

## POMIAR I REJESTRACJA WIDMA OBCIĄŻEŃ SKRZYDEŁ SZYBOWCÓW LAMINATOWYCH METODĄ TENSOMETRYCZNĄ

PIOTR LAMERS

PZL-Bielsko

### 1. Idea pomiaru

Dotychczasowa metoda tworzenia tzw. bloku obciążeń skrzydeł w czasie eksploatacji polegała na pomiarze pośrednim. Mierzono przyśpieszenia dynamiczne w środku ciężkości szybowca oraz w środku ciężkości skrzydła i na ich podstawie wnioskowano o wielkości obciążeń doznawanych przez skrzydło.

Uzyskane dane były nieadekwatne do rzeczywistych wartości obciążeń doznawanych przez dźwigar i okucie w trakcie pomiaru, tj. do wartości momentu gnącego, a w konsekwencji naprężeń.

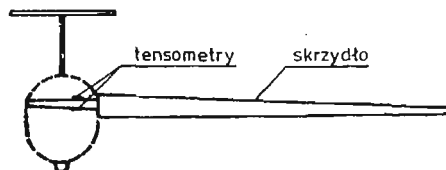
Wspomniany błąd powstawał zwłaszcza przy pomiarze wielkości szybkozmiennych-dynamicznych, w trakcie startu i lądowania. W istocie mierzono pobudzenia jakim poddawane było skrzydło, a nie jego odpowiedź.

Istota omawianej metody polega na bezpośrednim pomiarze obciążeń poprzez pomiar naprężeń w interesującym nas miejscu metodą tensometryczną. Jako obiekt pomiarów wybrano szybowiec SZD-48-1 „Jantar Standard”.

Podstawową trudnością był brak doświadczeń związanych z pomiarem naprężeń w laminatowym materiale kompozytowym. Należało zebrać dane dotyczące sposobu klejenia tensometrów oraz błędów pomiarowych, spowodowanych ewentualnymi odkształceniami plastycznymi oraz tzw. pęzaniem tensometrów.

Wydawało się, iż przy zastosowaniu odpowiedniego ograniczenia na tzw. wydłużenie względne, czy wielkość momentu gnącego badany element, materiał kompozytowo-laminatowy można będzie potraktować jako całkowicie sprężyste.

W celu zarejestrowania momentu zginającego, działającego na końcówkę dźwigara dokonywano rejestracji sygnału z tensometrów pracujących w układzie pełnego mostka, przyklejonych do końcówki dźwigara, w odległości od okucia około 2/3 długości końcówki.



Rys. 1. Miejsce naklejenia tensometrów.

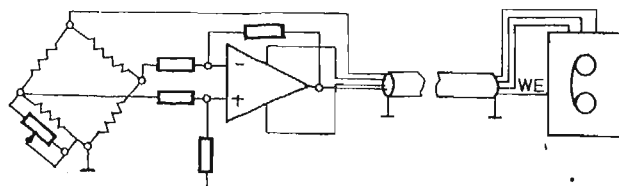
## 2. Zestaw aparatury pomiarowej

Do pomiarów użyto tensometrów foliowych firmy Philips o oporności 120 Ohm i bazie 30 mm. Na odpowiednio przygotowaną powierzchnię przyklejono po 2 tensometry z każdej strony dźwigara. Następnie tensometry połączono w układzie pełnego mostka.

Do klejenia użyto żywicy epoksydowej tego samego rodzaju z jakiej wykonano dźwigar.

Tensometry zasilano stałym napięciem +5 V z zasilacza zintegrowanego, o wysokich parametrach stabilności napięcia wyjściowego, mogącego służyć jako źródło napięcia wzorcowego. Prąd płynący przez tensometry wynosi około 41,6 mA, co zapewnia dobrą stabilność termiczną. Czułość tak połączonego mostka odniesiono do wartości obciążenia. Wynosi ona około  $10 \text{ mV}/n$ , gdzie  $n = 1$  jest współczynnikiem obciążenia skrzydeł w locie swobodnym w spokojnym powietrzu, gdy przyspieszenie wynosi 1 g.

Napięcie z mostka wzmocniono dwukrotnie we wzmacniaczu pomiarowym pracującym w układzie wzmacniacza różnicowego (Rys. 2).



Rys. 2. Wzmacniacz pomiarowy.

Wyjście wzmacniacza podłączono na wejście kanału Nr 4 rejestratora. Zakres napięcia wejściowego rejestratora wynosi  $\pm 100 \text{ mV}$ , co daje możliwość pomiarów w zakresie około 6,5 g. W trakcie rejestracji naprężeń rejestrowano również wartości przyspieszeń chwilowych, posługując się czujnikiem potencjometrycznym firmy SFIM typu J 4221, o zakresie  $\pm 4 \text{ g}$ .

Do pomiarów użyto aparatury SRD składającej się z 8-mio kanałowego rejestratora kasetowego RL8 oraz czytnika stacjonarnego CS8.

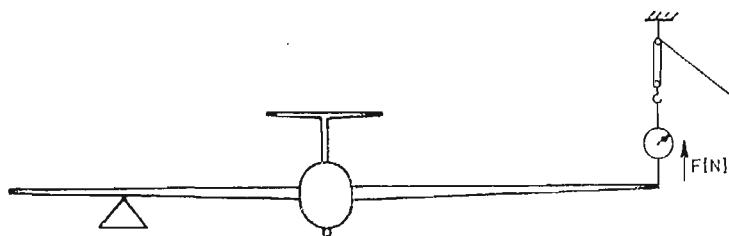
## 3. Przedstawienie wyników pomiarów

Sposób wzorcowania:

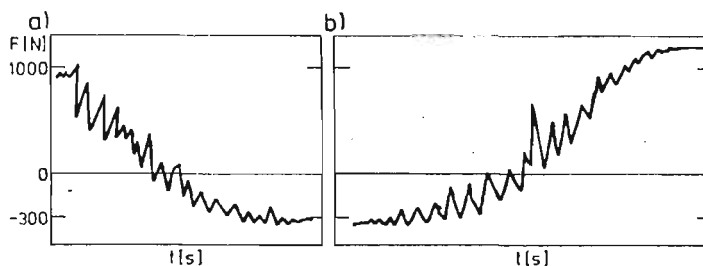
Rejestrowano sygnał z mostka tensometrycznego dla różnych wartości sił przykładowych do końcówki skrzydła. Wartości te wynosiły odpowiednio: 50, 100, 150 ... 500 N. Znając długość skrzydła oraz jego ciężar, wyznaczono momenty gnące w miejscu pomiarowym. W ten sposób utworzono skalę, do której odniesiono wielkości zarejestrowanych obciążeń. Szczególnie interesujące wyniki pomiarów uzyskano w trakcie startów i lądowań, jako że są to stany lotu mające największy udział w zmęczeniu konstrukcji podczas eksploatacji. Otrzymane przebiegi pokazano na rys. 4.

Na osi rzędnych naniesiono siłę  $F$  odpowiadającą wartościom zarejestrowanych naprężeń. Obciążenie  $n = 1$  (lot swobodny) odpowiada momentowi gnącemu od siły około

1000 N przyłożonej do końcówki skrzydła. Poziom  $-300$  N to obciążenie dźwigara na ziemi przez ciężar skrzydła. Po wykreśleniu zarejestrowanych przebiegów i sporządzeniu skali, okazało się, że amplituda obciążeń doznawanych przez końcówkę dźwigara wraz z okuciem, wynosi nie więcej niż 1500 N na końcówce skrzydła, co współczynnikowi obciążenia około  $n = 1,5$ .



Rys. 3. Wzorcowanie mostka tensometrycznego.



Rys. 4. Przebieg obciążeń dynamicznych; a) ładowanie; b) start.

W celu wyznaczenia błędu histerezy wykonano specjalne loty testowe. W kilku lotach uzyskano parokrotnie przeciążenia statyczne równe  $+3,5$  g. Rejestrowano wielkość przyspieszeń oraz sygnał z tensometrów. Następnie porównywano zarejestrowane wartości obciążenia z kilku lotów dla tej samej wartości przeciążenia  $3,5$  g. Uzyskano blisko  $2,5\%$  rozrzut wyników. Z dobrym przybliżeniem można uznać, że błąd histerezy jest  $2,5\%$ . Pozostaje jedynie sprawdzenie zmiany wartości błędu histerezy w miarę stopnia zmęczenia materiału. Materiał staje się bardziej plastyczny, więc błąd histerezy będzie prawdopodobnie wzrastał.

Uwzględniając błąd pomiaru przyspieszeń, wynoszący  $1\%$ , można przyjąć, że pomiar obciążeń doznawanych przez skrzydło laminatowe jest dokonywany z błędem  $3,5\%$  w zakresie od  $-2$  do  $3,5$  g.

#### 4. Komputerowa obróbka danych pomiarowych

Komputerową analizę zarejestrowanych przebiegów przeprowadzono w Instytucie Technologiczno-Samochodowym Politechniki Łódzkiej. Zestaw aparatury składał się z przetwornika analogowo-cyfrowego z pamięcią ferrytową, komputera Mera 400 oraz digigrafu sterowanego komputerem.

Odczytywany na czytniku CS8 przebieg analogowy podlegał przetworzeniu na postać cyfrową z częstotliwością próbkowania 20 Hz. Próbki w postaci binarnej umieszczane były w pamięci przetwornika, następnie wyprowadzane na taśmę perforowaną. Dane z taśmy wprowadzane były do pamięci komputera. Przetworzenie polegało na „wyczyszczeniu” sygnału z szumu oraz umieszczeniu na osi układu współrzędnych o odpowiednio unormowanej skali. Przetworzony przebieg był wykreślany automatycznie za pomocą digigrafu sterowanego przez komputer.

Obecnie pomiary przetwarzane są za pomocą własnego Modułowego Systemu Komputerowego MSK-1, który posiada możliwość bezpośredniego przetwarzania przebiegów analogowych z 16 kanałów, przy pomocy scalonych przetworników analogowo-cyfrowych o maksymalnym okresie przetwarzania 100  $\mu$ s. Sposób analizy sygnału i oprogramowanie, będą przedmiotem odrębnego omówienia.

## 5. Wnioski

Dzięki przeprowadzonym próbom stwierdzono możliwość dokonywania pomiarów naprężeń w elementach laminatowych, przy ograniczonej wartości wydłużeń względnych. Ponadto stwierdzono, że stosowanie, jako kleju do tensometrów, żywicy epoksydowej tego samego rodzaju co podłoże, daje zadowalające rezultaty.

Nie stwierdzono zjawiska pełzania tensometrów podczas długotrwałego obciążania elementu badanego.

Ze względu na wykonanie zbyt małej ilości lotów próbnych, nie można jeszcze ustalić wpływu zmęczenia materiału na wielkość błędów pomiarowych. Nie mniej wydaje się, że poczyniono istotny krok w kierunku wyznaczenia rzeczywistego widma obciążeń eksploatacyjnych szybowców laminatowych. Dotychczasowe pomiary zdają się wskazywać, iż rzeczywiste widmo obciążeń będzie zdecydowanie inne, „łagodniejsze”, od dotychczas przyjmowanego, częściowo teoretycznego. Oznacza to, że maksymalne amplitudy zmierzonych obciążeń są znacznie mniejsze od dotychczas przyjmowanych. Wydaje się, że ich udział procentowy jest mniejszy od przyjmowanego w obliczeniach. Wstępna analiza przeprowadzonych pomiarów wskazuje na możliwość znacznego przedłużenia resursów istniejących konstrukcji oraz możliwość dokonania korzystnych zmian konstrukcyjnych projektowanych prototypów.

Pomiary będą kontynuowane, a komplet danych umożliwi wyznaczenie rzeczywistego widma obciążeń.

Posiadany przez PZL-Bielsko sprzęt komputerowy umożliwia szybką analizę rejestrowanych przebiegów.

Obecnie prowadzone są pomiary obciążeń eksploatacyjnych skrzydła szybowca SZD-51-1 „Junior”.

## Резюме

### ИЗМЕРЕНИЕ И РЕГИСТРАЦИЯ СПЕКТРА НАГРУЖЕННЫХ КРЫЛЬЕВ ЛАМИНИРОВАННЫХ ПЛАНЕРОВ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Представлен способ измерения спектра нагрузок крыльев планеров из стеклоспоксидного ламината.

Описаны тип и способ размещения тензометров, а также измерительная аппаратура содержащая регистратор данных и компьютерную систему обработки данных.

Полученные до настоящего времени результаты во время полётных испытаний приведены в заключениях.

#### S u m m a r y

#### A COMPOSITE GLIDER WING LOAD SPECTRUM MEASUREMENTS AND REGISTRATION BY STRAIN GAUGE TECHNIQUE

The practice of load spectrum measurements for a composite glider wing have been presented.

The kind of stress-gauge and their location as well as the measuring system consisting of data logger and data acquisition unit have been described.

A method of strain gauge calibration has been discussed. All to-day experience gained in flight tests is given in the conclusions.

*Praca wpłynęła do Redakcji 18 marca 1986 roku.*