

# WPŁYW LUZÓW NA WŁAŚCIWOŚCI DYNAMICZNE OBIEKTÓW LATAJĄCYCH

**Witold Wiśniowski**

Instytut Lotnictwa

## **Streszczenie**

*W pracy omówiono zjawiska wynikające z luzów, zaobserwowane podczas prób rezonansowych. Tradycyjnie luzy w układzie sterowania samolotu mierzy się metodą statyczną. Poznanie przebiegu zależności częstości drgań rezonansów rzeczywistych konstrukcji od amplitudy drgań (luz uogólniony) zaowocowało opracowaniem rezonansowej metody pomiaru luzów. Metoda rezonansowa ma szereg zalet w stosunku do standardowej metody statycznej a wyznaczony luz jest określony jako część całkowitej amplitudy każdego z rezonansów. W pracy zaprezentowano oryginalną procedurę badania wpływu luzów na częstości rezonansowe konstrukcji. Metoda rezonansowa pozwala ocenić jaki jest udział amplitudy luzu w całkowitej amplitudzie drgań, ponieważ częstość rezonansowa jest parametrem zależnym od luzu. W celu porównania wyników pomiaru luzu metodą statyczną i rezonansową, za pomocą obu metod wykonano pomiary luzu tego samego układu sterowania samolotu.*

## **1. WSTĘP**

Właściwości dynamiczne obiektów latających nie są ich cechą stałą i niezmienną. Zmiany właściwości dynamicznych poszczególnych typów statków powietrznych zachodzą w trzech skalach czasowych:

- W skali całej eksploatacji jako efekt modernizacji, remontów i zmian konstrukcyjnych [2].
- W skali jednego lotu ze względu na stan załadowania oraz ubytek masy paliwa i zrzuconych ładunków [3].
- W mikroskali czasowej ze względu na wpływ luzów na drgania o względnie małych amplitudach [4].

Praca omawia zjawiska wynikające z luzów, zaobserwowane podczas prób rezonansowych przeprowadzonych przez autora w Instytucie Lotnictwa w Warszawie.

## **2. CEL PRACY I PREZENTACJA BADANYCH OBIEKTÓW**

Cel pracy postawiono w formie czterech pytań:

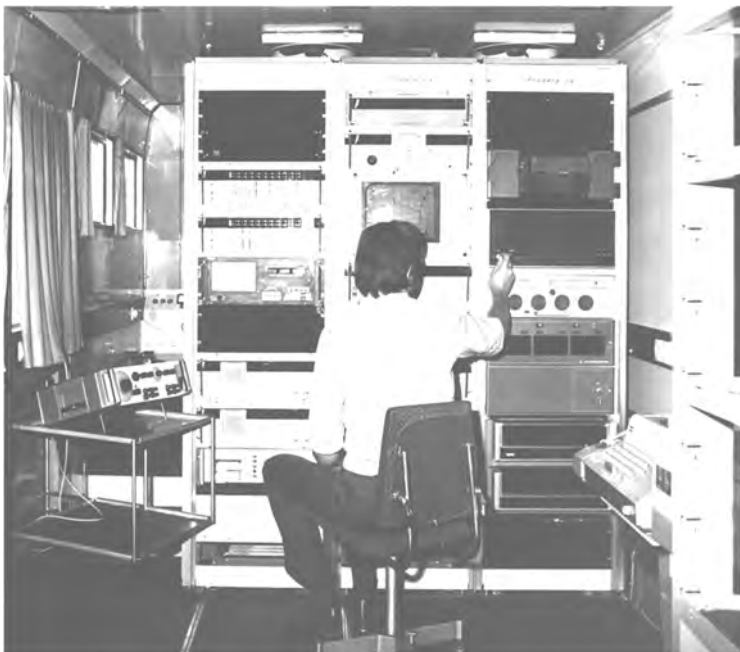
- Jaki jest model wpływu luzów na rezonanse złożonych struktur ?
- Jak duży może być wpływ luzów na częstości rezonansów obiektów latających ?
- W jakich typach rezonansów miał miejsce największy wpływ luzów ?
- Które z tych zjawisk warte są szczegółowego przeanalizowania i powinny być przedmiotem dalszych badań ?

### 3. PRÓBY REZONANSOWE

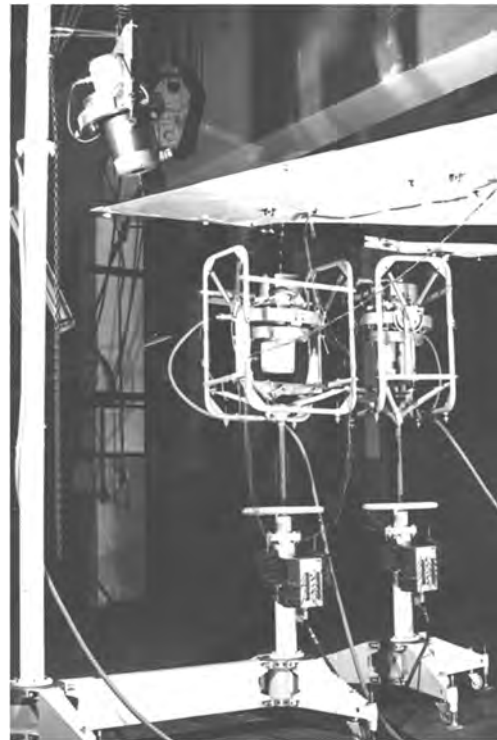
Próby rezonansowe są doświadczalnym sposobem wykrywania i badania rezonansów rzeczywistej konstrukcji poprzez odpowiednie wzbudzenie drgań oraz pomiar odpowiedzi.

Wynikiem prób rezonansowych jest lista rezonansów zawierająca wartości częstości rezonansowych, współrzędne (rysunki) postaci drgań rezonansowych oraz wartości uogólnionych współczynników masy, sztywności i tłumienia [5].

Technologia prób rezonansowych umożliwia pomiar zależności częstości rezonansowych od amplitudy drgań. Zależność ta w bezpośredni sposób odzwierciedla udział luzów w drganiach rezonansowych.



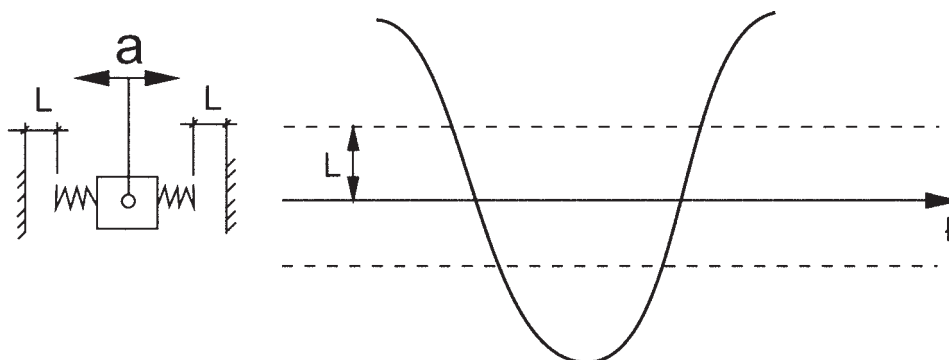
*Aparatura badawcza*



*Wzbudniki drgań*

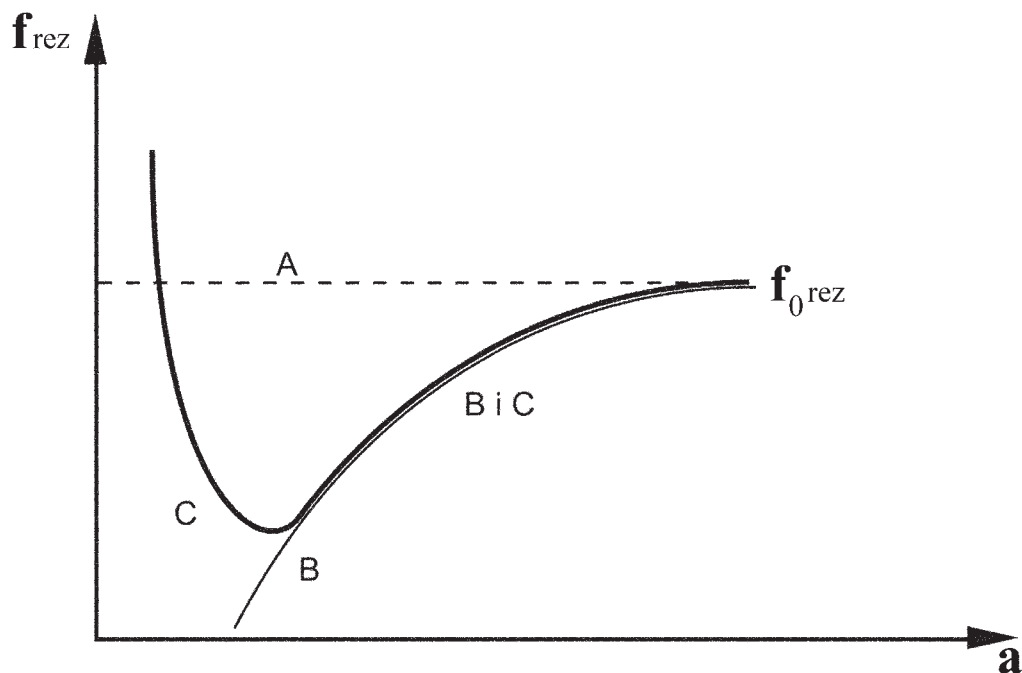
### 4. LUZ UOGÓLNIONY

Luz jest to odcinek niesprężystego ruchu względnego współpracujących ze sobą elementów konstrukcji. Luzy istniejące w elementach konstrukcji ujawniają się w różnym stopniu w zależności od postaci drgań. Model układu drgającego z luzem przedstawiono na rysunku 1.



*Rys. 1. Model układu z luzem*

Na rysunku 2 przedstawiono zależność częstości drgań rezonansowych od wielkość luzów modelu i rzeczywistej konstrukcji.



**Rys. 2. Zależność częstości drgań rezonansowych od wartości luzów modelu oraz rzeczywistej konstrukcji gdzie: A - układ bez luzu, B - model według rys. 1, C - rzeczywista konstrukcja**

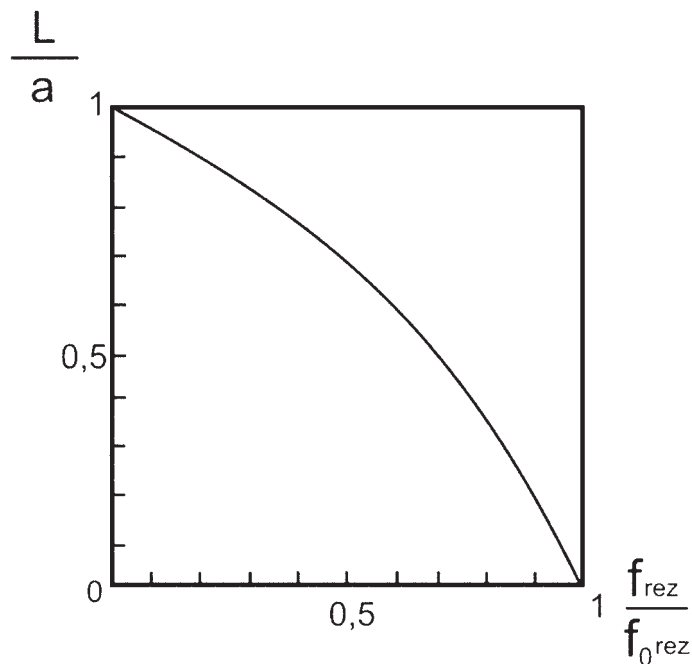
Wraz ze wzrostem amplitudy drgań maleje w nich udział luzu. Wraz ze zmniejszeniem się udziału luzu w całkowitej amplitudzie drgań częstość rezonansowa zbliża się do częstości układu bez luzu. Dla modelu układu z luzem względną zależność amplitudy luzu od częstości rezonansowych opisuje zależność [1]:

$$\frac{L}{a} = \frac{1}{1 + \frac{2}{\pi} \left[ \frac{f_{rez}}{f_{0rez}} \right]}$$

gdzie:

- $L$  - wielkość luzu,
- $a$  - amplituda drgań rezonansowych,
- $f_{0rez}$  - częstość drgań rezonansowych bez luzu,
- $f_{rez}$  - częstość drgań rezonansowych z luzem  $L$ .

Zależność tę przedstawiono graficznie na rysunku 3.



**Rys. 3. Zależność względnej wartości luzu od zmian częstości rezonansowych**

W rzeczywistej złożonej strukturze jaką jest statek latający w każdym rezonansie luzy sumują się i korelują ze sztywnością „biorącą” udział w drganiach. Luz „przypisany” do postaci drgań nazwano luzem uogólnionym.

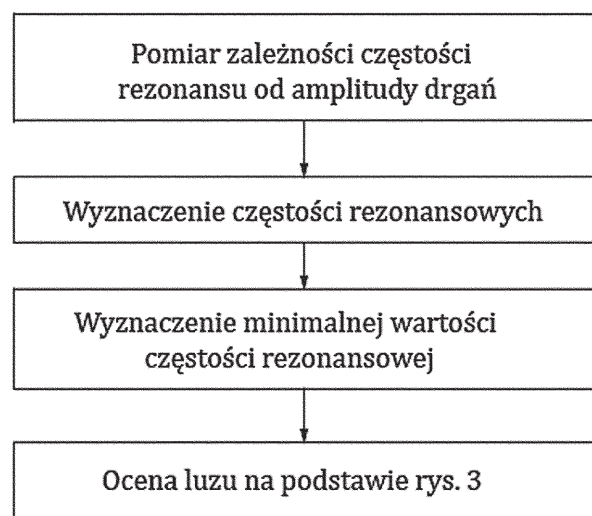
Zależność przedstawiona na rysunku umożliwia doświadczalną ocenę luzu uogólnionego [4].

Zależność częstości drgań rzeczywistych rezonansów od ich amplitudy jest identyczna z teoretyczną wynikającą z modelu w przedziale drgań porównywalnych z amplitudą luzów.

W zakresie mniejszych amplitud zjawisko wzrostu częstości drgań rezonansowych można wyjaśnić jako wynik stanu „niepełnego” rozwinięcia się drgań całego układu z powodu niewystarczającej energii wzbudzania która jest potrzebna do pokonania np. tarcia suchego.

Największe luzy mogą wystąpić w mechanicznych układach sterowania w których nie zastosowano wzmacniaczy.

W takich przypadkach przy zgodnym ruchu sterownic i powierzchni sterowych mamy do czynienia z nieograniczonym luzem. Ewentualnych sztywności potrzebnych dla ruchu drgającego można doszukiwać się w mięśniach pilota oraz „własnej sztywności elementów sterowania”.



**Rys. 4. Algorytm rezonansowego pomiaru luzu uogólnionego**

Znaczące luzy mogą występować w rezonansach układów sterowania z jednym węzłem, w których sterownica w kabine drga w przeciw-fazie do powierzchni sterowych.

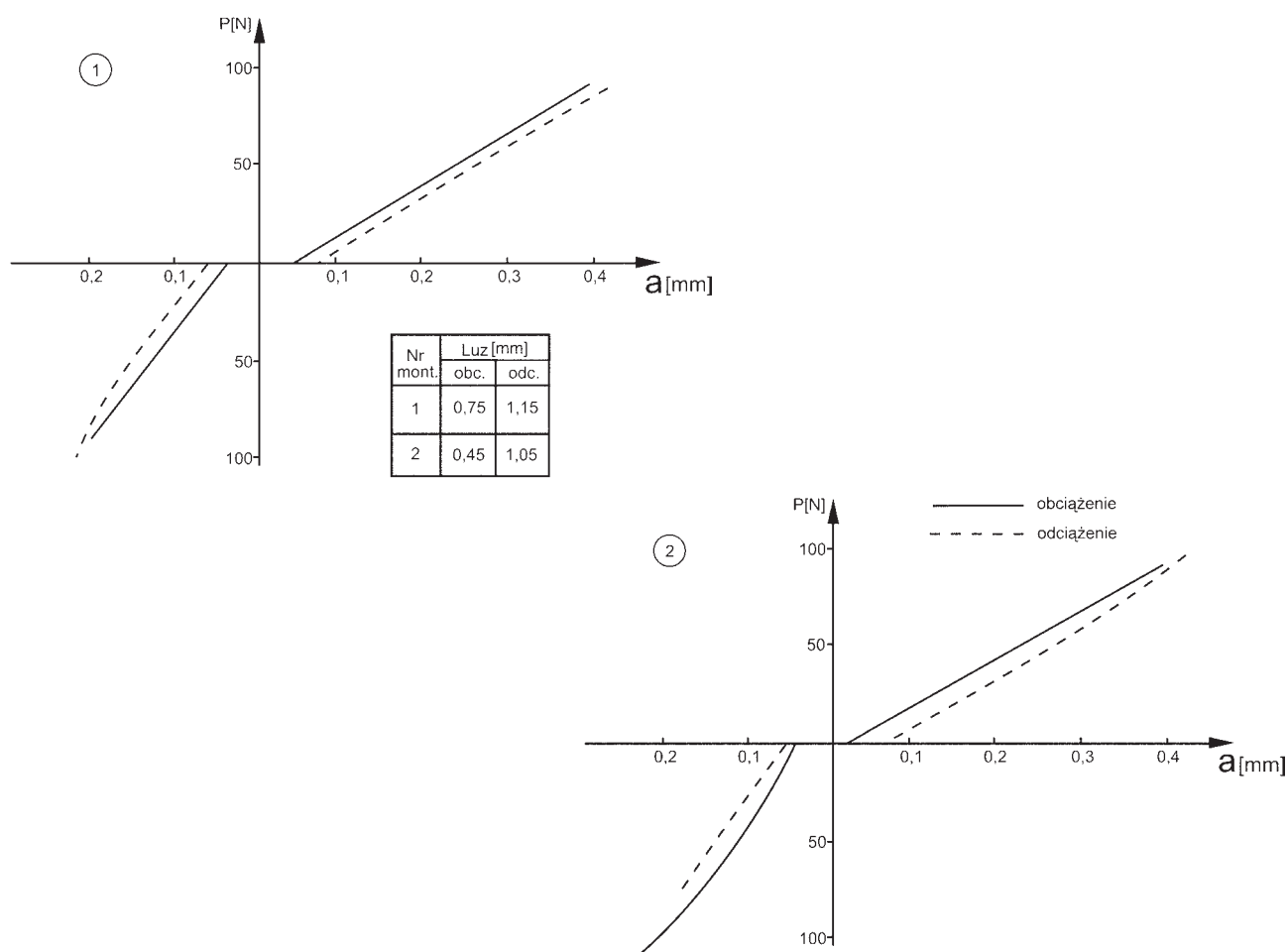
W oparciu o zależności wynikające z modelu układu z luzem przedstawionym na rysunkach 1, 2 i 3 można prowadzić pomiar wielkości luzu uogólnionego według algorytmu, jak na rysunku 4.

## 5. PORÓWNANIE WYNIKÓW POMIARU LUZU METODĄ STATYCZNĄ ORAZ REZONANSOWĄ

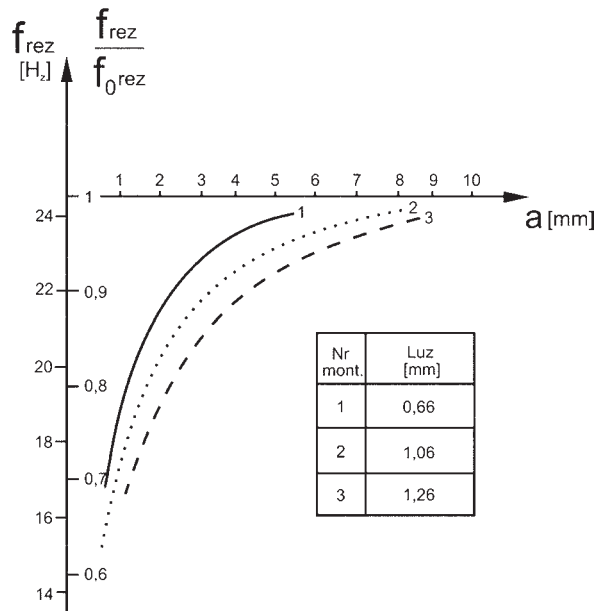
Luzy w układzie sterowania samolotu najczęściej mierzy się metodą statyczną. W tym celu ster blokuje się za pomocą sztywnych obejm, sterownice obciąża się siłą statyczną (np. obciążniki nakładane na szalki), mierząc ich przesunięcie. Amplitudę luzu odczytuje się z wykresu zależności siły i amplitudy obciążanych sterownic.

W celu porównania wyników pomiaru luzu metodą statyczną i rezonansową, za pomocą obydwóch metod wykonano pomiary luzu tego samego układu sterowania samolotu. Pomiary powtarzano kilkakrotnie po rozmontowaniu i powtórny montażu układu sterowania.

Wyniki pomiarów statycznych przedstawiono na rysunku 5, a wyniki pomiarów rezonansowych na rysunku 6.



Rys. 5. Pomiar luzu układu sterowania samolotu metodą statyczną



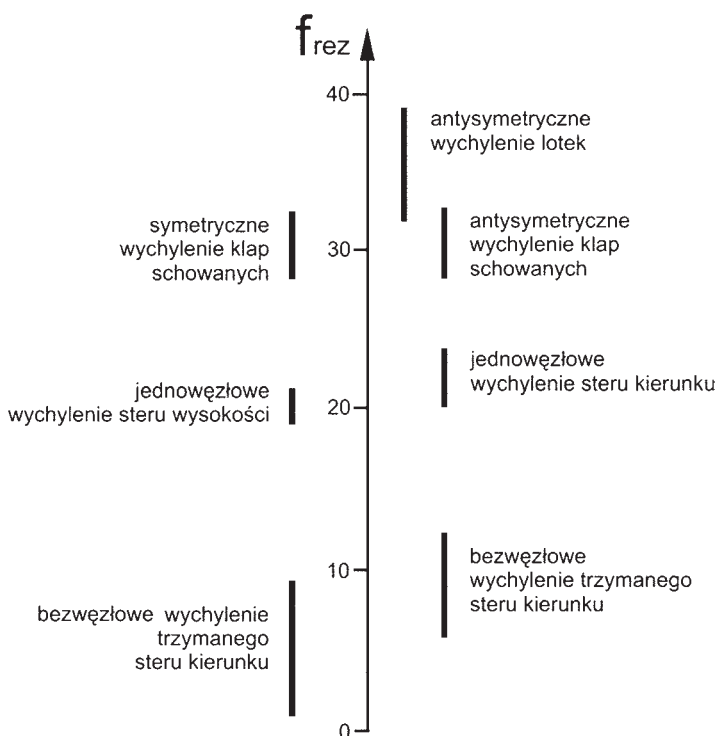
**Rys. 6. Pomiar luzu układu sterowania samolotu metodą rezonansową**

Metoda rezonansowa ma szereg zalet w stosunku do standardowej metody statycznej:

- pomiar luzu nie wymaga (sztywnego) mocowania konstrukcji, stosowania specjalnych obejm i systemów obciążania,
- pomiar jest pozbawiony wpływu luzów układu obciążającego i usztywniającego,
- wyznaczony luz jest określony jako część całkowitej amplitudy każdego z rezonansów co uzasadnia nazwanie go luzem uogólnionym.

## 6. WYNIKI BADAŃ LUZÓW METODĄ REZONANSOWĄ

Badania wpływów luzów poprzez pomiary zależności częstości drgań rezonansowych od amplitudy drgań przeprowadzono dla rezonansów kilkunastu obiektów latających. Przykład wyników badań przedstawiono na rysunku 7, gdzie zaprezentowano wpływ luzów na częstości drgań rezonansowych układów sterowania pierwszego prototypu samolotu I-22 Iryda.



**Rys. 7. Wpływ luzów na częstości drgań rezonansowych układów sterowania samolotów**

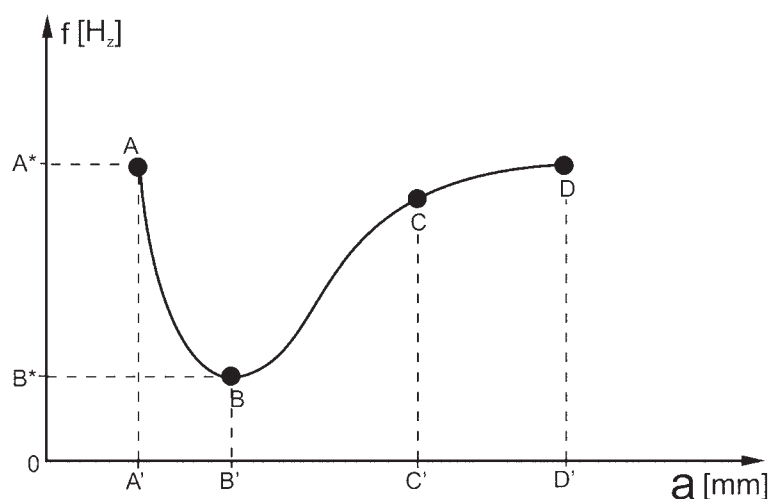
Wyniki przedstawione na rysunku 7 oznaczają, że częstotliwości prezentowanych rezonansów mogą przyjmować wartości z podanych przedziałów (drgania te są na ogół małe, porównywalne z wartościami luzów). Przedziały, w których mogą zmieniać się częstotliwości rezonansów odpowiadają przedziałom  $A^*B^*$  wyznaczonym z wykresów, jak na rysunku 8, gdzie:

Na odcinku  $A'B'$  wraz ze wzrostem amplitudy drgań ujawniają się i aktywizują luzy co skutkuje spadkiem częstotliwości drgań rezonansowych.

Na odcinku  $B'C'$  na skutek dalszego wzrostu amplitudy drgań maleje w nich udział luzów co skutkuje wzrostem częstotliwości rezonansowej.

Na odcinku  $C'D'$  wartość luzu staje się pomijalnie mała w stosunku do amplitudy drgań, wobec tego częstotliwość rezonansowa nie zmienia swojej wartości.

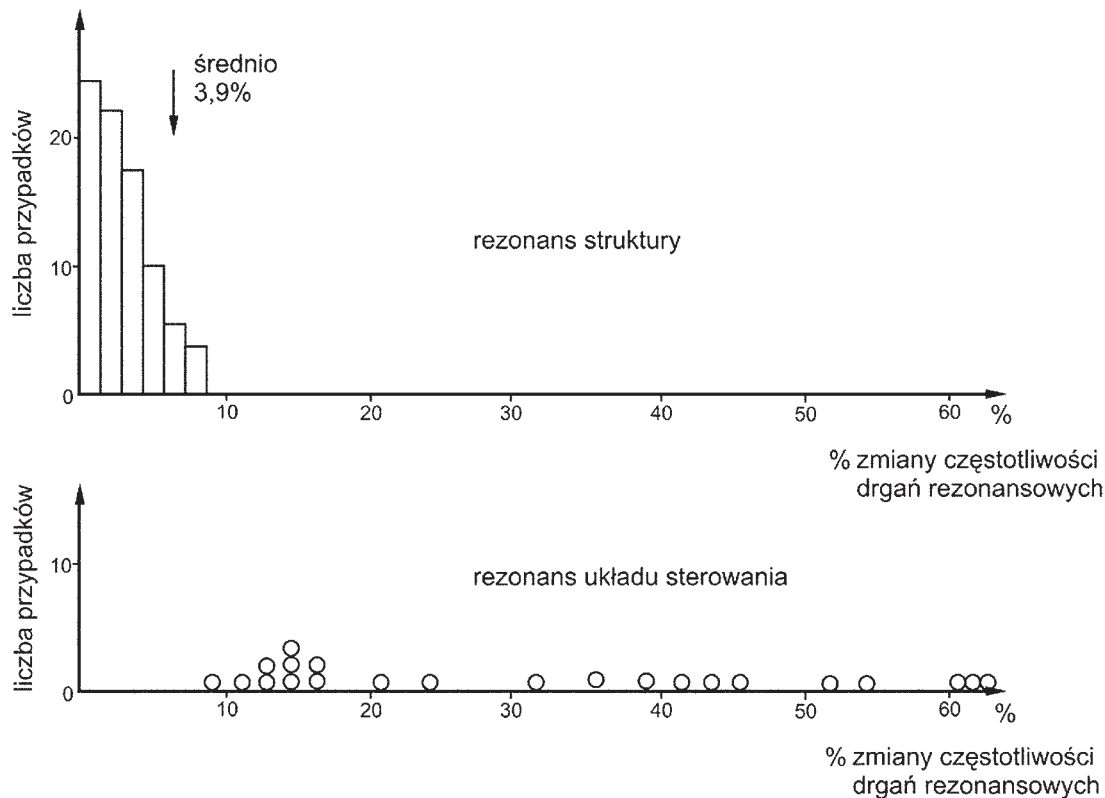
Odcinek  $B^*A^*$  jest miarą wpływu luzu na zmianę częstotliwości rezonansowej.



**Rys. 8. Typowy przebieg zależności częstotliwości drgań rezonansowych od amplitudy drgań**

Dla odpowiedzi na pytanie, jak duży może być wpływ luzów na częstotliwość rezonansów obiektów latających, sporządzono statystyczne podsumowanie wyników badań, które przedstawiono na rysunku 9.

Z badań kilkudziesięciu rezonansów wynika, że na skutek istnienia luzów częstotliwości rezonansów struktury zmieniały się średnio w zakresie 3,9%, zaś częstotliwości rezonansów układów sterowania zmieniały się w zakresach 10 do 60%.



**Rys. 9. Wyniki statystyczne badania wpływu luzów na zmianę częstości drgań rezonansowych**

## 7. OMÓWIENIE WYNIKÓW I WNIOSKI

W pracy zaprezentowano oryginalną procedurę badania wpływu luzów na częstości rezonansowe konstrukcji.

Wpływ luzów ma miejsce gdy amplitudy drgań rezonansowych są porównywalne z wartościami luzów.

Zjawisko wpływu luzów zanika gdy drgania stają się kilkakrotnie większe od luzów, tzn. gdy wielkość luzów przestaje dominować w amplitudzie drgań. Zjawisko wpływu luzów dotyczy amplitud uważanych za amplitudy małe.

Największy wpływ luzów – do 60% zmian częstości rezonansowych stwierdzono w układach sterowania obiektów latających. W przypadku rezonansów struktury przedział zmian częstości rezonansowych był mniejszy niż 8%.

Poznanie przebiegu zależności częstości drgań rezonansów rzeczywistych konstrukcji od amplitudy drgań (luz uogólniony) zaowocowało opracowaniem, rezonansowej metody pomiaru luzów.

## LITERATURA

- [1] **Osiński Z:** *Teoria drgań*. PWN. Warszawa 1078.
- [2] **Wiśniowski W.:** *Wpływ zmian niektórych parametrów konstrukcji na właściwości dynamiczne samolotu*. Journal of Kones vol. 17, nr 1. Warszawa 2010.
- [3] **Wiśniowski W.:** *Wpływ ubytku masy na cechy dynamiczne obiektów latających*. Journal of Kones vol. 17, nr 2. Warszawa 2010.
- [4] **Wiśniowski W.:** *Luz uogólniony i rezonansowy sposób jego oceny*. Politechnika Poznańska 1986r.



- [5] **Wiśniowski W.:** *Identyfikacja właściwości dynamicznych układów mechanicznych metodą badan rezonansowych.* Rozprawa doktorska. Politechnika Warszawska 1980.
- [6] **Wiśniowski W.:** *Porównanie wyników prób rezonansowych prototypów wyrobu 300.* Sprawozdanie Instytutu Lotnictwa nr 24/BW-W2/90.

**W. Wiśniowski**

**EFFECT OF BACKLASH ON THE FLYING OBJECTS  
STRUCTURES DYNAMIC PROPERTIES**

***Abstract***

*The paper discusses the phenomenon resulting from the backlashes in the structure, observed during resonance tests. Traditionally, the backlashes in the aircraft control system are measured by a static method. Knowing the course of the real structure resonance frequencies in dependence on the vibrations amplitude (generalized backlash) has resulted in the development of the resonance method of backlash measuring. Resonance method has several advantages over standard static method and the designated backlash is defined as the proportion of each resonance total amplitude. The paper presents an original procedure for testing the backlash impact on the structure resonant frequency. The resonance method allows one to evaluate how big is the share of backlash amplitude in the total vibrations amplitude, because the resonant frequency is a parameter dependent on backlash. In order to compare the results when using backlash static and resonance measuring methods, the measurements of backlash in the same aircraft control system with both methods were performed.*