

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

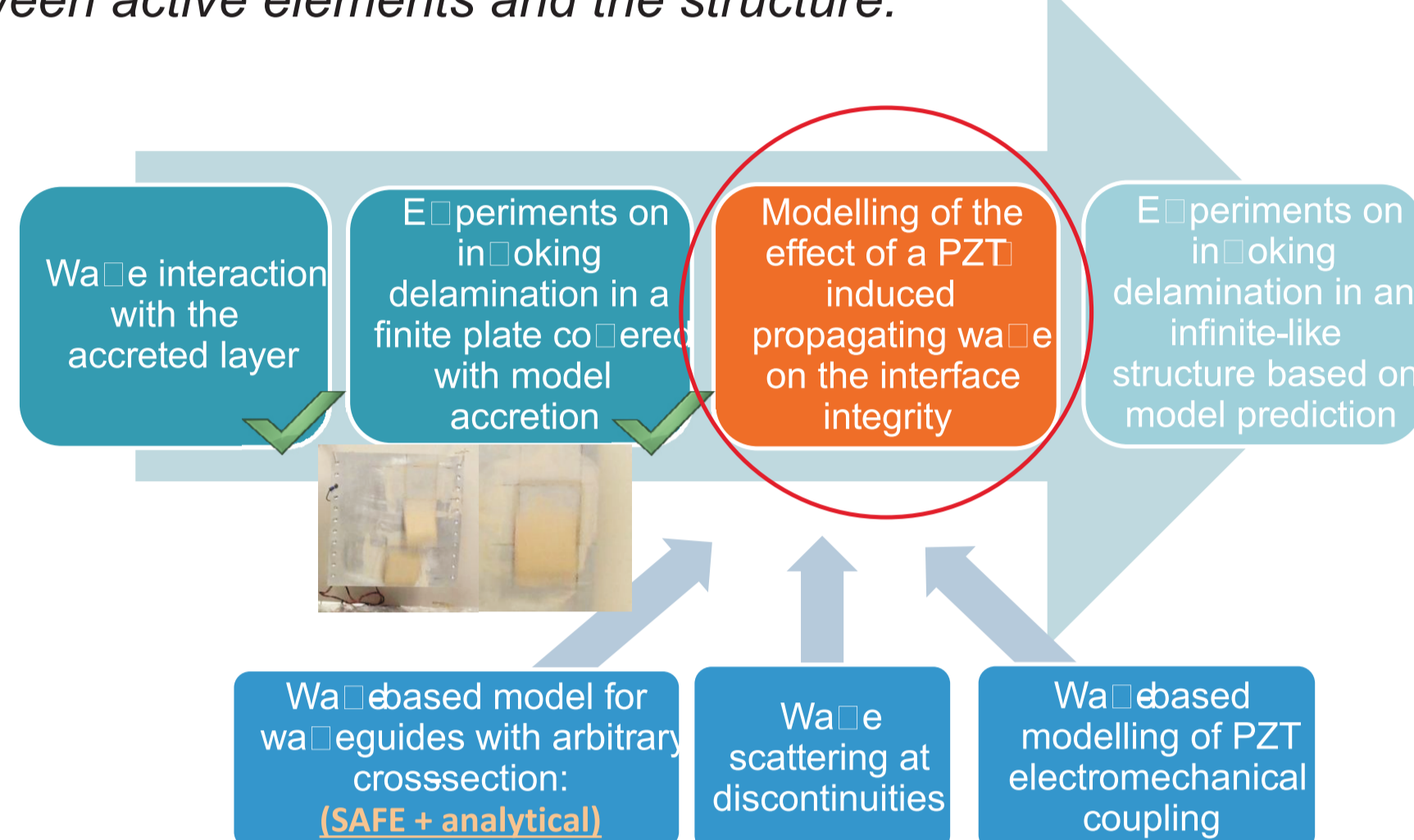
Wyniki badań Results

Nowoczesne systemy anty oblodzeniowe Modern ultrasonic de-icing systems

Cel prowadzonych badań:

- analiza możliwości wykorzystania fal ultradźwiękowych do usuwania niepożądanych warstw osadzających się na strukturze (np. oblodzenie),
- opracowanie narzędzi do modelowania fal i drgań w strukturach z aktywnymi elementami piezoelektrycznymi

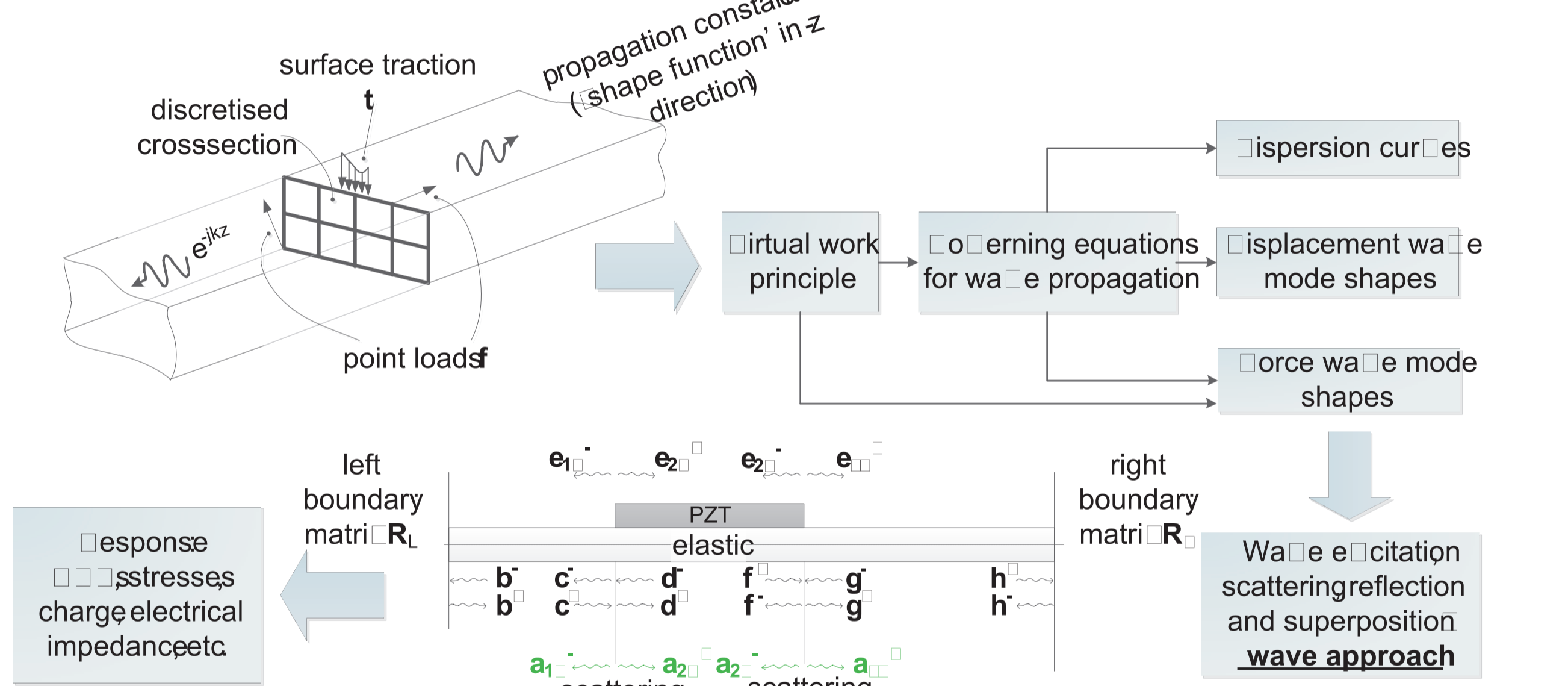
The general research aim is to investigate the feasibility of a concept of using mechanical waves as an efficient tool for inducing delamination in a desired interface of a structure. This is a basis on which modern ultrasonic de-icing systems could possibly be developed. Along with that wave modelling tools for structures with PZT active elements are developed. The novelty of the models lies in the description that includes the dynamic interaction between active elements and the structure.



1. Przygotowanie narzędzia obliczeniowego do modelowania fal i drgań struktur z aktywnymi elementami piezoelektrycznymi

Development of a numerical tool for wave-based modelling of the dynamics of structures with piezoelectric active elements.

Modelowanie wzbudzenia fal akuatorami piezoelektrycznymi o relatywnie dużej mocy i w zakresie częstotliwości bliskich rezonansom akuatora wymaga uwzględnienia dynamicznego charakteru interakcji pomiędzy akuatorem a strukturą. Ponadto, popularne obliczenia MES są w tym wypadku niezwykle kosztowne ze względu na konieczność stosowania gęstej siatki elementów w wysokich częstotliwościach. Na potrzeby badań przygotowano narzędzie obliczeniowe oparte na metodologii falowej. Krzywe dyspersji oraz postacie fali mogą być uzyskane za pomocą dowolnie wybranej metody (tu dwa warianty: model analityczny drgań sprzężonych belki oraz semi-analityczna metoda elementów skończonych). Kolejne kroki oparte są na wykorzystaniu zjawisk propagacji i odbicia, rozproszenia i superpozycji fal.



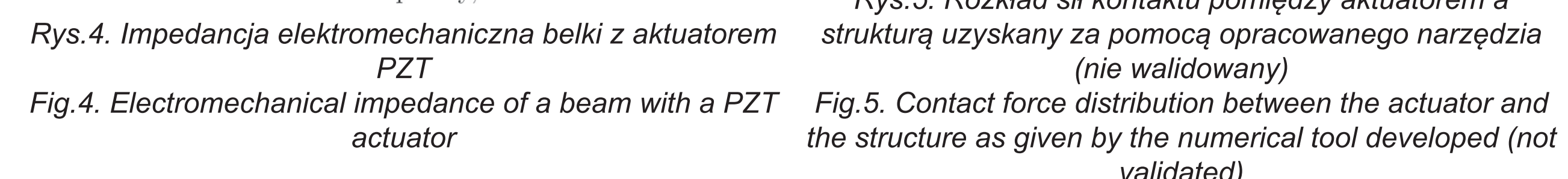
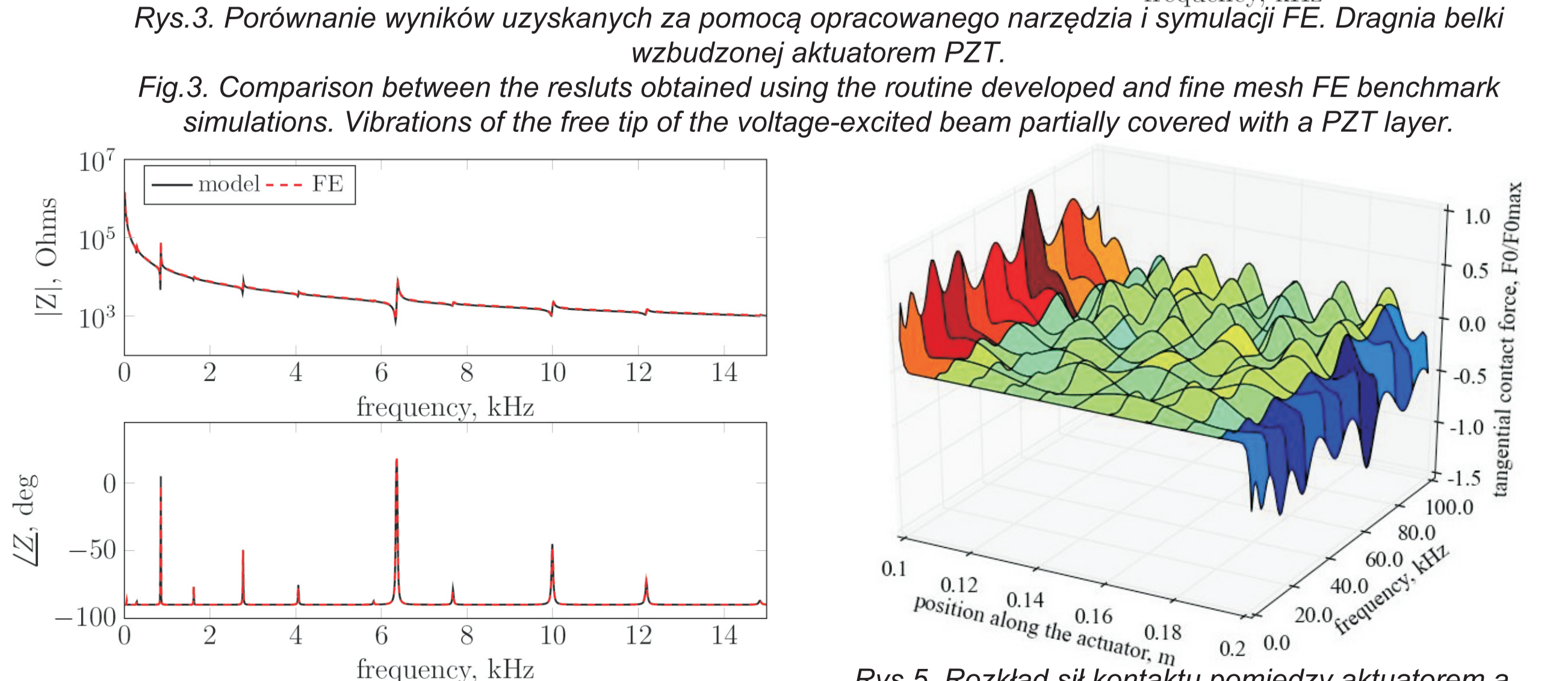
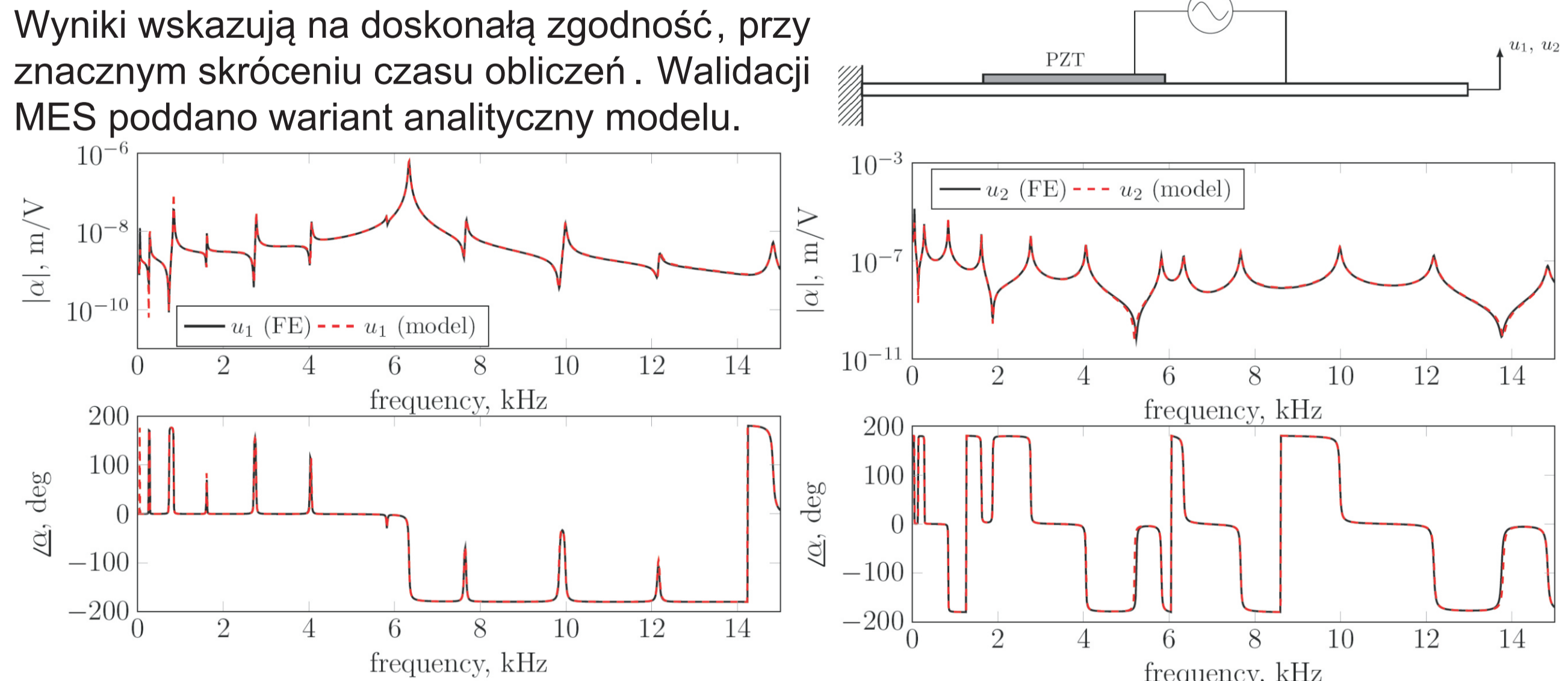
Zalety modelu:

- Oszczędność czasu obliczeń,
- Zachowanie wglądu w mechanizmy fizyczne towarzyszące propagacji fali,
- Uwzględnienie dynamicznego charakteru interakcji akuator-struktura,
- Wzbudzenie elektryczne, bądź mechaniczne; odczyt ładunku na elektrodach,
- Możliwość uzyskania rozkładu sił kontaktu pomiędzy akuatorem, a strukturą (mnożniki Lagrange'a)

2. Weryfikacja wyników uzyskanych za pomocą opracowanego modelu w oparciu o analizę MES 2D

Numerical tool validation based on finite element model with fine 2D mesh.

W pierwszym etapie walidacji narzędzia obliczeniowego wykorzystano komercyjny pakiet MES (Abaqus), w którym zbudowano modele odpowiadające weryfikowanym przypadkom wykorzystując bardzo gęstą siatkę elementów. Porównano przemieszczenia wolnego końca belki oraz impedancję elektromechaniczną. Wyniki wskazują na doskonałą zgodność, przy znacznym skróceniu czasu obliczeń. Walidacji MES poddano wariant analityczny modelu.



Wyniki badań Results

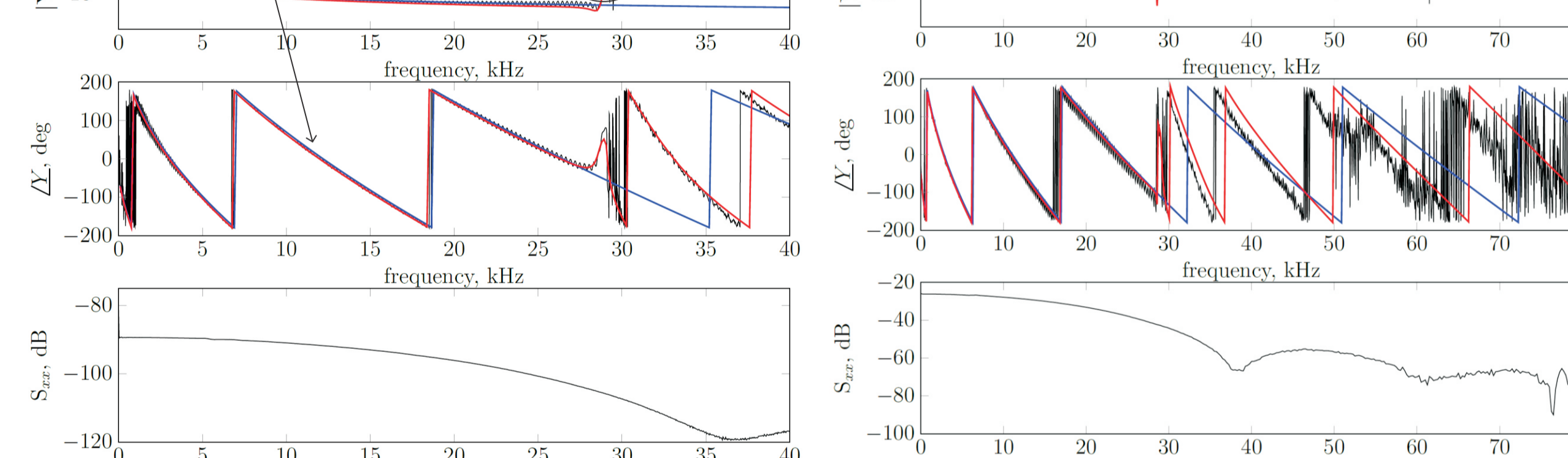
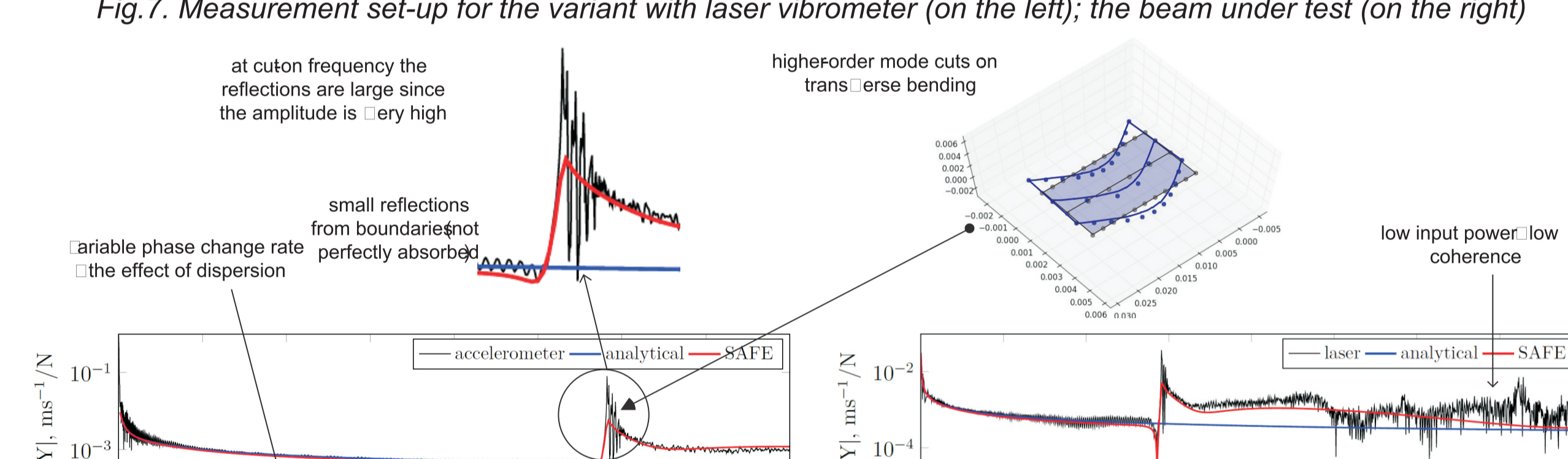
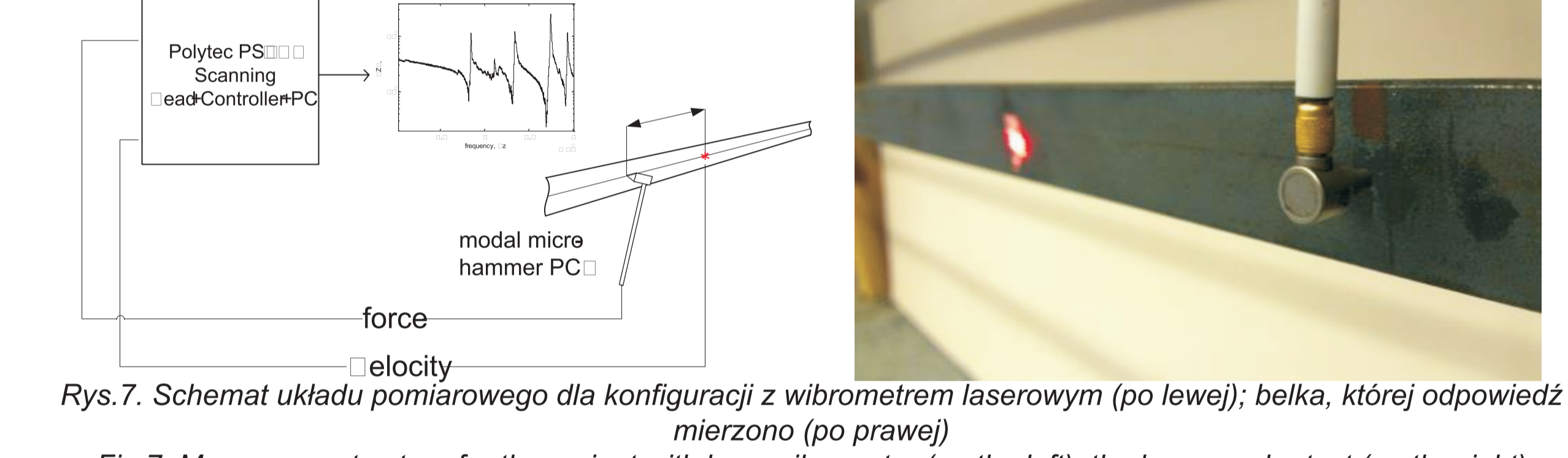
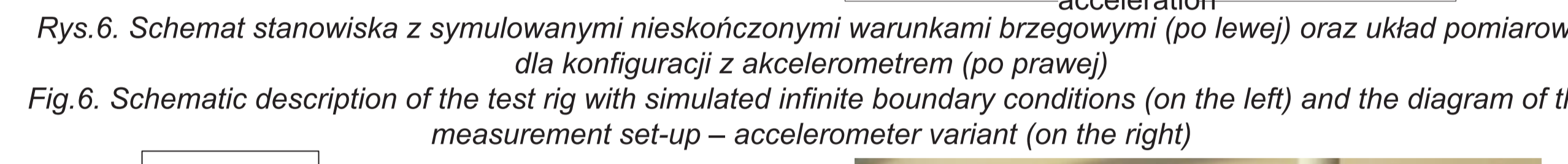
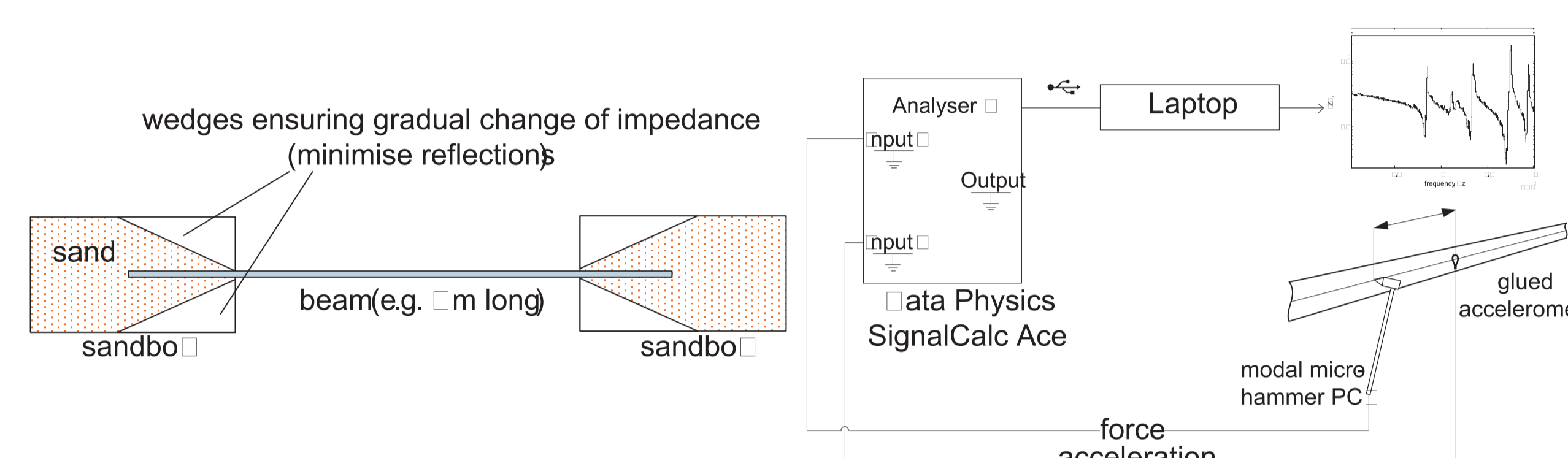
2. Weryfikacja wyników uzyskanych za pomocą opracowanego modelu w oparciu o pomiar charakterystyki częstotliwościowej za pomocą akcelerometru i wibrometru laserowego

Numerical tool validation based on FRF measurements with hammer excitation (glued accelerometer and laser vibrometer)

Narzędzie weryfikowano również w oparciu o eksperymenty:

- pomiar charakterystyki częstotliwościowej za pomocą akcelerometru zamocowanego na kleju (wymuszenie mikro-młotkiem modalnym),
- pomiar charakterystyki częstotliwościowej za pomocą wibrometru laserowego (wymuszenie mikro-młotkiem modalnym)

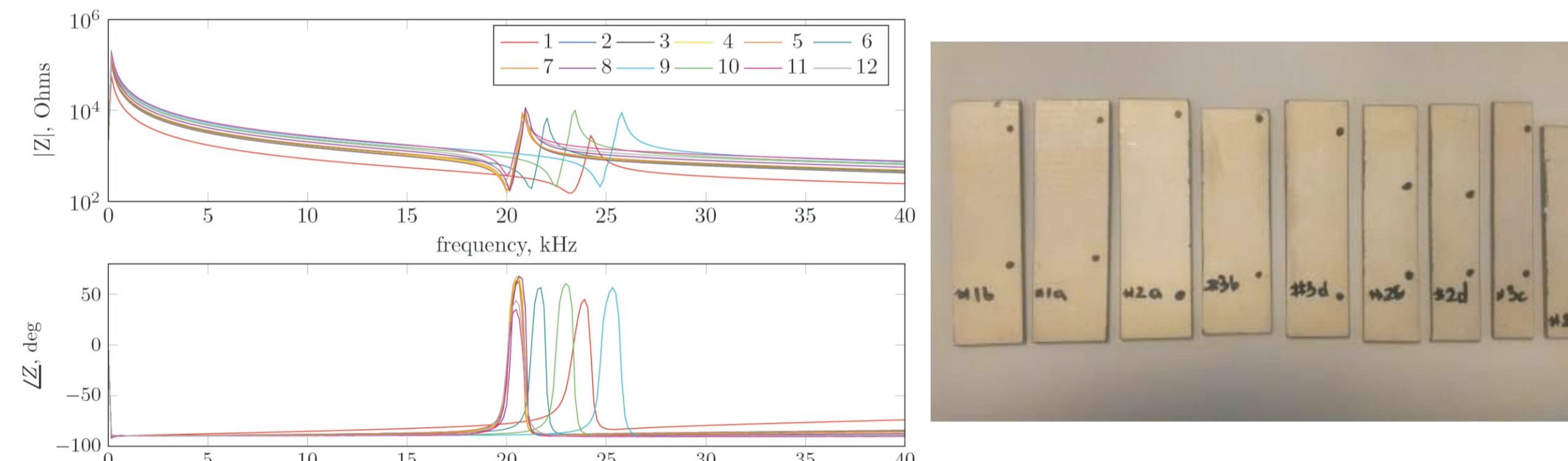
Eksperymenty wykonano wykorzystując stanowisko symulujące nieskończone warunki brzegowe (idealna absorbcja fal). Na podstawie wyników prowadzone będą dalsze prace nad rozwojem modelu.



4. Przygotowanie, obróbka i wstępne pomiary akuatorów do dalszych eksperymentów

Preparation, machining and preliminary measurements on actuators for future experiments.

Przygotowano akuatory piezoelektryczne do kolejnych serii eksperymentów (obróbka mechaniczna, wstępne pomiary)



Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation

- Ultrasonic de-icing of aircraft structures
- Ultrasonic removal of accreted material especially in areas with limited access

Wnioski Conclusions

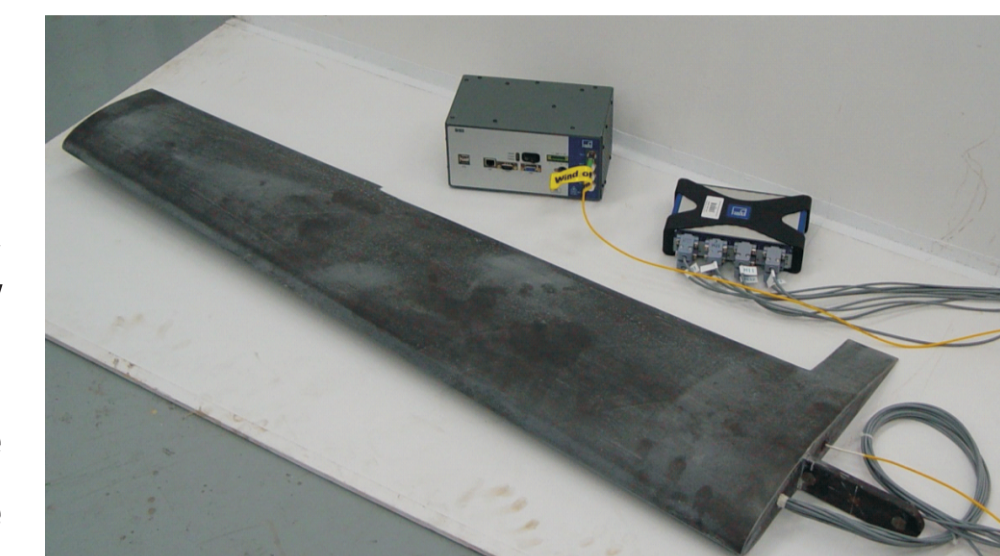
- Opracowano narzędzie obliczeniowe oparte na metodologii falowej umożliwiające symulację fal oraz drgań falowodów z aktywnymi elementami PZT.
- Numeryczny model uwzględnia dynamiczny charakter interakcji akuator-struktura pozwalając jednocześnie na znaczną redukcję czasu obliczeń
- Narzędzie poddano weryfikacji przy pomocy symulacji MES (wzbudzenie elektryczne+mechaniczne. Przeprowadzono pomiary charakterystyk belki z symulowanymi nieskończonymi warunkami brzegowymi (wzbudzenie mechaniczne).
- Przygotowano akuatory piezoelektryczne do kolejnych serii eksperymentów (obróbka mechaniczna, wstępne pomiary)
- A numerical tool based on 'wave approach' has been developed. The tool can simulate waves and vibrations of waveguides with PZT elements. It accounts for the dynamic character of the interaction between the PZT element and the structure and the coupling of the electrical and mechanical effects while saving a considerable computational time
- The results obtained with the tool have been compared with benchmark FE analyses (electrical and mechanical excitation) and measurements (mechanical excitation). The measurements were conducted on a beam with simulated infinite boundary conditions.
- PZT actuators for the future experimental campaign were prepared (machining, preliminary measurements)

Wyniki badań Results

Pomiary stanu obciążenia kompozytowego skrzydła samolotu bezzałogowego z zastosowaniem tensometrii światłowodowej i elektrooporowej

1. Cel i zakres badań (Target and range of experimental examinations)

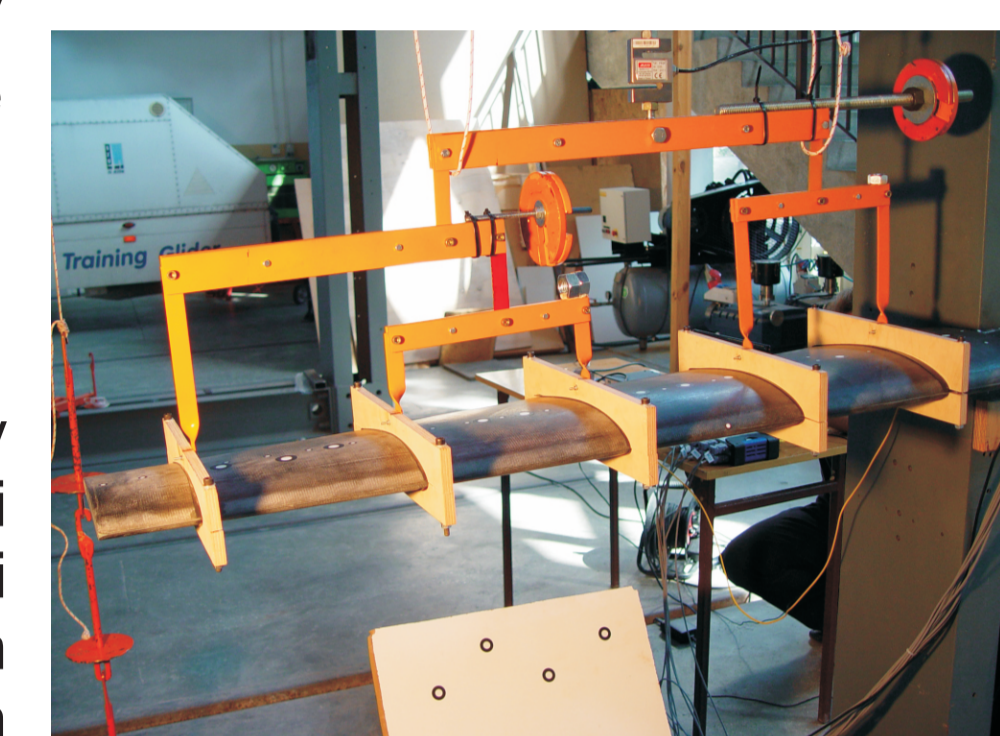
Przedmiot badań stanowiła eksperymentalna weryfikacja możliwości zastosowania tensometrów światłowodowych i elektrooporowych w celu rejestracji stanu obciążenia struktury kompozytowej w trakcie eksploatacji statku powietrznego typu BAL. Równocześnie globalną deformację struktury rejestrowano za pomocą skanera optycznego PONTOS.



Target of study was the experimental examination of optical and electrical strain gauges system for determination of load state of composite structure during operation of UAV type aircraft. During that time, global deformation of the structure were recorded by an optical scanner Pontos.

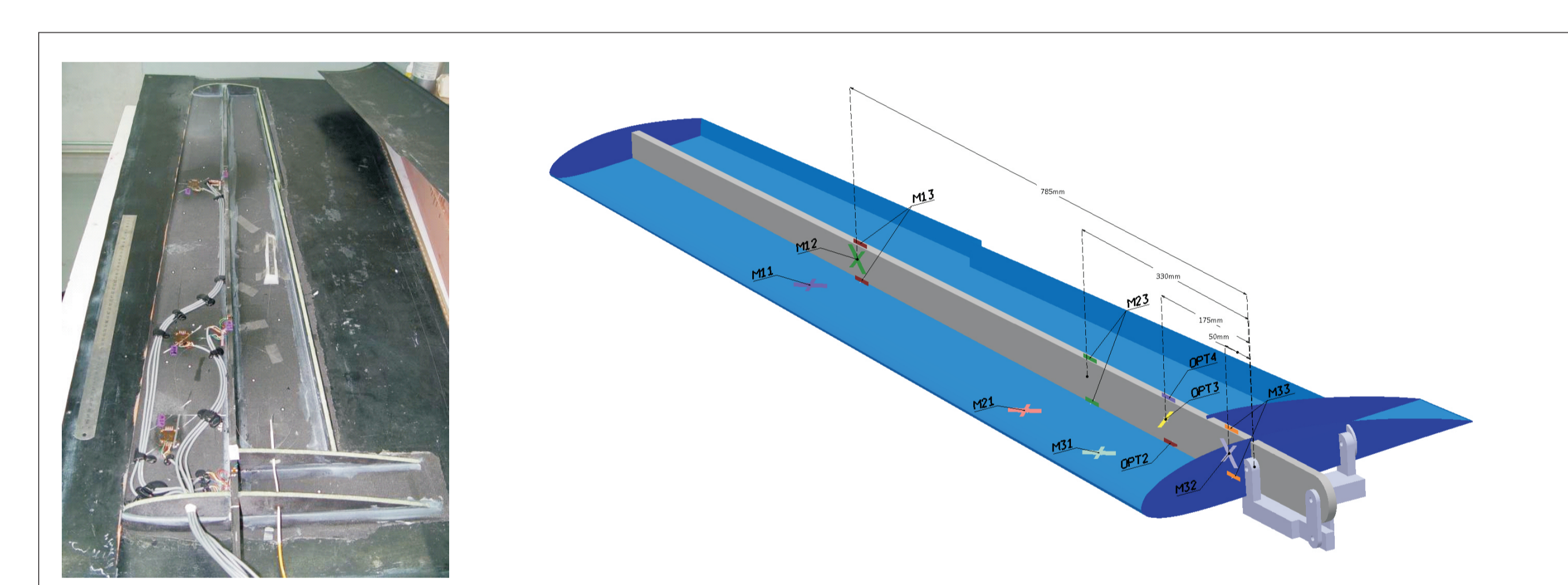
2. Stanowisko badawcze

Na potrzeby badań wykonano układ obciążający zapewniający rozkład obciążeń wzdłuż rozpiętości skrzydła. Rzeczywisty rozkład ciśnień na powierzchni nośnej zastąpiony został rozkładem sił skupionych zgodnych z rezultatami otrzymanymi w wyniku obliczeń metodą Shrenk'a.



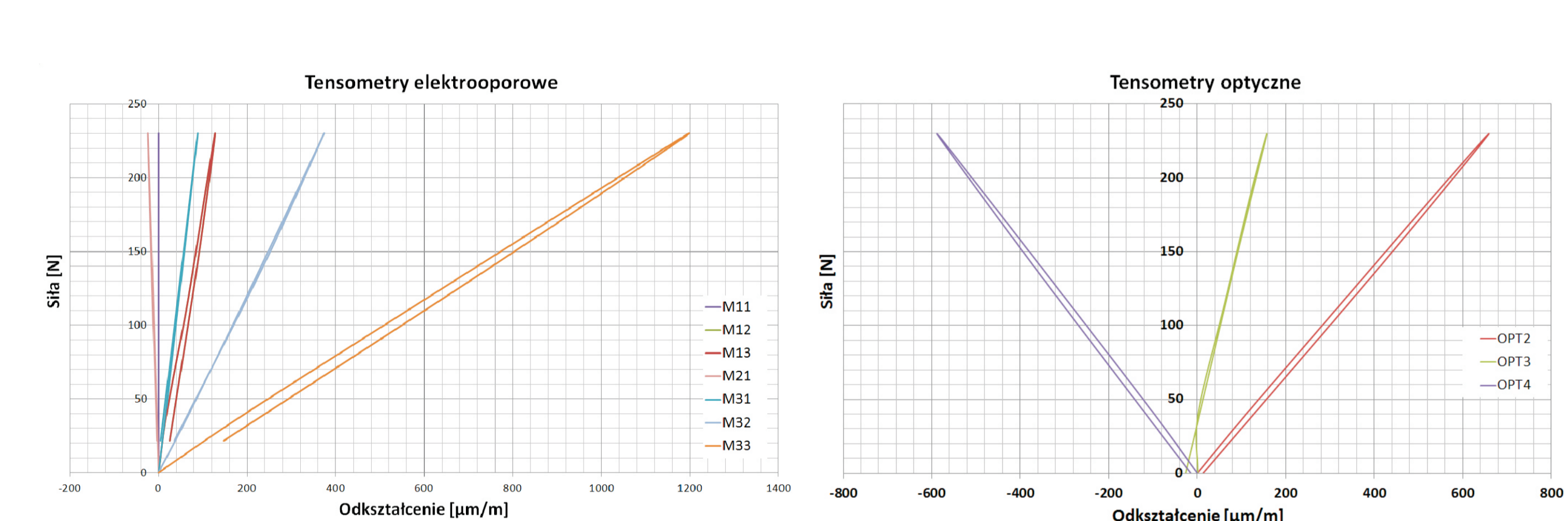
3. Rozmieszczenie tensometrów

Wewnątrz struktury kompozytowego skrzydła umieszczono 30 elektrooporowych czujników tensometrycznych połączonych w układy pół- oraz pełnomostka tworzących 10 punktów pomiaru odkształceń. Dodatkowo zastosowano 4 czujniki światłowodowe.



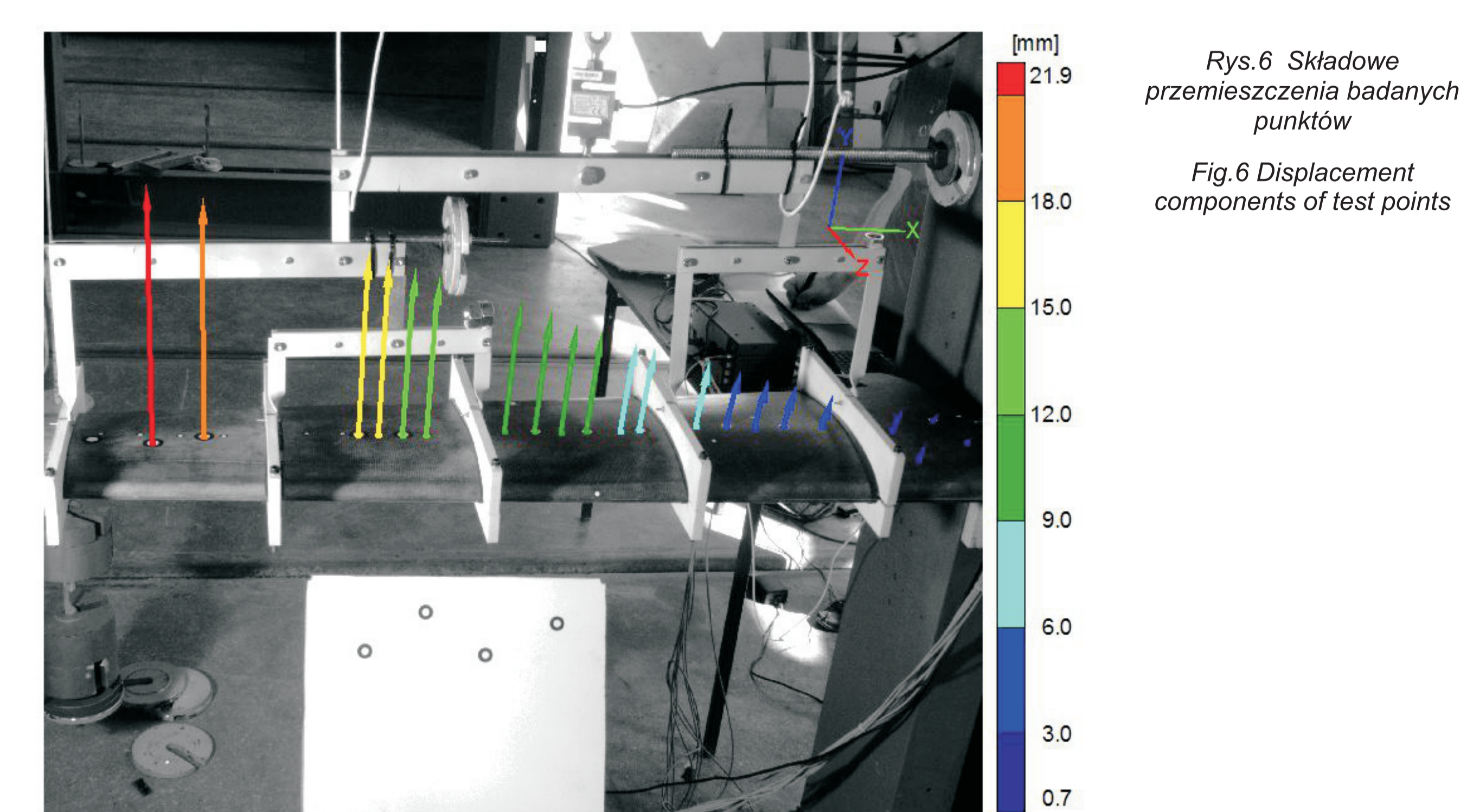
4. Wyniki pomiarów tensometrycznych

W trakcie eksperymentu rejestrowano zmiany poziomu odkształcenia za pomocą tensometrów. Skrzydło obciążano kolejnymi wielkościami siły otrzymując w efekcie deformację w odpowiednich punktach pomiarowych.



5. Globalna analiza deformacji - wykorzystanie skanera optycznego PONTOS

W trakcie eksperymentu zarejestrowano deformację skrzydła za pomocą skanera optycznego PONTOS. Urządzenie stwarza możliwość śledzenia przemieszczeń wybranych punktów struktury. Wynikiem pomiarów są wektory składowych przemieszczenia (rys.6).



Wnioski Conclusions

Przeprowadzone badania doświadczalne wskazują na poprawność funkcjonowania badanego systemu pomiaru odkształceń skrzydła kompozytowego. Zastosowanie skanera optycznego PONTOS w znacznym stopniu upraszcza dokonywanie pomiarów deformacji globalnej struktury. Wyniki pomiarów mogą okazać się przydatne do kalibracji modelu numerycznego MES.

Performed experimental investigations point at correctness of studied acquisition system for determination of strain levels in composite wing. Optical scanner PONTOS application simplifies the measurements of global deformation of the structure. The measurement results can be useful to calibrate the FEM numerical model.