

## JEDEN ZE SPOSOBÓW ELIMINOWANIA REZONANSU ŚMIGŁA OGONOWEGO ŚMIGŁOWCA

WIESŁAW HAWRYLECKI

ZBR WSK Świdnik

### 1. Wstęp

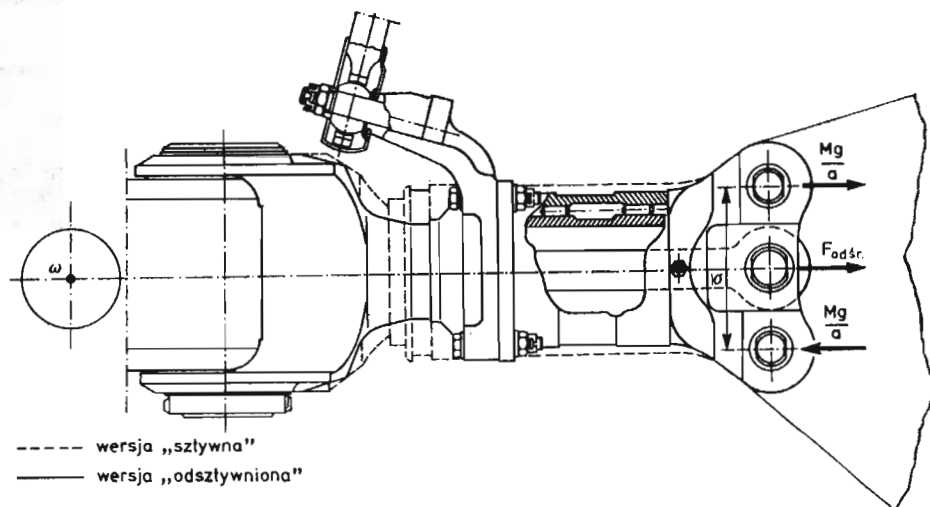
W procesie projektowania współczesnych konstrukcji lotniczych stosowane są coraz dokładniejsze metody obliczeniowe i pomiarowe, pozwalające na budowanie obiektów o charakterystykach zgoonych z zakładanymi. Pomimo to przy projektowaniu nowych konstrukcji prawie zawsze powstają kłopoty z różnymi niepożądanymi zjawiskami. Śmigłowięc z racji swoich zasad lotu i budowy jest obiektem latającym szczególnie podatnym na występowanie w jego konstrukcji szkodliwych zjawisk rezonansowych. Rezonanse te mogą wydatnie obniżyć resurs śmigłowca lub nawet uniemożliwić jego normalną eksploatację.

Śmigło ogonowe jest jednym z najbardziej odpowiedzialnych zespołów konstrukcyjnych śmigłowca, a jednocześnie pracuje ono w szczególnie trudnych warunkach. Obciążenia, działające na elementy śmigła, zależą nie tylko od wykonywanych manewrów, ale też od temperatury otoczenia, kierunków i prędkości strug zakadłubowych, itd. Stąd też, konstrukcja ta obliczana jest szczególnie dokładnie, a potem poddawana wielu próbom statycznym i dynamicznym.

Poniżej zamieszczone zostały tylko wybrane wyniki obliczeń i prób, ilustrujące przebieg prac konstruktorsko-badawczych nad nowym śmigłem ogonowym. W wyniku tych prac powstało śmigło ogonowe, spełniające stawiane mu wymagania.

### 2. Przebieg prób i badań

Zaprojektowano śmigło ogonowe o konstrukcji mieszanej. Piasta śmigła została wykonana z tytanu, a jego łopatki z laminatu szklanego. Niektóre elementy ramion piasty wykonano ze stali. Piasta połączona jest z łopatką w sposób przegubowy, przegubem leżącym w płaszczyźnie ciągu śmigła. Siła odśrodkowa pochodząca od łopatki przenosi się na piastę za pośrednictwem pakietu blach stalowych. Pakiet ten umieszczony jest wewnątrz ramienia piasty. Siły poprzeczne i momenty gnące, pochodzące z płaszczyzny ciągu i płaszczyzny obrotu, przenosi ramię przegubu osiowego.

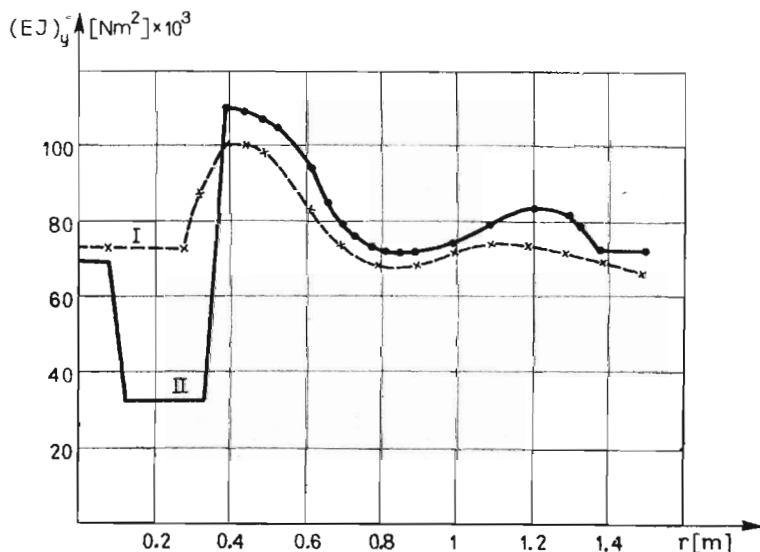


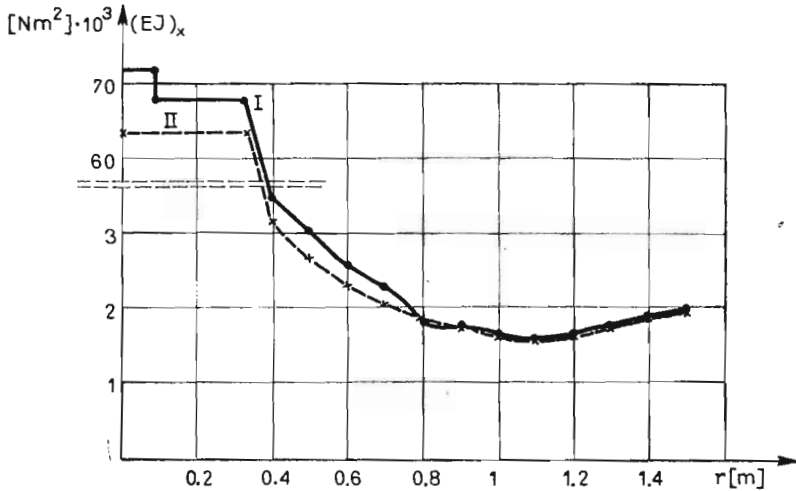
Rys. 1. Uproszczony rysunek ramienia piasty. Naniesiono obrys ramienia „sztywnego” na obrys ramienia „odsztyniwnionego”.

Po wykonaniu pierwszych egzemplarzy śmigła przystąpiono do prób statycznych, mających na celu wyznaczenie jego rzeczywistych charakterystyk sztywnościowych. Przedstawiono je na wykresach rys. 2a i rys. 2b.

Dane te są niezbędne do zweryfikowania obliczeniowych własności dynamicznych przyjętych w ramach projektu technicznego. Na rys. 3a pokazany jest wykres częstości i postaci drgań własnych śmigła, uzyskany na drodze obliczeniowej z wykorzystaniem danych pochodzących z pomiarów.

Na wykres naniesiono tylko ważniejsze z otrzymanych wyników, nie przytaczając





Rys. 2. Rozkład sztywności wzdłuż ramienia piasty śmigła a) płaszczyzna obrotu b) płaszczyzna ciągu, w wersjach „sztywnej” i „odsztynwionej”

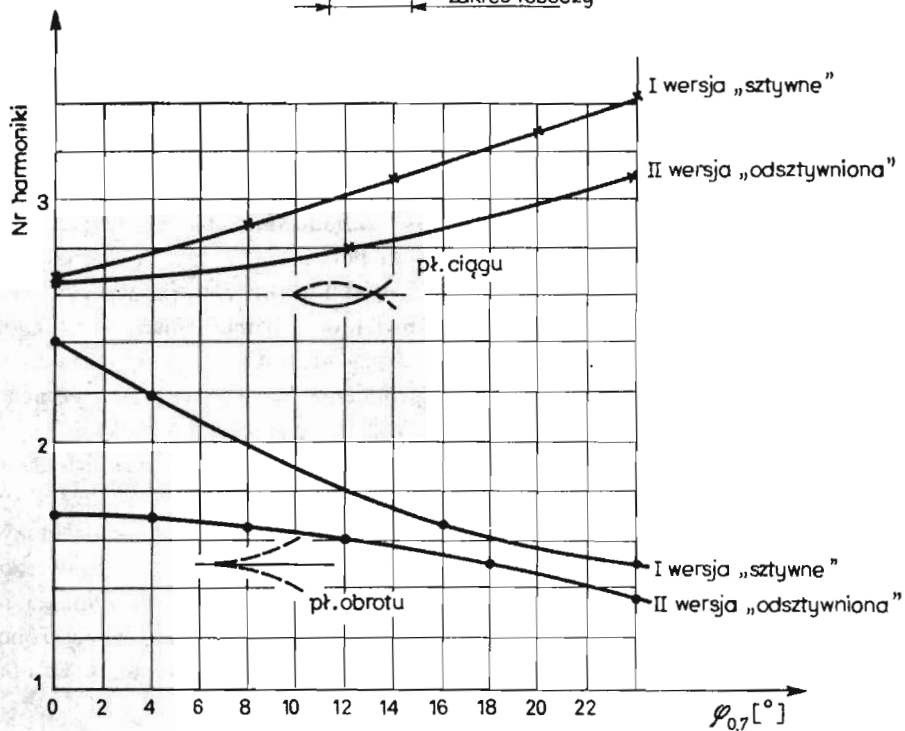
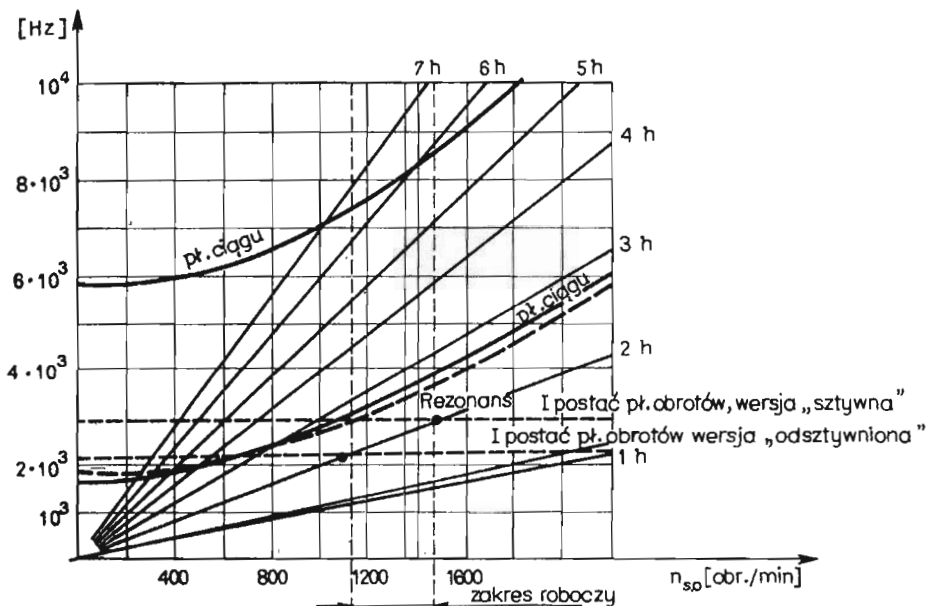
całej procedury obliczeniowej. Przedstawiono (rys. 3b) wpływ kąta nastawienia łopatki śmigła na zmianę częstości drgań własnych w obu płaszczyznach: ciągu i obrotu.

Przebieg krzywych (rys. 3a) pozwala stwierdzić, że na obrotach roboczych możliwy był rezonans łopatek śmigła w płaszczyźnie obrotów z drugą harmoniczną obrotów roboczych. Dla weryfikacji wykonano próbę na specjalnie zbudowanym stanowisku badawczym potwierdzając postawioną hipotezę.

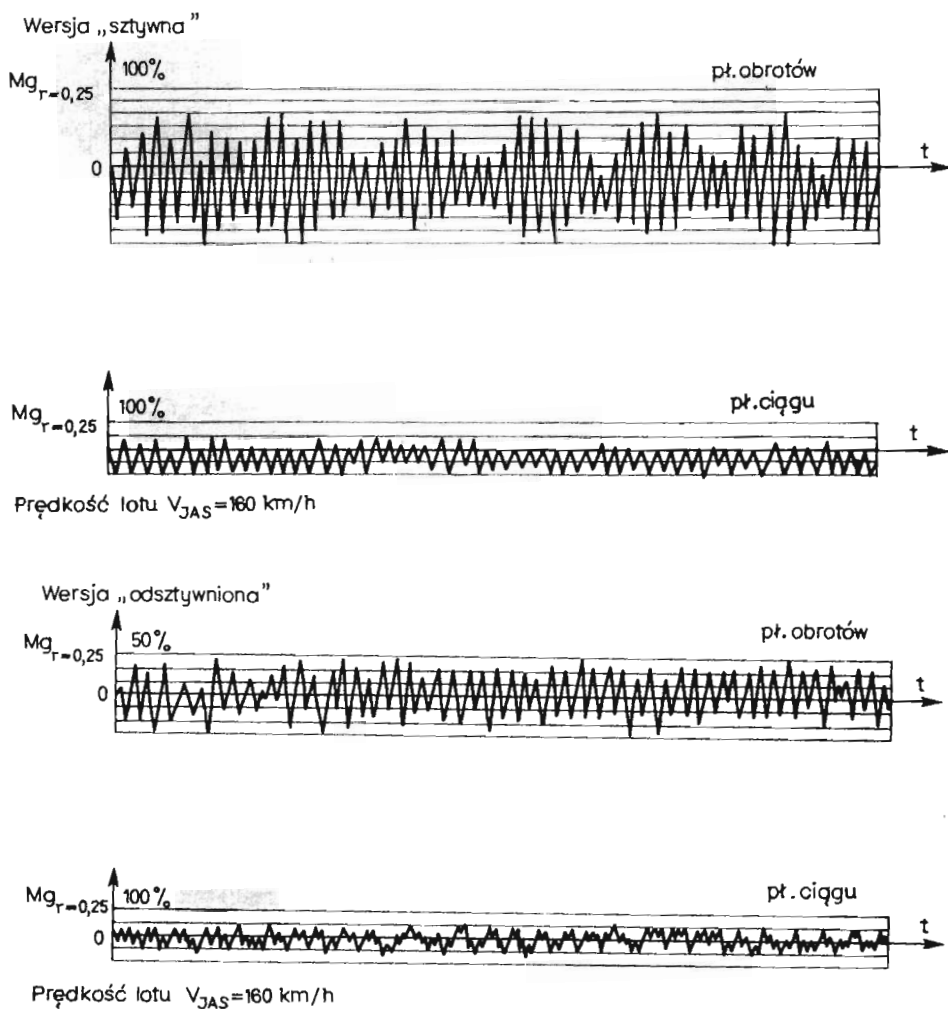
Stanowisko to składało się z silnika elektrycznego prądu stałego, który przez przekładnię zapewniał płynną regulację obrotów śmigła, belki ogonowej śmigłowca wraz z wałem transmisji i przekładniami pośrednimi. Całość zabudowano na kratownicy stalowej. W ten sposób odwzorowano rzeczywiste warunki podparcia śmigła, co nie jest bez znaczenia dla prawidłowości pomiarów. Na stanowisku odwzorowano rzeczywisty układ sterowania kątem nastawienia śmigła. Umożliwiał on płynną zmianę tego kąta wraz ze zmianą obrotów śmigła. Postacie i częstości drgań zidentyfikowano za pomocą odczytu wskazań tensometrów naklejonych wzdłuż promienia śmigła w płaszczyznach ciągu i obrotu. Układ wyskalowanych tensometrów rozmieszczono w „strzałkach” uprzednio obliczonych postaci własnych. Parametry próby rejestrowano za pomocą zapisu magnetycznego z użyciem telemetrii i wielokanałowej aparatury rejestrującej, pracującej w systemie modulacji kodowo-impulsowej (PCM). Każdy kanał pomiarowy był przeglądany przez system z częstością próbkowania wielokrotnie przewyższającą częstości mierzone.

Eksperyment wykazał duże odkształcenia zmienne pochodzące od zginania łopatek w płaszczyźnie wirowania. Maksimum tego zjawiska występowało przy obrotach roboczych, gdy kąt nastawienia łopatek wynosił około  $9^\circ$ . Zidentyfikowany punkt wzmocnienia rezonansowego naniesiono na wykresie (rys. 3a).

Takie śmigło zabudowano na śmigłowcu i wykonano próbne loty, mierząc za pomocą identycznego systemu pomiarowego odciążenia gnące w wybranych przekrojach łopatki i piasty. Wyniki pomiarów przedstawiono w formie wykresów na rys. 4 i 5.



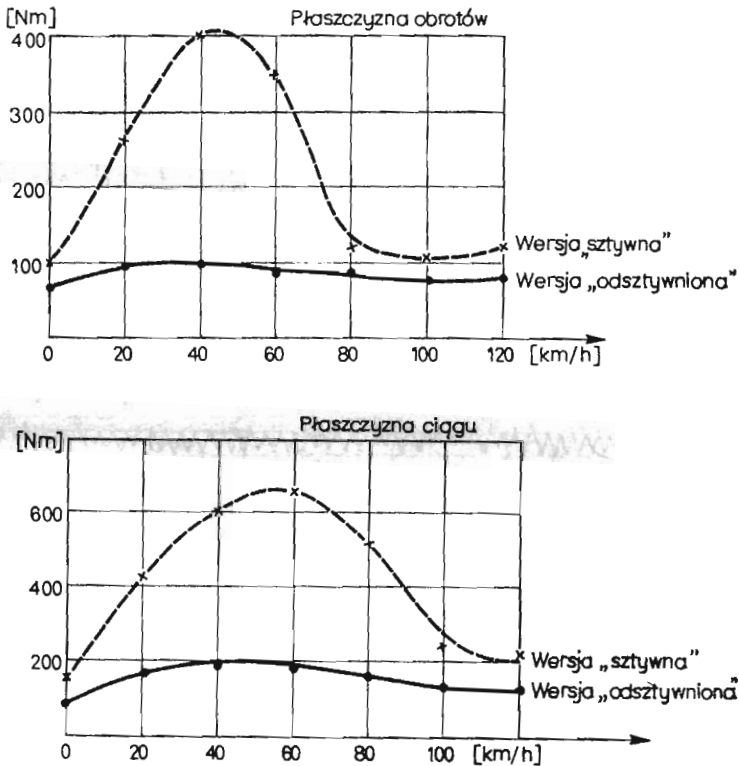
Rys. 3. Wykres rezonansowy śmigła a) naniesiono krzywe pierwszej postaci zginania dla obu wersji b) zmiana częstości drgań własnych ramienia śmigła w funkcji kąta nastawienia



Rys. 4. Przykładowe przebiegi czasowe amplitudy momentów gnących ramię piasty śmigła w płaszczyznach ciągu i obrotu a) wersja „sztywna” b) wersja „odsztyniona”

Z wykresów tych widać wyraźny wzrost momentów gnących ramię piasty. Zjawisko to było zależne od kąta nastawienia łopatek i od prędkości lotu. Obserwowany charakter zmian obciążeń w zależności od prędkości lotu był zgodny z oczekiwaniami, ale dla większości obciążeń przewyższał dopuszczalne granice.

W przebiegu obciążeń (rys. 4a) widoczne są też dudnienia o głębokiej modulacji. Wszystko to rzutowało niekorzystnie na przewidywaną trwałość zmęczeniową badanego amienia piasty. Konieczna stała się modernizacja konstrukcji, przedstawiona ideowo a rys. 1. W pracach modernizacyjnych postawiono sobie za cel wprowadzenie tylko takich zmian, aby jak najmniejszym kosztem i najmniejszym nakładem pracy spowodować odstojenie śmigła od rezonansu z II harmoniczną obrotów roboczych, z zachowaniem własności kinematycznych i geometrycznych (prędkość obrotowa, promień, profil, itd.).



Rys. 5. Wykresy zmian amplitud momentów gnących ramię piasty śmigła w płaszczyznach ciągu i obrotu, w funkcji prędkości lotu a) płaszczyzna obrotu b) płaszczyzna ciągu

Zdecydowano się na zmianę konstrukcji ramienia piasty polegającą na jej odsztynieniu. Zachowano niezmiennione łopatki i nieznacznie zmieniono konstrukcję korpusu osiowego śmigła. Zmniejszono wymiary poprzeczne ramienia piasty, co spowodowało wyraźny spadek sztywności na zginanie. Zmiana sztywności giętej ramienia piasty przedstawiona jest na wykresie rys. 2a i rys. 2b w zestawieniu z danymi, otrzymanymi dla śmigła wersji wcześniejszej.

Korzystając z nowych danych, powtórzono wszystkie obliczenia i próby, włącznie z próbami w locie. Dla przykładu zamieszczono tylko niektóre wyniki prób w locie (rys. 4, 5). Pokazane są one w zestawieniu z danymi otrzymanymi dla śmigła wersji poprzedniej.

Porównanie wyników prób pozwala stwierdzić, że odsztynione śmigło wykazuje znaczny spadek dynamicznych obciążeń gnących ramię piasty i łopatkę śmigła, szczególnie w płaszczyźnie obrotu. Został, tym samym, osiągnięty zasadniczy cel modernizacji, co potwierdza się w czasie eksploatacji śmigła w różnych stanach lotu śmigłowca.

### 3. Wnioski

Konstrukcja przedstawionego śmigła zapewnia przejęcie głównej siły rozciągającej ramię piasty przez pakiet blaszany. Momenty gnące i siły poprzeczne przejmowane s

przez korpus ramienia piasty. Modernizacja ramienia nie pociągnęła za sobą zmiany wytrzymałości śmigła ze względu na główne siły odśrodkowe, a umożliwiła dobór sztywności giętej. Pozwoliło to na efektywne operowanie własnościami dynamicznymi takiego śmigła, a w szczególności jego częstościami własnymi.

#### Literatura

1. W. JOHNSON, *Helikopter Theory*, Princeton University Press 1980.
2. Р. А. МИХЕЕВ, *Прочность вертолетов*, Машиностроение 1984
3. М. Л. Миль и др., *Вертолеты, расчёт и проектирование*, Машиностроение 1967.

#### Резюме

#### ОДИН ИЗ МЕТОДОВ ИСКЛЮЧЕНИЯ РЕЗОНАНСА ХВОСТОВОГО ВИНТА ВЕРТОЛЁТА

Статья касается явления резонанса на хвостовом винте вертолета. Представлен ход вычислительных и измерительно-исследовательских работ с целью исключения этого резонанса.

Обращается внимание на то, что разделение главных нагрузок в конструкции втулки винта облегчит подбор динамических характеристик такого винта.

#### Summary

#### A METHOD OF TUNNING THE RESONANCE OF HELICOPTER TAIL ROTOR

This article deals with the resonance phenomena in helicopter tail rotor. It presents the run of calculations and research works aiming at tuning the tail rotor construction.

It has been noted, that dividing the main loads of the rotor in the hub design, enables a ready and inexpensive method of controlling the dynamic characteristic of the rotor.

*Praca wpłynęła do Redakcji dnia 16 marca 1987 roku*