

# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

## Modern material technologies in aerospace industry

### Materiały inteligentne - oraz bazujące na nich systemy zespolone (ang. smart embedded systems) do zastosowania w lotnictwie

### Smart embedded systems based on intelligent materials

Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk  
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Instytut Lotnictwa w Warszawie, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Warszawska

**Tytuł rozwiązania Innowacyjnego**  
Title of the innovative solution

**Metodyka badania deformacji struktur cienkościennek z wykorzystaniem metod optyczno-numerycznych**

The research methodology of deformation measurement of thin-walled structures using optical-numerical methods

**Krótki opis rozwiązania**  
Brief description of the solution

Zadania podjęte w trakcie realizacji projektu umożliwiły wypracowanie metodyki pomiarów deformacji elementów konstrukcyjnych z wykorzystaniem metod optyczno-numerycznych. W trakcie badania wykorzystywane są skanery wiata białego, systemy oparte o cyfrową korelację obrazu oraz systemy fotogrametryczne. Badania tego typu pozwalają na odtworzenie w postaci cyfrowej geometrii badanego obiektu oraz na identyfikację pola przemieszczeń powierzchni konstrukcji w trakcie badania statycznych.

The tasks taken during the project made it possible to develop a methodology for measuring the deformation of structural elements using optical-numerical methods.

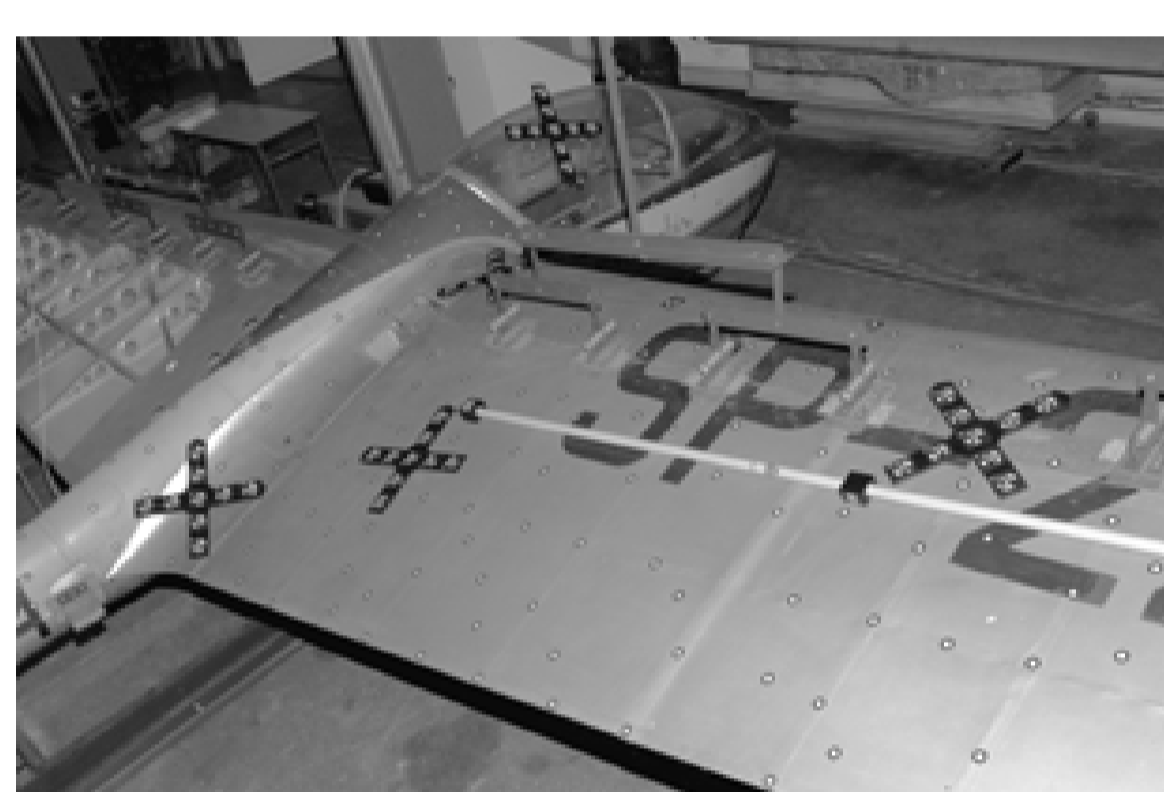
**Graficzna prezentacja rozwiązania Innowacyjnego**  
Visualization of the innovative solution

**PRZYKŁADOWE ZASTOSOWANIA**

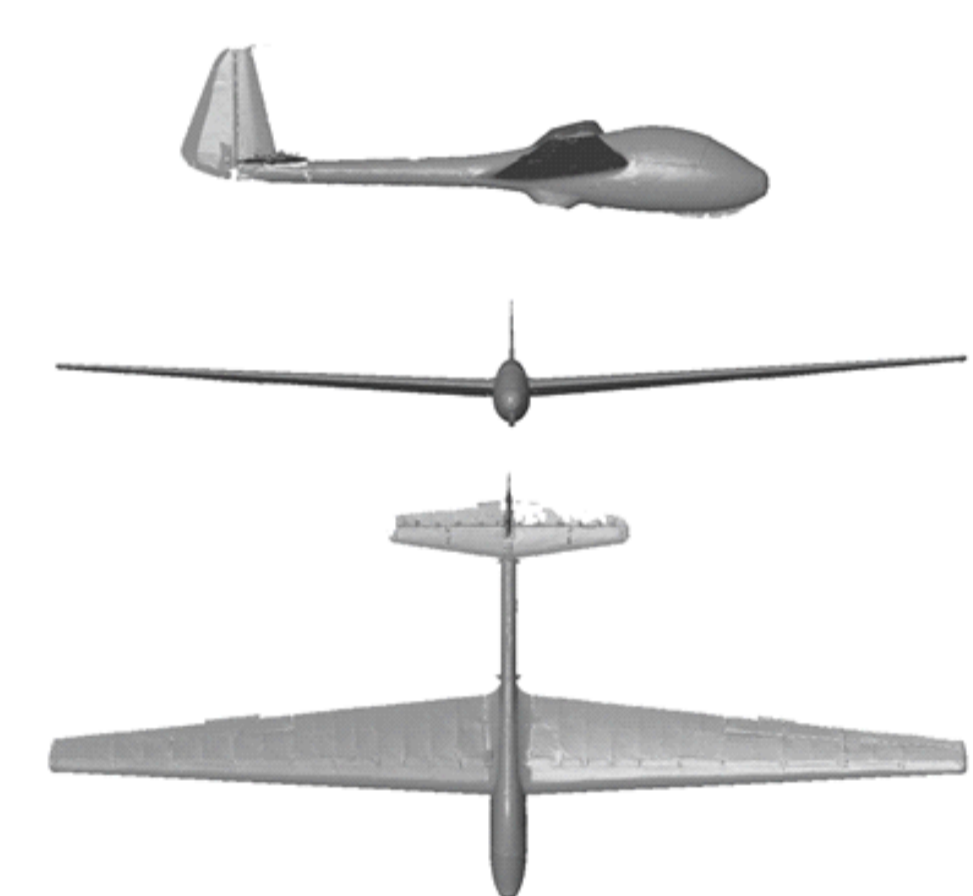
Tworzenie cyfrowych reprezentacji rzeczywistych obiektów (na przykładzie struktury szybowca)



Rys.1. Szybowiec przygotowany do pomiaru  
Fig.1. Sailplane prepared to measure



Rys.2. Kolejne etapy tworzenia trójwymiarowej, cyfrowej reprezentacji badanego obiektu pomiaru  
Fig.2. Creation steps of a three-dimensional, digital representation of the object

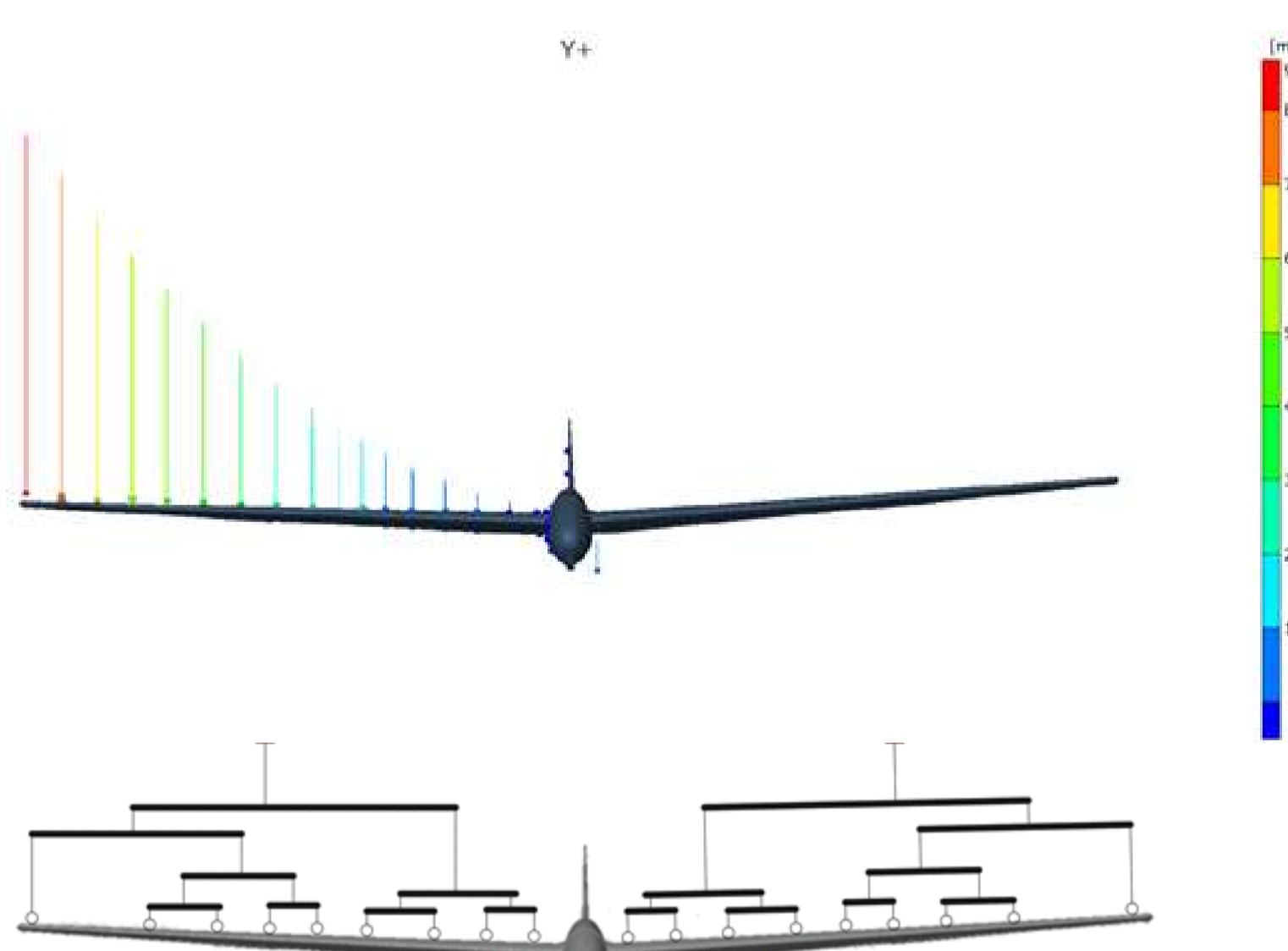


Rys.3. Cyfrowa reprezentacja badanego obiektu  
Fig.3. Digital representation of the object

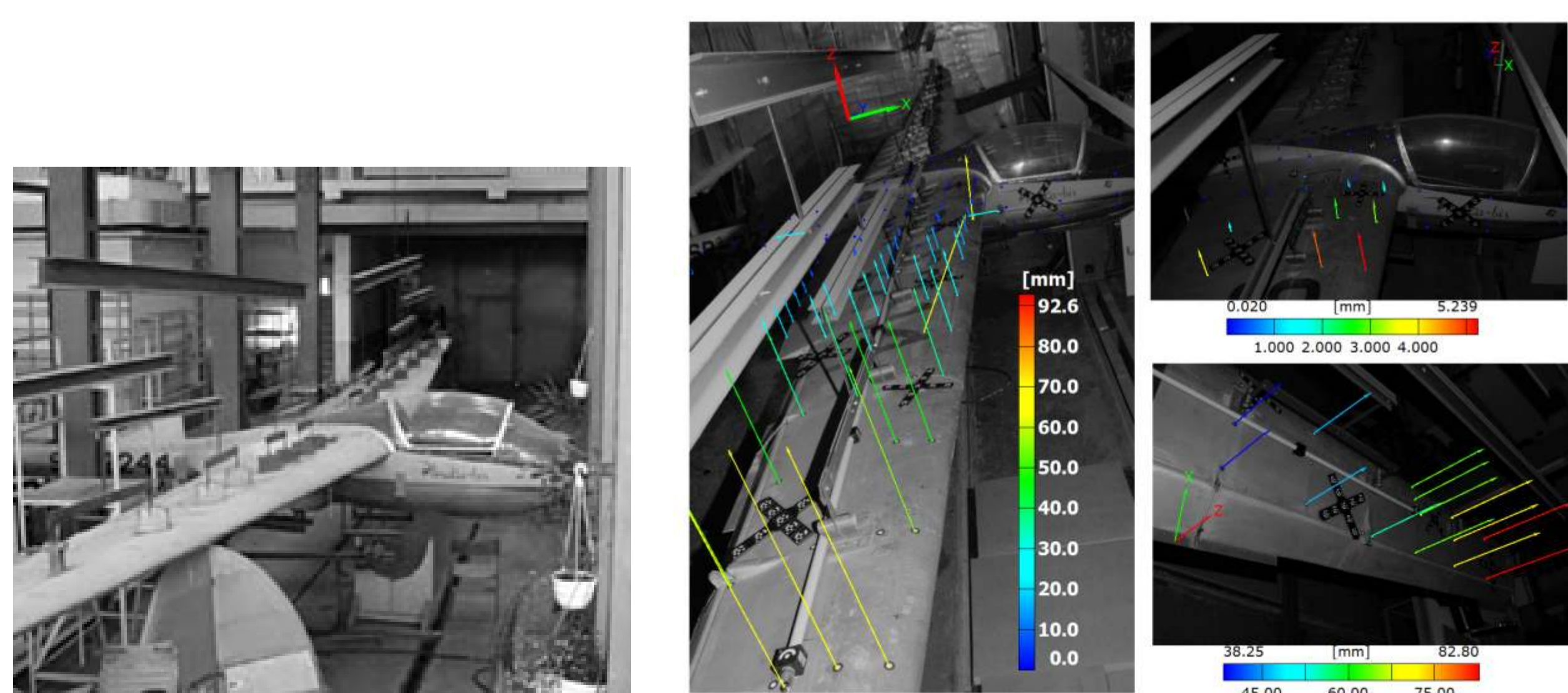


Rys.4. Porównanie rzeczywistej konstrukcji z wynikami pomiaru  
Fig.4. Comparison of actual construction and the measurement results

**Pomiary deformacji w trakcie prób statycznych**



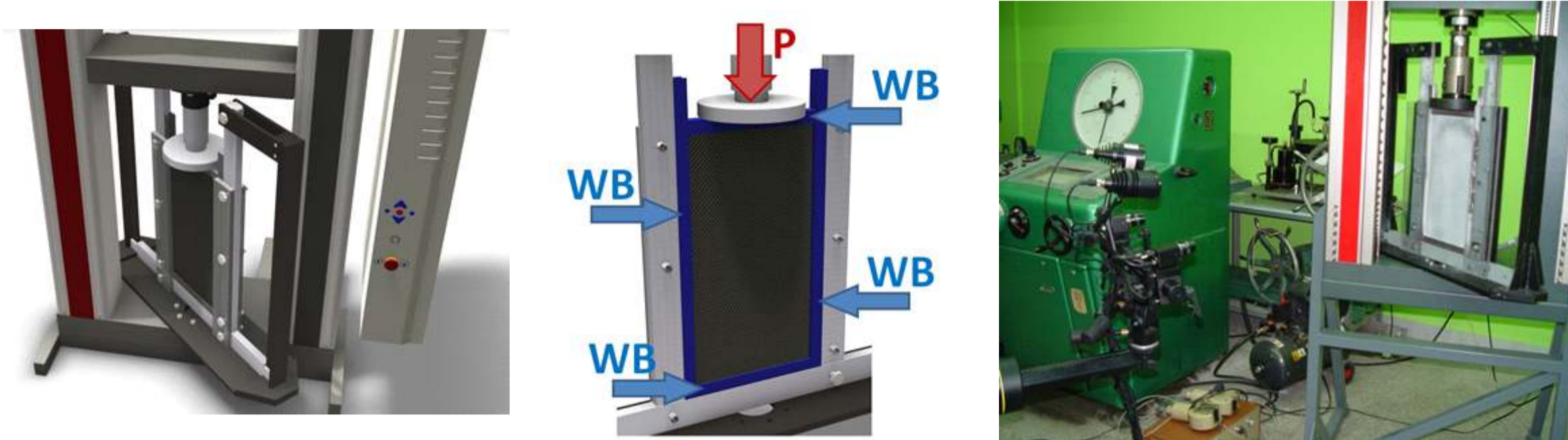
Rys.5. Schemat stanowiska pomiarowego oraz zmierzona linia ugięcia skrzydła  
Fig.5. The scheme of the test stand and the measured deflection of wing



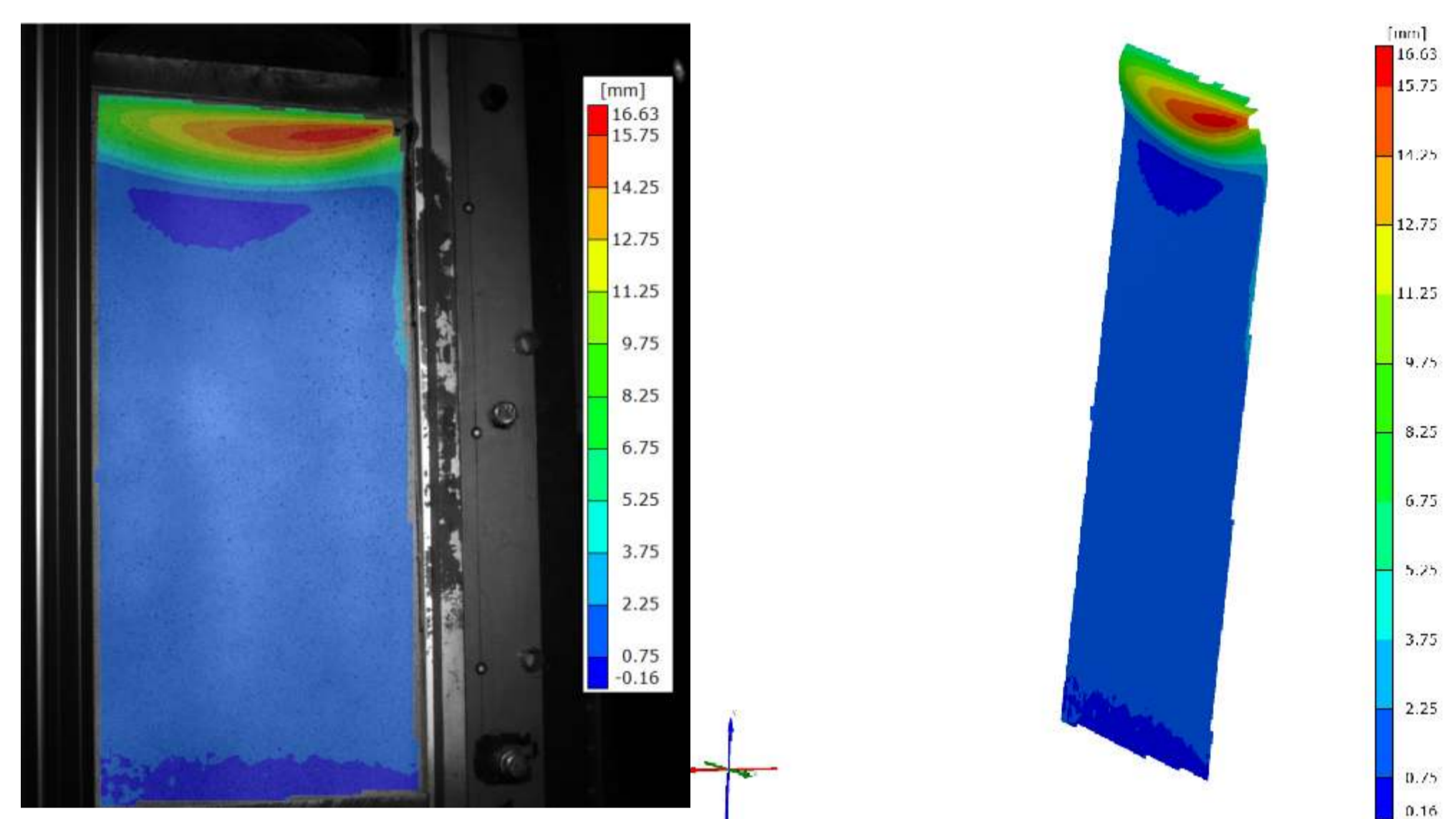
Rys.6. Zmierzone wektory przemieszczenia na tle badanego obiektu  
Fig.6. The measured displacement vectors on the background of the construction

**Graficzna prezentacja rozwiązania Innowacyjnego**  
Visualization of the innovative solution

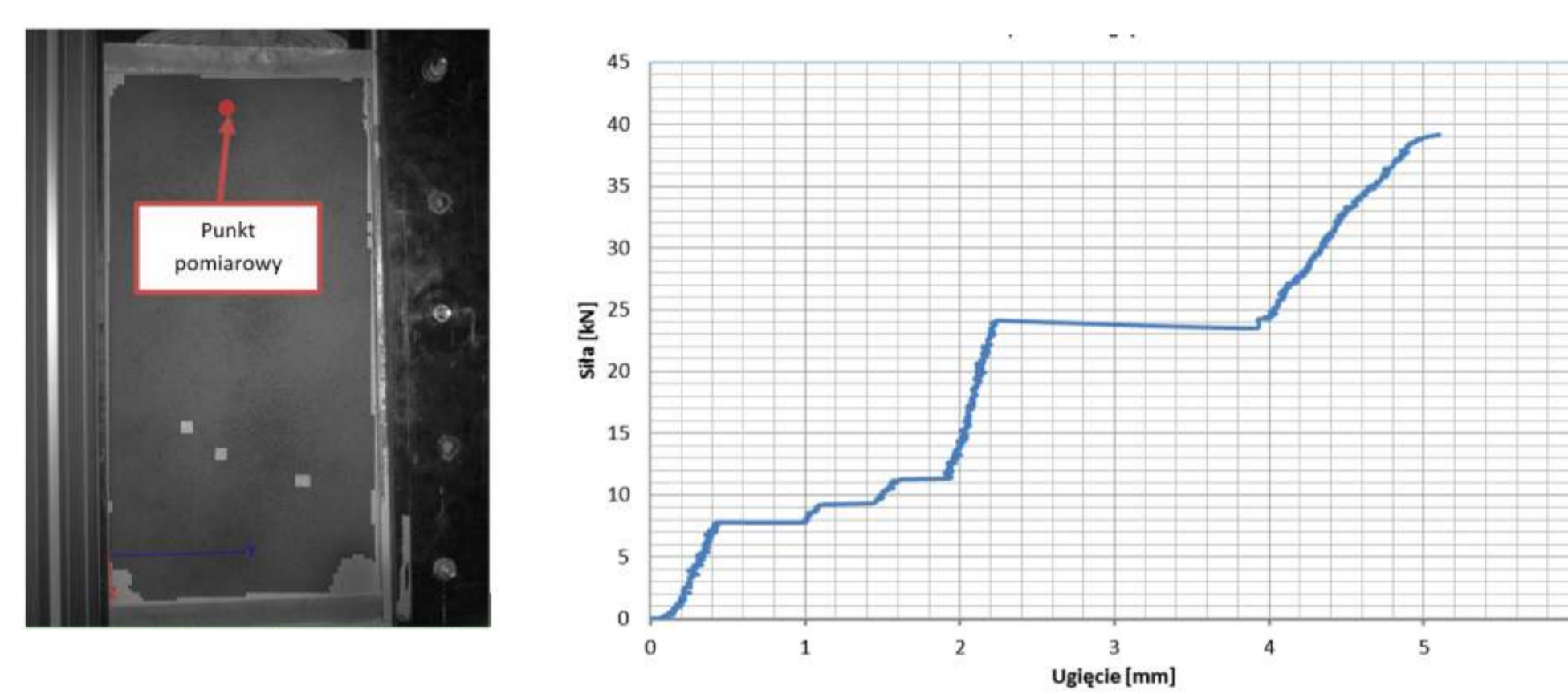
Pomiary pola przemieszczenia na przykładzie badania przekładowej płyty kompozytowej poddanej ciśnieniu



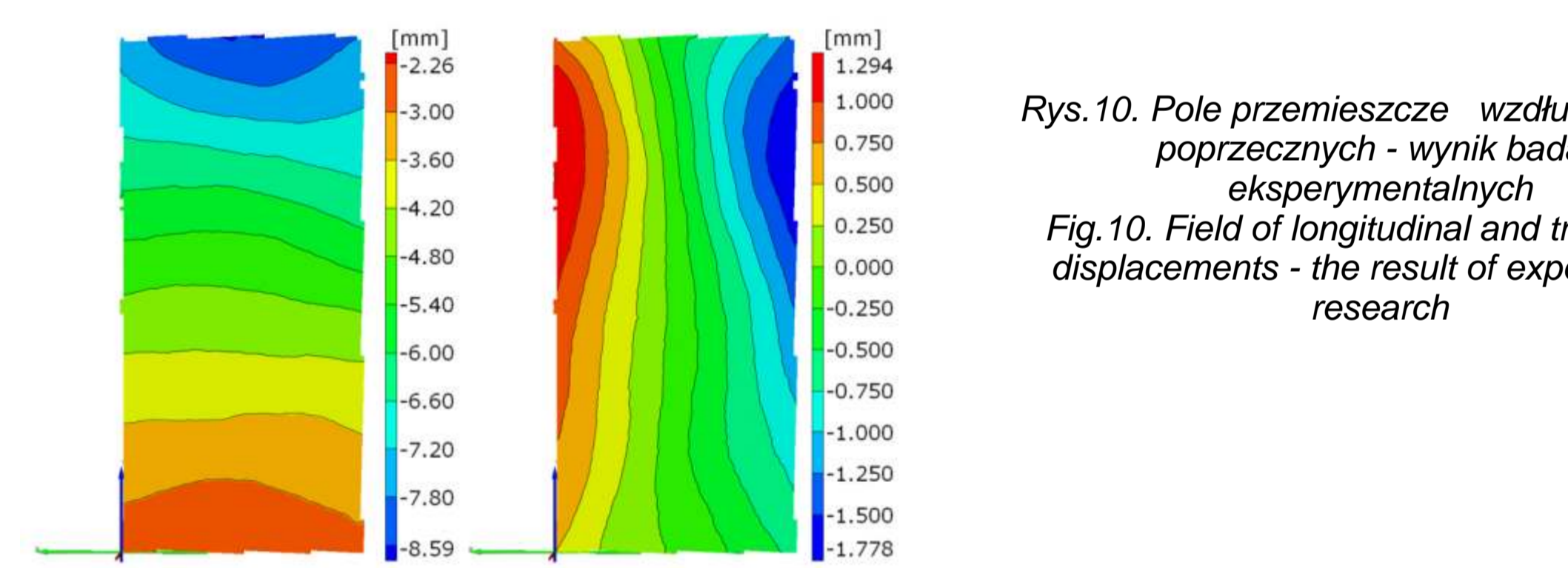
Rys.7. Stanowisko badawcze oraz warunki brzegowe  
Fig.7. Test stand and boundary conditions



Rys.8. Powierzchnia ugięcia płyty - wynik badania eksperymentalnego  
Fig.8. The surface deflection of plate - experimental result



Rys.9. Ciężka równowaga dla wybranego punktu na powierzchni badanego obiektu  
Fig.9. The equilibrium path for the selected point on the surface of the object



Rys.10. Pole przemieszczenia wzdłużnych oraz poprzecznych - wynik badania eksperymentalnego  
Fig.10. Field of longitudinal and transverse displacements - the result of experimental research

**Zalety i ograniczenia rozwiązania Innowacyjnego**  
Advantages and restrictions of innovative solution

Zastosowanie skanera wiata strukturalnego umożliwia pomiary odchyłek wykonawczych oraz tworzenie dokumentacji już istniejących wyrobów (zagadnienia inżynierii odwrótej). Skanery oparte o metodę cyfrowej korelacji obrazu oraz systemy fotogrametryczne stwarzają możliwość pomiaru deformacji bez potrzeby tworzenia modeli badanych elementów. Ograniczenia prezentowanych metod pomiarowych sprowadzają się do dostępności pomiarowych oraz ograniczenia badania do zagadnień statycznych.

**Możliwe zastosowania w lotnictwie i innych gałęziach gospodarki**  
Examples of application in aviation and other branches

Prezentowane metody badawcze stosowane mogą być do pomiarów deformacji w trakcie statycznych badań wytrzymałościowych cienkościennek elementów struktur nośnych umożliwiających eksperymentalną weryfikację poprawności przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych.

**Oferta dla przemysłu**  
The offer for industry

1. Pomiary odchyłek wykonawczych
2. Tworzenie dokumentacji istniejących wyrobów (inżynieria odwróta)
3. Punktowe pomiary deformacji struktur nośnych statków powietrznych w warunkach badań statycznych
4. Pomiary pól deformacji elementów struktur nośnych w warunkach statycznych lub wolnozmennych (max 15 Hz)
4. Eksperymentalna walidacja wyników obliczeń numerycznych z uwzględnieniem stanów pokrytych pracą konstrukcji oraz w stanach plastycznych

**Tytuł rozwiązania Innowacyjnego**  
Title of the innovative solution

**Metodyka badania oraz technologia integracji tensometrycznych czujników elektrooporowych oraz wiatłowodowych ze strukturami kompozytowymi**

Research methodology and technology of integration electrical strain gauges and optical FBG strain gauges within composite structures

**Krótki opis rozwiązania**  
Brief description of the solution

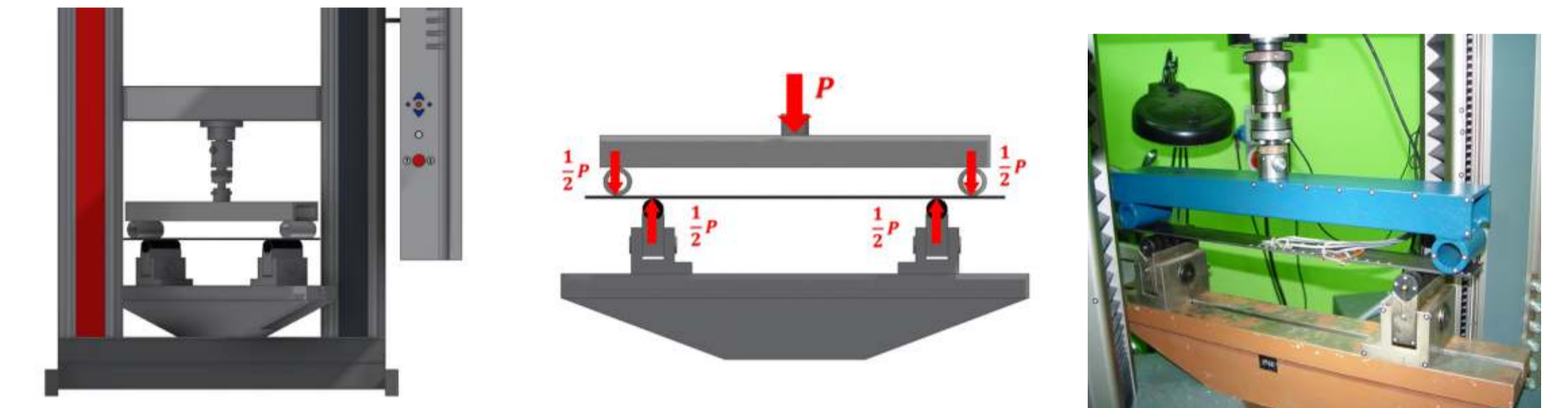
W trakcie badania wypracowano metodykę integracji czujników tensometrycznych ze struktur kompozytowych włókniasty w celu monitorowania stanu technicznego analizowanej konstrukcji. Proponowane rozwiązanie obejmuje stosowanie tensometrów elektrooporowych wklejanych pomiędzy poszczególne warstwy struktury kompozytowej oraz wykorzystanie w tym celu tensometrów wiatłowodowych opartych o siatkę Bragga. Budowany w ten sposób system pomiarowy może być stosowany zarówno do stanowiskowych badań eksperymentalnych kompozytowych struktur cienkościennek, jak również w trakcie rzeczywistej eksploatacji statków powietrznych.

During the research it was developed the methodology of strain gauges integration with structure of fiber composites in order to monitor the technical state of the construction (so called „health monitoring”). The proposed solution involves the use of electrical strain gauges bonded between the layers of the composite structure and using for this purpose optical strain gauges based on fiber Bragg grating (FBG sensors). Measuring systems built in this way can be used both for bench experiments of thin-walled composite structures, as well as during the actual operation of aircrafts.

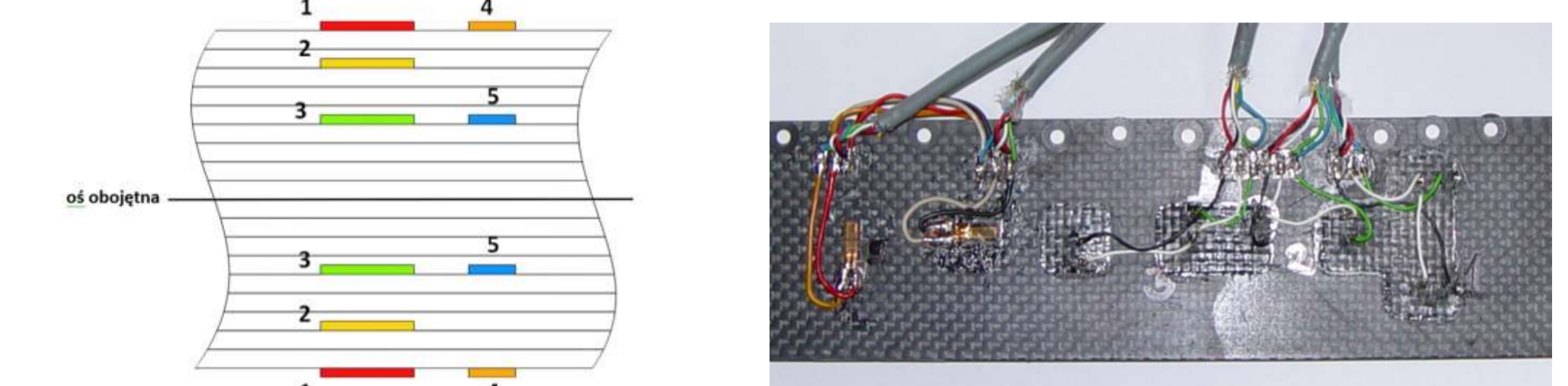
**Graficzna prezentacja rozwiązania Innowacyjnego**  
Visualization of the innovative solution

**PRZYKŁADY PRZEPROWADZONYCH BADAŃ**

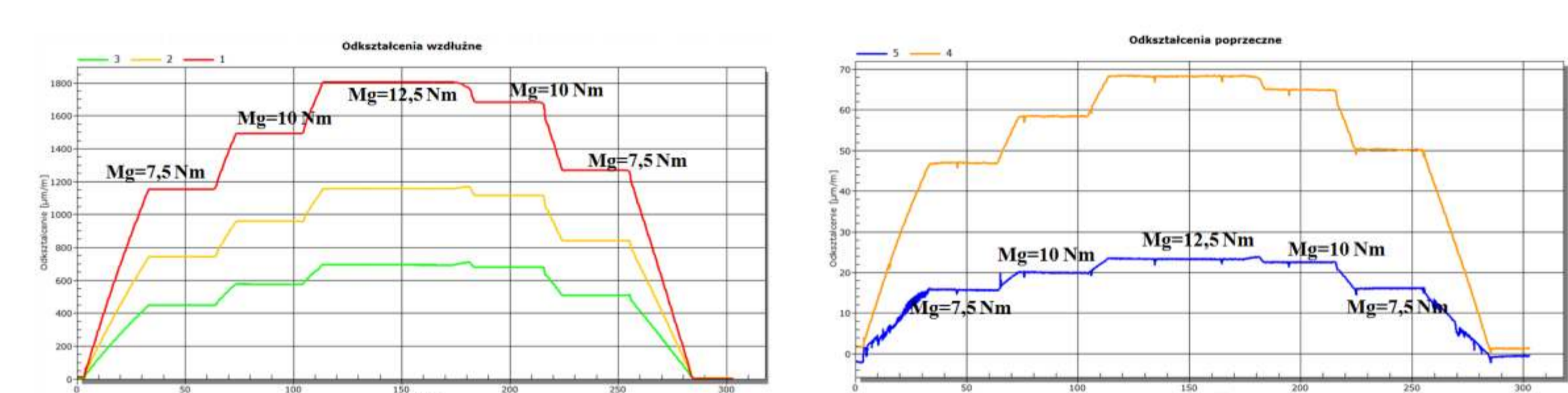
**1. Integracja tensometrów ze strukturą belki kompozytowej w celu weryfikacji badania rozkładu odkształceń wzdłuż i poprzecznie**



Rys.1. Model CAD stanowiska badawczego oraz jego realizacja techniczna  
Fig.1. CAD model of test stand and technical realization of test stand

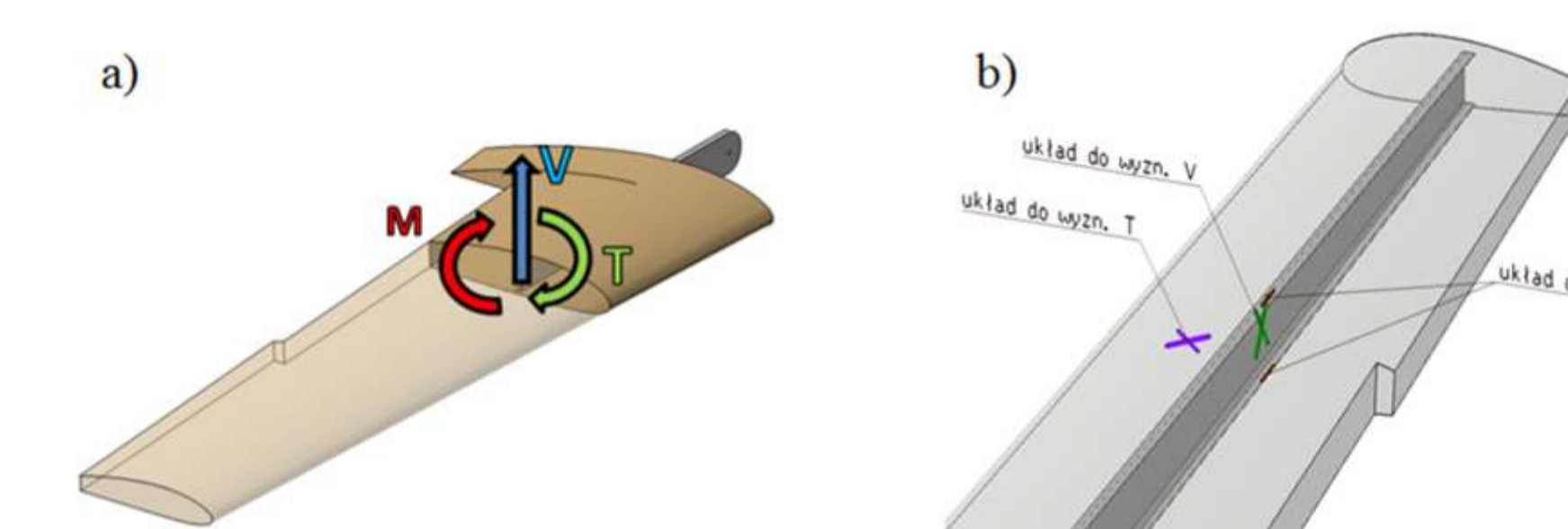


Rys.2. Rozkład tensometrów wzdłuż i poprzecznie oraz widok tensometrów zespolonych z badaną belką  
Fig.2. Strain gauges distribution along beam thickness and view of tested beam with integrated strain gauges

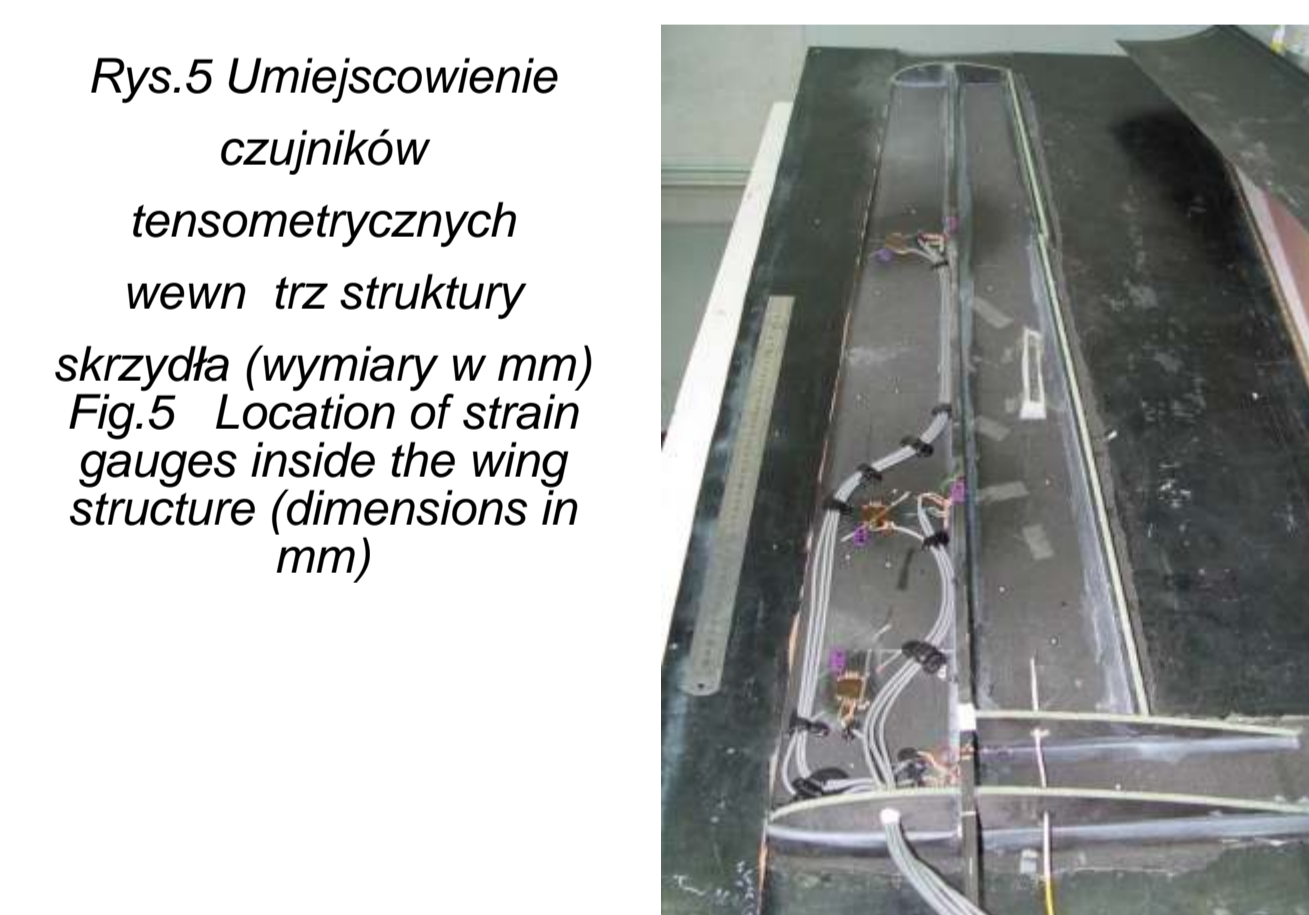


Rys.3. Zmiana wartości odkształceń wzdłużnych oraz odkształceń poprzecznych (oznaczenia na rys. 2)  
Fig.3. Changing the value of longitudinal and lateral strain (marks on fig. 2)

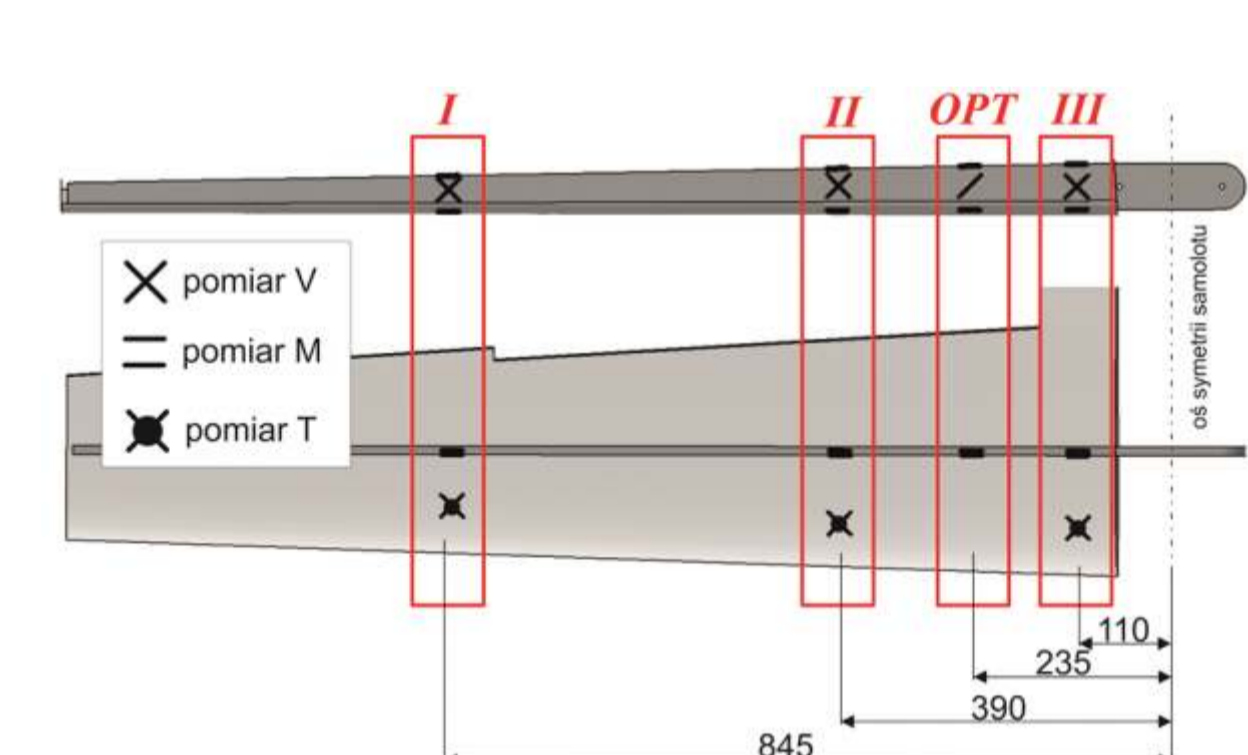
**2. Integracja tensometrów wiatłowodowych oraz elektrooporowych ze strukturą kompozytowego skrzydła samolotu bezzałogowego w celu monitorowania poziomu sił i momentów przekrojowych w trakcie lotu**



Rys.4. Obciążenie przekroju skrzydła oraz typowe rozmieszczenie czujników tensometrycznych  
Fig.4. Wing section load and typical distribution of strain gauges



Rys.5. Umieszczenie czujników tensometrycznych wewnątrz struktury skrzydła (wymiar w mm)  
Fig.5. Location of strain gauges inside the wing structure (dimensions in mm)



Rys.6. Realizacja techniczna stanowiska badawczego oraz składowe przemieszczenia badanych punktów (pomiar systemem PONTOS)  
Fig.6. Technical realization of test stand and displacement components of test points (PONTOS measurements)

**Zalety i ograniczenia rozwiązania Innowacyjnego**  
Advantages and restrictions of innovative solution

Do głównych zalet proponowanego rozwiązania należy stosunkowo niski koszt systemu pomiarowego, zwłaszcza w przypadku stosowania tensometrów wiatłowodowych, co umożliwia jego zastosowanie również w przypadku samolotów bezzałogowych. System wykorzystany może być do badań statycznych jak i dynamicznych, w przypadku do wiadczeń naziemnych oraz prób w locie. Ograniczeniem proponowanej metodyki jest punktowy charakter pomiaru oraz konieczność wyboru punktów pomiarowych już na etapie wytwarzania elementów konstrukcji.

**Możliwe zastosowania w lotnictwie i innych gałęziach gospodarki**  
Examples of application in aviation and other branches

1. Weryfikacja założeń konstrukcyjnych dotyczących poziomu odkształceń prototypowych rozwiązań struktur kompozytowych
2. Budowa systemów monitorowania stanu konstrukcji w trakcie rzeczywistej eksploatacji

**Oferta dla przemysłu**  
The offer for industry

Projektowanie oraz pomoc wykonawcza systemów pomiarowych opartych o wiatłowodowe oraz elektrooporowe czujniki tensometryczne przeznaczone do monitorowania stanu kompozytowych konstrukcji cienkościennek.