wysokociśnieniowych – gatunki 462-6, 462-8, 462-12



Rys. 4. Zależność zastępczego modułu sprężystości od ciśnienia statycznego dla przewodów wysokociśnieniowych

Z przedstawionych wykresów wynika, że wartości modułów sprężystości

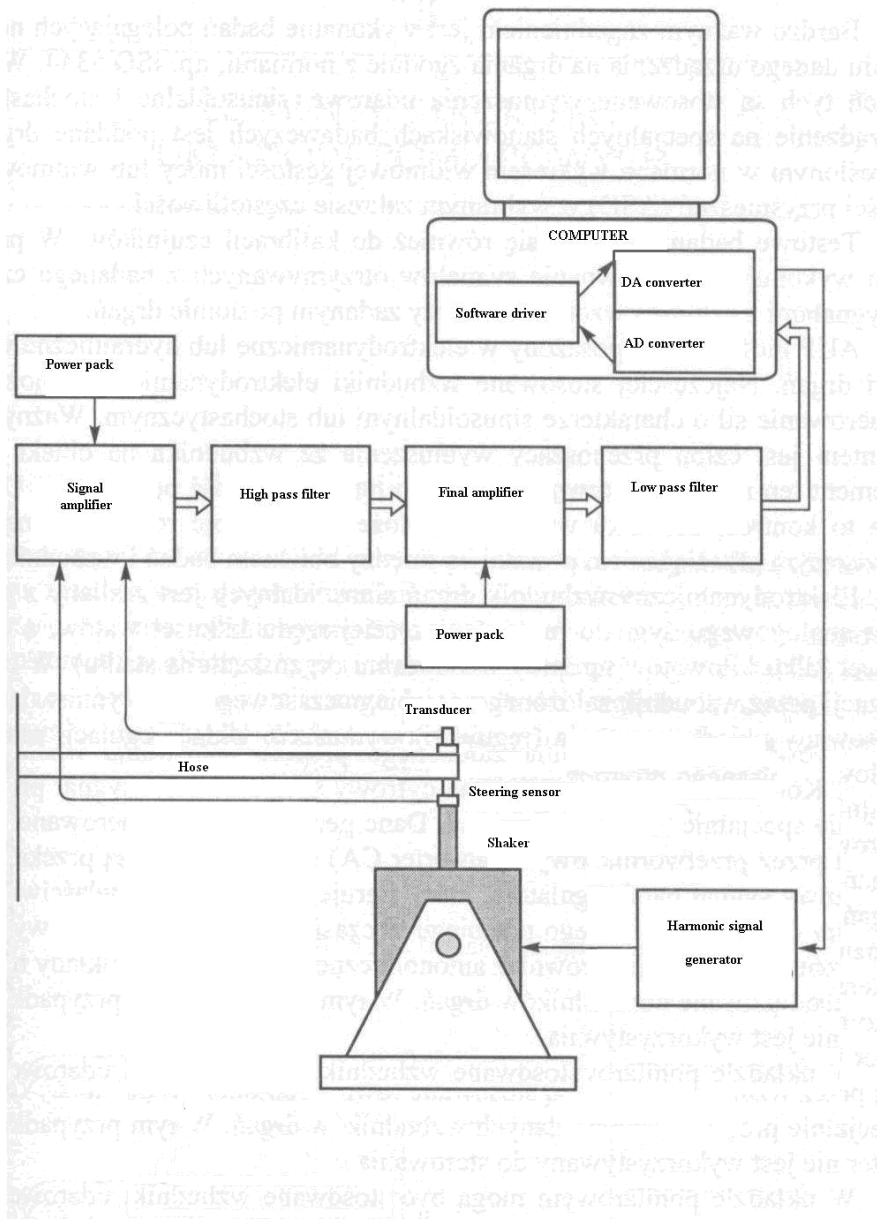
## PRZENOSZENIE DRGAŃ

Na rys. 5 przedstawiono schemat układu pomiarowego do wyznaczania funkcji przenoszenia drgań przez przewody elastyczne jak również do przeprowadzenia analizy modalnej dla drgań przewodów. Składa się on głównie ze wzбудnika drgań oraz z analizatora wraz z generatorem sygnałów. Podczas określania funkcji przenoszenia drgań na jednym końcu przewodu wzbudzane były drgania przy pomocy serii impulsów a na drugim końcu mierzona była odpowiedź. Funkcja przenoszenia jest zdefiniowana jako:

$$U = A_{\text{output}}/A_{\text{input}}$$

A output- amplituda drgań na wyjściu

A input- amplituda drgań na wejściu



Rys. 5: Schemat układu pomiarowego

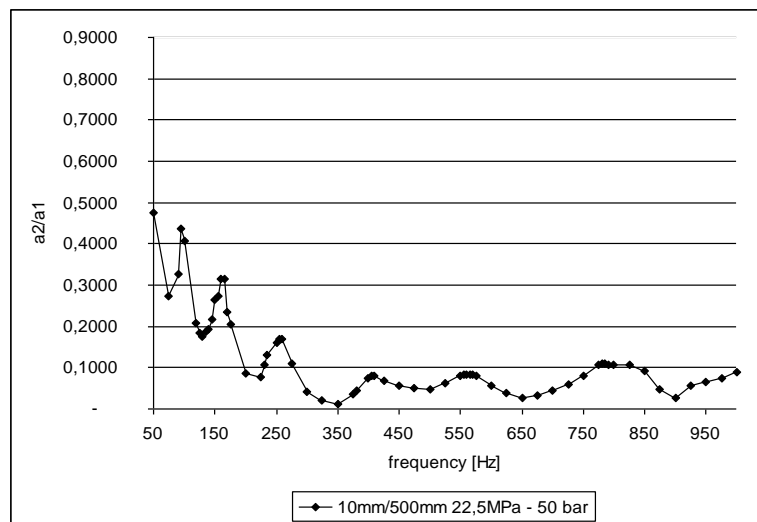
Widok układu pomiarowego jest przedstawiony na rys. 5. Do pomiarów zastosowano system pomiarowy SIGLAB natomiast analiza modalna została wykonana za pomocą programu STARModal firmy Spectral Dynamics. Ciśnienie statyczne w przewodach było zmieniane w trakcie pomiarów. Dla wytworzenia ciśnienia statycznego zastosowano prasę hydrauliczną,

którą podłączono na początku przewodu. Na końcu przewodu był przyklejony na stałe jeden z czujników przyspieszenia drgań. Koniec przewodu badanego był zawieszony na elastycznej linie natomiast początek przewodu był połączony bezpośrednio do elektrodynamicznego wzbudnika drgań.

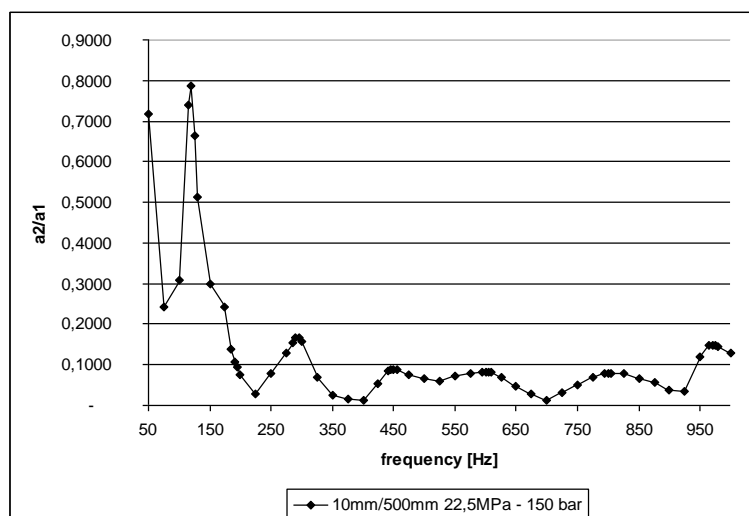
## WYNIKI POMIARÓW

Na rys. 6 pokazana jest funkcja przenoszenia dla przewodu 1 w zależności do ciśnienia statycznego. Jest to przewód o pojedynczym splocie, długości 0.5 m i średnicy wewnętrznej 10 mm. Przy ciśnieniu 50 bar można zauważyć zwiększenie przenoszenia drgań dla 10, 160 i 270 Hz. Natomiast dla wyższych ciśnień występuje jedno maksimum funkcji przenoszenia przy częstotliwości 140 Hz. Ze wzrostem ciśnienia przenoszenie drgań przez przewody elastyczne staje się bardziej skuteczne dzięki rosnącej ich sztywności. W wyższym zakresie częstotliwości wartości funkcji przenoszenia ze wzrostem ciśnienia nie ulegają istotnym zmianom. Należy zauważyć, że przenoszenie drgań dla przewodów mniej sztywnych (o jednym oplocie) odbywa się głównie w niskim zakresie częstotliwości tj. do ok. 300 Hz.

a)



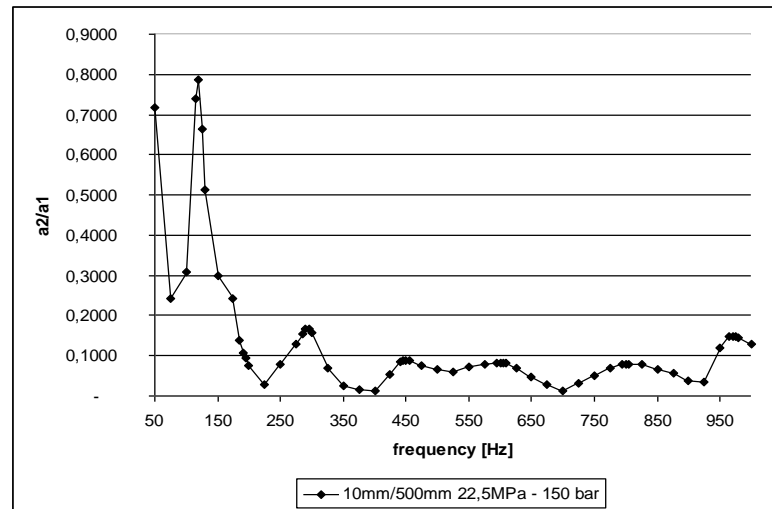
b)



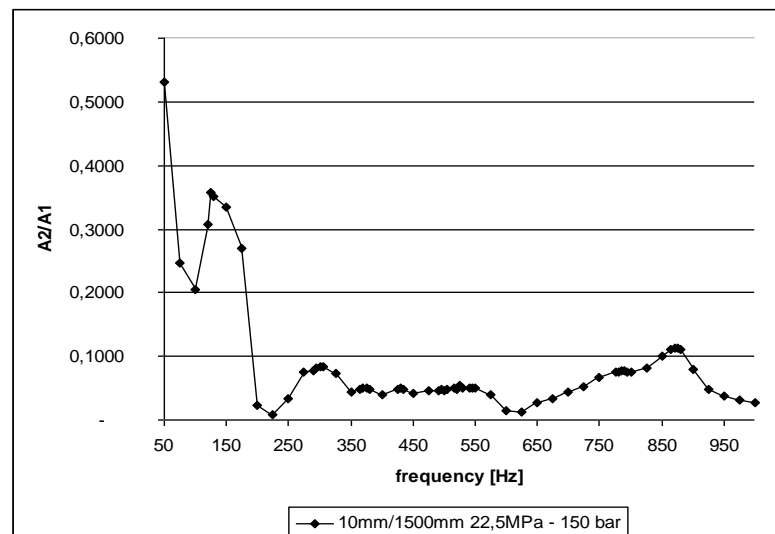
Rys 6: Wpływ ciśnienia statycznego na funkcje przejścia dla przewodu nr 1  
a)  $p=50$  bar, b)  $p=150$  bar

Wpływ długości przewodu na funkcję przejścia pokazano na rysunku 7. Porównano wyniki pomiarów dla przewodu nr 2. Dla przewodów krótkich 0.5 m występuje zazwyczaj mniej częstotliwości rezonansowych, przy których następuje przenoszenie drgań. Ze wzrostem długości przewodu wzrasta liczba częstotliwości rezonansowych ale również tłumienie drgań. Ze wzrostem długości przewodu przenoszenie drgań przez przewody elastyczne staje się coraz mniej skuteczne.

a)



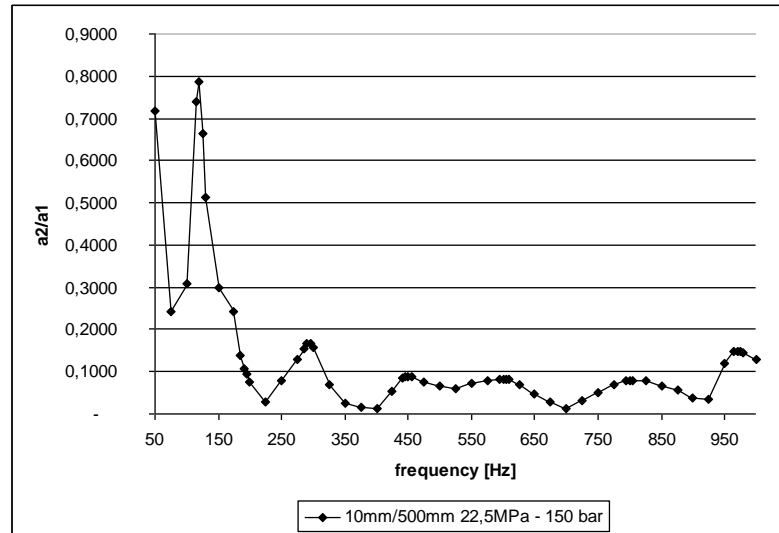
b)



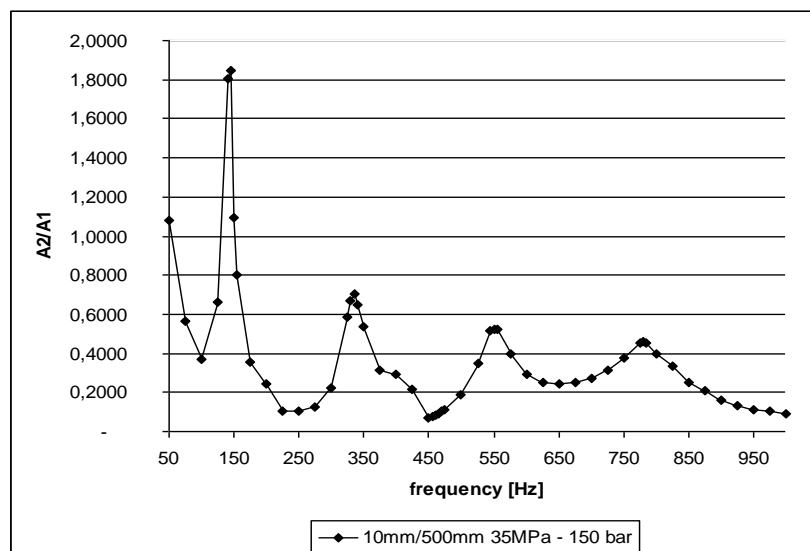
Rys. 7: Wpływ długości przewodu na funkcje przenoszenia dla przewodu nr 2  
a)  $l = 0.5$  m, b)  $l = 1.5$  m

Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów dla dwóch przewodów o długości 0.5 m różniących się ilością opłotów. Przewód nr 1 jest przewodem o 1 oplocie i ciśnieniu pracy 22.5 MPa a przewód nr 4 posiada dwa opłoty i ciśnienie pracy 35 MPa. Wyniki pomiarów wskazują, że przenoszenie drgań w przypadku sztywniejszych przewodów jest zdecydowanie większe. Funkcja przenoszenia posiada wyższe wartości zarówno w niskim jak i w wyższym zakresie częstotliwości.

a)



b)



Rys. 8: Wpływ rodzaju przewodu na funkcję przenoszenia  
 a) przewód nr 1 b) przewód nr 4

### WYNIKI ANALIZY MODALNEJ

Na rys. 9 przedstawiono przykładowe wyniki analizy modalnej dla przewodu nr 2 i przy ciśnieniu statycznym 100 bar. Podczas pomiarów rejestrowano funkcje koherencji oraz fazy pomiędzy sygnałem wymuszenia a sygnałem mierzonym. Wysoka wartość funkcji koherencji (większa od 0.9) potwierdza prawidłowość przeprowadzanych pomiarów a wykres fazowy oraz zmiany fazy umożliwiają identyfikację drgań własnych przewodów. Wzdłuż długości przewodu zdefiniowano 12 punktów pomiarowych a wymuszenie było realizowane przy pomocy młotka impulsowego. Opracowanie wyników pomiarów oraz estymacja częstotliwości drgań własnych dokonywana była przy pomocy programu STARModal.

Rys. 9: Postacie drgań własnych przewodu nr 2 przy ciśnieniu 100 bar

Na rys. 9 przedstawiono podstawowe częstotliwości drgań własnych giętych przewodu elastycznego nr 2 przy ciśnieniu statycznym 100 bar. Zgodnie z oczekiwaniami zidentyfikowano jak dla belek postacie zbliżone do sinusoidy lub wielokrotnej sinusoidy.



Ponieważ drgania nie były mierzone w 3 kierunkach nie zidentyfikowano pozostałych postaci drgań np. drgań skrętnych oraz ewentualnie wzdłużnych przewodu. Określenie tych postaci drgań będzie przedmiotem dalszych badań.

W Tabeli 2 zestawiono częstotliwości drgań własnych wraz z tłumieniem modalnym.

Mode	Frequency [Hz]	Damping [%]
1	19.9059	7.08
2	64.5446	11.35
3	148.8734	7.35
4	208.0441	8.21

Tabela 2: Częstotliwości drgań własnych oraz wartości stopnia tłumienia drgań

Mode 1 : 19.91 Hz

Mode 2 : 64.54 Hz

## PODSUMOWANIE

W referacie przedstawiono wyniki badań przenoszenia drgań przez elastyczne przewody hydrauliczne. Do badań wytypowano przewody różniące się długością, średnicą wewnętrzną i strukturą. Pomiar przeprowadzono przy różnych wartościach ciśnienia statycznego wewnątrz przewodów. Wyniki badań wskazują, że drgania poprzeczne są przenoszone przez przewody elastyczne głównie w stosunkowo niskim zakresie częstotliwości do 350 Hz. Im sztywniejszy przewód (większa ilość opłotów) tym wartości funkcji przenoszenia drgań są wyższe. Maksima funkcji przenoszenia występują przy częstotliwościach drgań własnych przewodów, które zależą w znacznym stopniu od długości przewodu i jego struktury. Wyniki analizy modalnej umożliwiły identyfikację częstotliwości i postaci drgań giętnych występujących przy przenoszeniu drgań.



## LITERATURA

1. D.K. Longmore, A. Schlesinger *Transmission of vibration and pressure fluctuations through hydraulic hoses Proceedings of Institutions of Mechanical Engineers', Part I Journal of Systems and Control Engineering, 1991, Vol 205, no 12.*
1. *Shock and vibration handbook* edited by Cyril M. Harris, New York : McGraw-Hill Book Co., 1988.
2. Haym Benaroya *Mechanical Vibration Analysis, Uncertainties, and control.* New York : Marcel Dekker, cop. 2004.
3. D.K. Longmore, A. Schlesinger *Relative importance of the various vibration transmitting mechanisms in hoses in typical hydraulic systems Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of systems and control engineering, 205, 105-111, 1991*
4. Tomasz Kucharski *System pomiaru drgań mechanicznych.* Warszawa : Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2002.
5. A.A. Shabana "Theory of Vibration". New York : Springer-Verlag, 1996.
6. Benson H. Tongue *Principles of vibration.* New York : Oxford University Press, 1996.

## INVESTIGATION OF THE VIBRATION TRANSMISSION OF THROUGH THE HYDRAULIC HOSES

### SUMMARY

*In this paper the results of investigations regarding the transmission of the vibrations through the hydraulic hoses has been shown. The results show the frequency range in which the vibrations through the hoses will be efficiently transmitted and the influence of the length, static pressure and structure of the hoses has been shown. Based on experimental modal analysis the natural frequencies and mode shapes for the hydraulic hoses has been identified.*