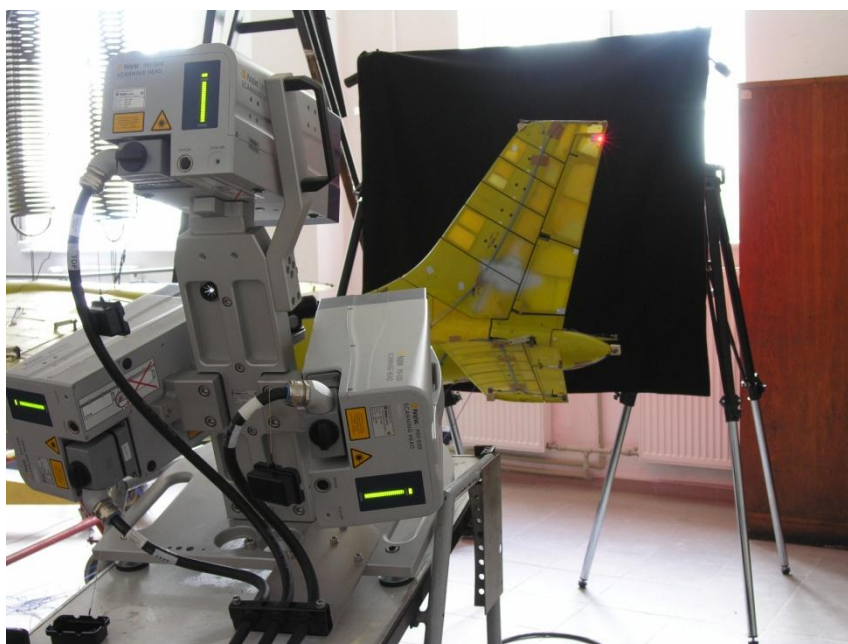


WYKORZYSTANIE WIBROMETRU SKANUJĄCEGO DO BEZKONTAKTOWYCH BADAŃ DRGAŃ

Tomasz KATZ,
Instytut Lotnictwa, Warszawa katz@ilot.edu.pl

1. WSTĘP

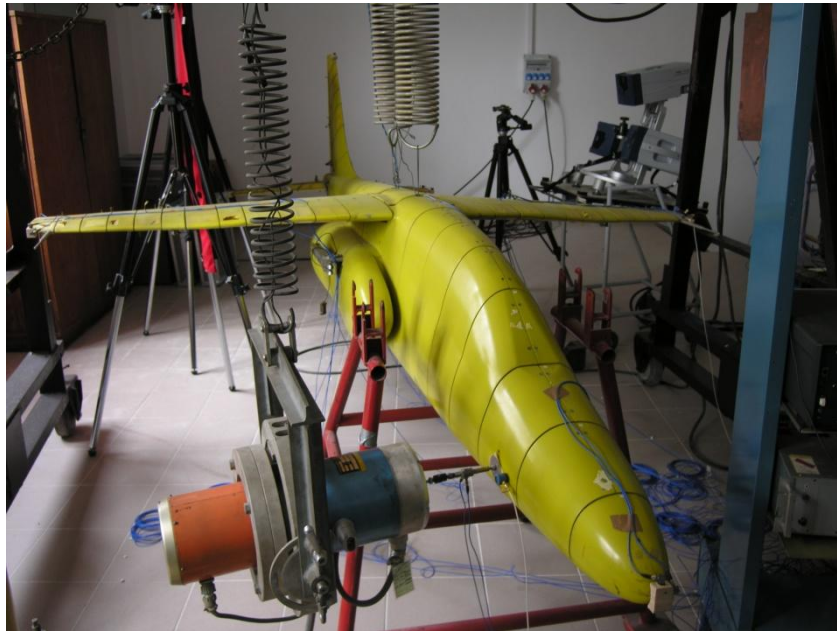
Artykuł ma na celu pokazanie możliwości zastosowania wibrometru laserowego do bezkontaktowych badań drgań. Służący do pomiaru drgań wibrometr laserowy Polytec PSV-500-3D jest jednym z nielicznych tego typu urządzeń w Polsce i wnosi nowe możliwości w pomiarach drgań i diagnostyce urządzeń. Zasada działania wibrometru laserowego opiera się na porównaniu wiązki lasera odbitego od badanego obiektu i docierającej do fotodetektora ze znanym sygnałem referencyjnym. Wibrometr laserowy zapewnia pomiar bezdotykowy drgań, dzięki czemu eliminuje się zakłócenia spowodowane czujnikami pomiarowymi.



Rys. 1. Widok wibrometru laserowego i obiekt badań

Poza tym pomiar może być realizowany z dużej odległości. Wibrometr laserowy wyróżnia się szerokim pasmem częstotliwościowym, pozwalającym na analizę drgań od częstotliwości bliskich zera, co daje możliwość diagnozowania obiektów o silnym tłumieniu drgań własnych. Bezdotykowy pomiar drgań umożliwia bezpośredni pomiar drgań konstrukcji lotniczych tj. szybowce, samoloty, śmigłowce jak i również urządzenia spoza lotniczej gałęzi

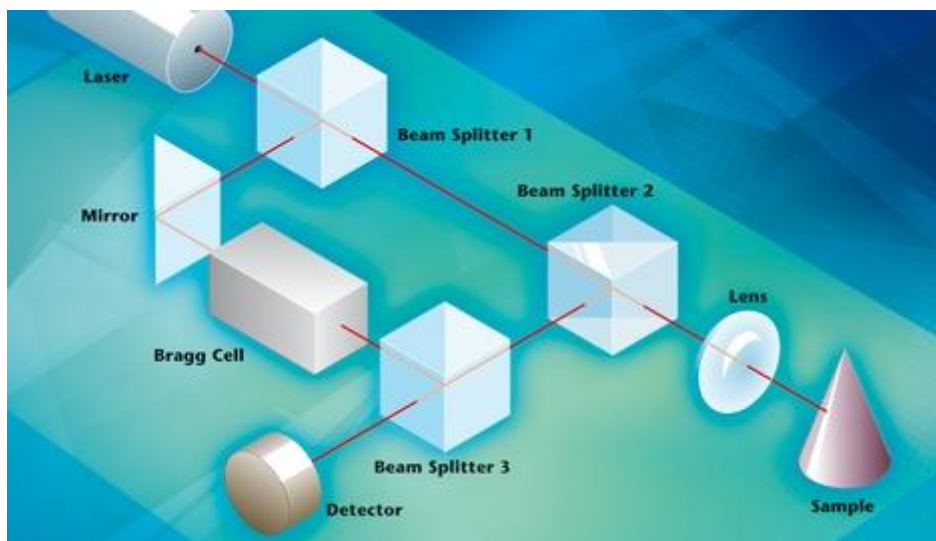
przemysłu. Autor przedstawia wykorzystanie wibrometru laserowego w badaniu drgań na modelu flatterowym samolotu I-22 Iryda.



Rys. 2. Model flatterowy samolotu I-22 Iryda

2. DZIAŁANIE WIBROMETRU SKANUJĄCEGO

Wibrometr z nazwy służy do pomiaru poziomu drgań badanych struktur. Działanie wibrometru laserowego opiera się na zmodyfikowanym interferometrze Macha-Zendera. Pomiar odbywa się poprzez oświetlenie wiązką lasera punktu i analizie odbitego światła w głowicy wibrometru. Drgania obiektu mierzone są poprzez pomiar częstotliwości i przesunięcia fazy odbitego światła od badanego obiektu i porównaniu z referencyjną wiązką lasera. Poniższy schemat na Rys. 3 zobrazowuje budowę interferometru w głowicy pomiarowej.



Rys. 3. Konfiguracja optyczna interferometru. Źródło: www.polytec.com

Źródłem światła w głowicy pomiarowej jest laser helowo-neonowy o fali liniowo spolaryzowanej. Następnie wiązka światła trafia na lustro półprzepuszczalne (BS1), na którym jest rozdzielana na wiązkę biegnącą na badany obiekt oraz na wiązkę będącą sygnałem referencyjnym. Wiązka padająca na obiekt przechodzi przez drugie lustro półprzepuszczalne (BS2) poczym przechodzi przez soczewkę ogniskującą na badanym obiekcie, odbita wraca do drugiego lustra półprzepuszczalnego, gdzie kierowana jest na trzecie lustro półprzepuszczalne (BS3). Lustro BS3 łączy wiązkę referencyjną z odbitą, która pada na detektor elektro-optyczny gdzie tworzony jest obraz interferencyjny w postaci jasnych i ciemnych prążków. Otrzymany obraz przetwarzany jest na sygnał elektryczny i analizowany w jednostce kontrolera wibrometru. Wykorzystując efekt Dopplera do pomiaru prędkości obiektu, jako, że fala odbita jest od poruszającej się powierzchni to zmianę częstotliwości f_D można opisać tak:

$$f_D = 2 * v / \lambda$$

gdzie v jest prędkością obiektu a λ jest długością emitowanej fali.

Wykorzystując znajomość długości fali laserowej (4.74×10^{14} Hz) i zmiany częstotliwości wyliczamy prędkość obiektu. Jednakże taki pomiar prędkości wykorzystując zmiany częstotliwości na wzorze interferencyjnym jest wprost proporcjonalny do prędkości obiektu. Skutkuje to brakiem możliwości rozpoznania czy badany obiekt porusza się w stronę interferometru czy też w stronę przeciwną. Tworzony obraz interferencyjny oraz zmiana częstotliwości są takie same w obie strony ruchu badanego obiektu. Aby umożliwić detekcję kierunku ruchu w interferometrze na ścieżce wiązki referencyjnej znajdują się modulator akustyczno-optyczny (Bragg cell), który zmienia częstotliwość wiązki lasera o 40MHz. Tak zmodyfikowana wiązka padając na detektor daje możliwość wykrycia kierunku ruchu badanego obiektu. Jeżeli obiekt oddala się od głowicy wibrometru rejestrowana częstotliwość fali jest powyżej 40 MHz, jeśli ruch odbywa się w stronę głowicy częstotliwość jest poniżej 40 MHz.

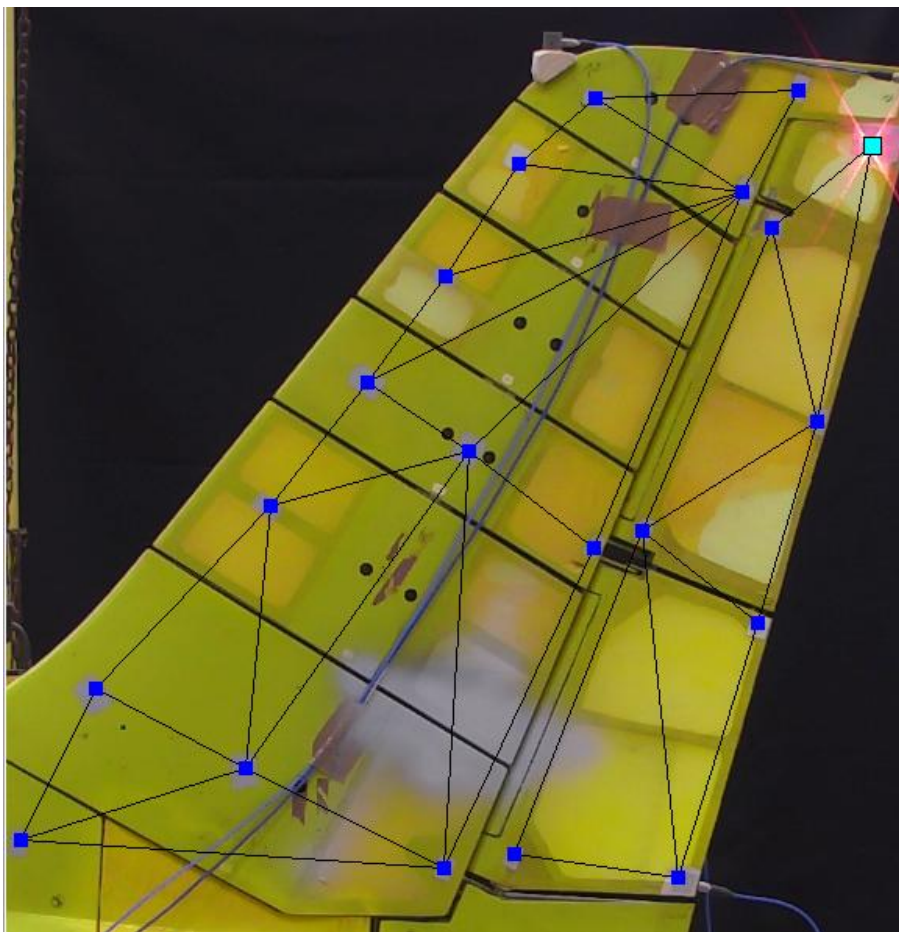
3. BADANIA MODELU FLATTEROWGO

Przeprowadzenie badania wibrometrem skanującym w technice 3D w pierwszej kolejności polega na skorelowaniu obrazu z kamery wizyjnej z obiektem badań dla każdej z trzech głowic pomiarowych. Następnie przeprowadza się kalibrację położenia wiązek laserowych w celu dokładnego określania odległości oraz punktów na badanym obiekcie w płaszczyźnie X, Y, Z. Do tego celu służy specjalny wzorzec referencyjny pokazany na Rys. 4. Jest to płyta z precyzyjnie naniesionymi współrzędnymi wraz z dwoma elementami wypukłymi do określania wymiarów w przestrzeni trójwymiarowej.



Rys. 4. Wzorzec referencyjny. Źródło: www.polytec.com

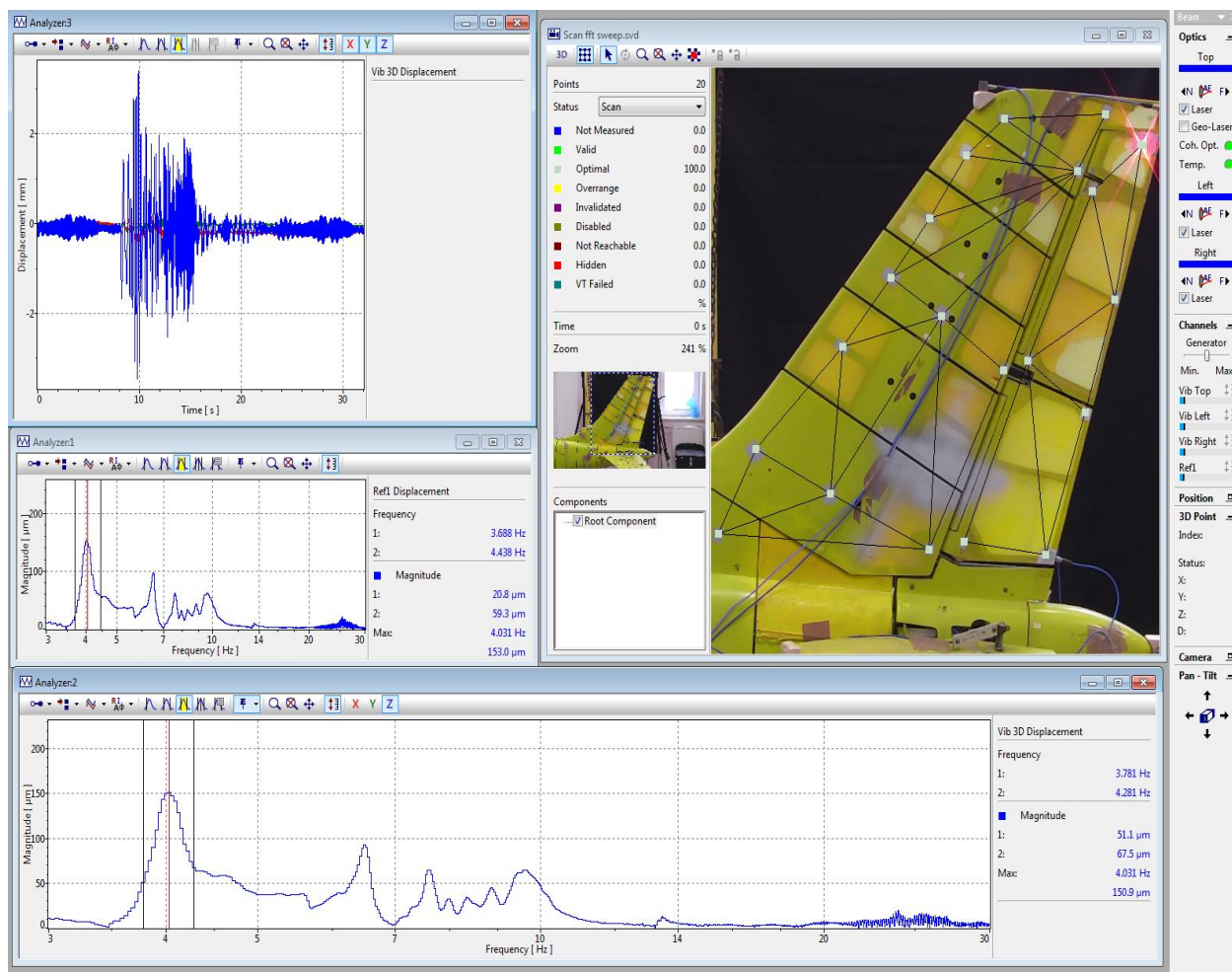
Tak skalibrowanym systemem tworzymy wirtualną siatkę punktów pomiarowych na badanym obiekcie. W tym miejscu praca z wibrometrem ma znaczącą przewagę nad systemem badania drgań opartym na klasycznych czujnikach przemieszczenia. Punkty pomiaru typujemy poprzez klikanie myszą na ekranie monitora bez żadnej ingerencji w badany obiekt. Każdy naniesiony punkt w wibrometrze jest położony w 3 osiach badawczych wibrometru. Daje to możliwość rejestrowania przemieszczenia się punktu w trójwymiarowej przestrzeni. Wykonując to samą czynność z czujnikami, musimy przemyśleć położenie każdego czujnika oraz zdecydować o kierunku montażu czujnika. Badając konstrukcje lotnicze każde z tych miejsc należy odpowiednio odłuścić oraz z racji krzywizn profili lotniczych stosować adaptory do mocowania czujników. Poniższy Rys. 5. Przedstawia usterzenie pionowe modelu samolotu I-22 Iryda z naniesionymi punktami pomiarowymi w postaci niebieskich kwadratów oraz klasycznym czujnikiem na górze statecznika.



Rys. 5. Siatka pomiarowa na usterzeniu pionowym.

Dalsza część badania polega na wzbudzaniu obiektu w drgania za pomocą wzbudnika o zadanych częstotliwościach oraz rejestracji otrzymanych wyników z punktów pomiarowych.

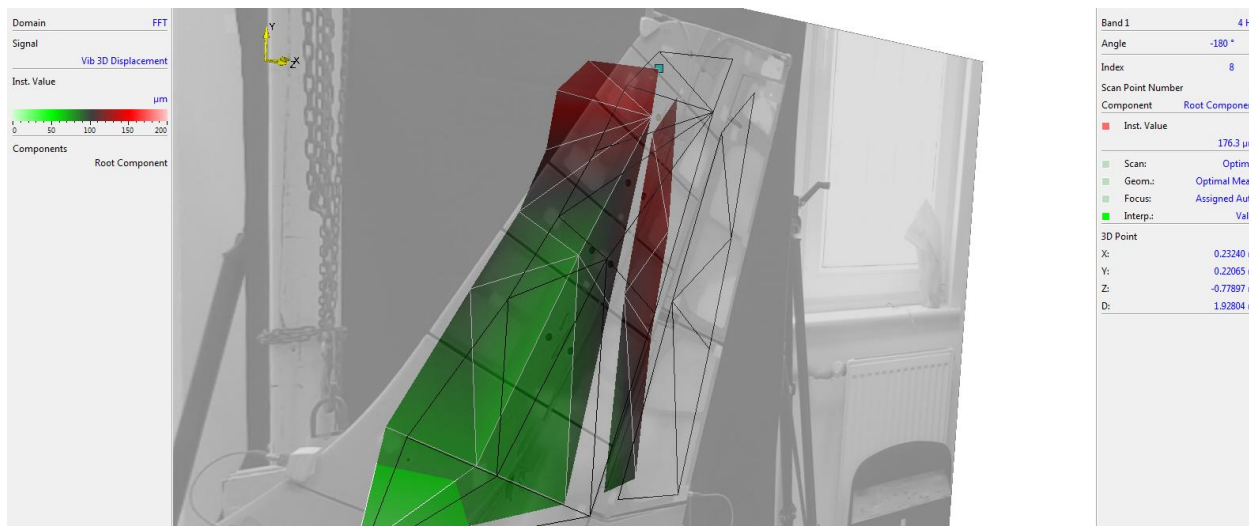
Rys. 6. przedstawia okna interfejsu w trakcie wykonywania pomiarów statecznika pionowego. Wykres w górnym lewym rogu przedstawia przebieg czasowy wzbudzenia względem przemieszczenia dla wszystkich 3 osi wibrometru. Jak widać osie czerwona X oraz zielona Y są prawie niewidoczne na tym zobrazowaniu, ponieważ model samolotu był wzbudzany poprzecznie do długości kadłuba.



Rys. 6. Model samolotu w trakcie badań.

Oznaczona kolorem niebieskim oś Y wskazuje na przemieszczenia się punktu pomiarowego o kilka mm względem staniu spoczynkowego. Punkt pomiarowy oznaczony jest czerwoną wiązką laserową w górnym prawym oknie. Następne dwa okna z niebieskimi wykresami przedstawiają kolejno od góry sygnał referencyjny z czujnika przyspieszenia oraz wykres FFT dla sygnału pomiarowego uzyskanego z wibrometru. Piki przedstawione w tym oknie odpowiadają kolejnym rezonansom wykrytym w badanym obiekcie. Jak widać wykres uzyskany z czujnika przyspieszenia i wykres z wibrometru pokrywają się, co dowodzi skuteczności pomiaru wibrometrem.

Zobrazowanie przedstawione na Rys.7. pokazuje charakter oraz kształt drgań dla statecznika pionowego modelu flatterowego samolotu I-22 Iryda. Kolor na obrazowaniu odpowiada przemieszczeniu elementu. Czym wyższa temperatura barwna tym większe przemieszczenie badanego elementu. Na bazie wykonanych pomiarów przemieszczenia i przyspieszenia oraz znając moduł Young'a i współczynnik Poisson'a można określić takie parametry badanego elementu jak odkształcenia i naprężenia



Rys. 7. Postać drgań dla 4Hz.

4. PODSUMOWANIE

W artykule opisano specyfikę budowy, działania oraz przeprowadzenia badania z użyciem wibrometru skanującego Polytec na bazie modelu flatterowego samolotu I-22 Iryda. Oparto się na wyjaśnieniu, czym jest wibrometr laserowy oraz przedstawiono zalety pracy z bezkontaktową metodą pomiaru drgań.

Do podstawowych zalet działania wibrometru należy dokładność, szybkość wykonywania pomiarów, oraz możliwość badania dużych powierzchni. Laserowy pomiar jest bezinwazyjny i bezpieczny dla badanego obiektu.

LITERATURA

[1] Theory manual, Polytec Scanning Vibrometer, Polytec GmbH

[2] Hardware manual, Polytec Scanning Vibrometer, Polytec GmbH