

# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

## Modern material technologies in aerospace industry

## Materiały inteligentne oraz bazujące na nich systemy zespolone do zastosowania w lotnictwie

### Smart Materials & smart embedded systems in aerospace applications

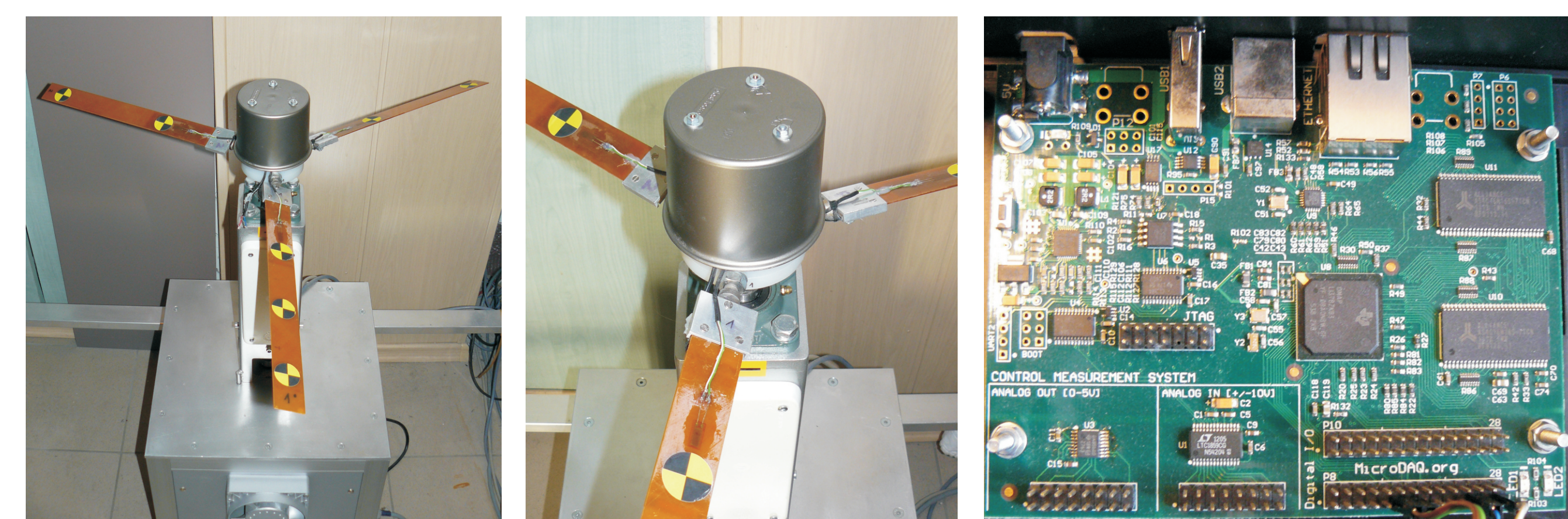
Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk  
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Instytut Lotnictwa w Warszawie, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Warszawska

#### Wyniki badań Results

**Badania doświadczalne wpływu uszkodzenia na charakterystyki dynamiczne kompozytów laminatowych**  
**Experimental study of the effect of damage on the dynamic characteristics of the composite laminate**

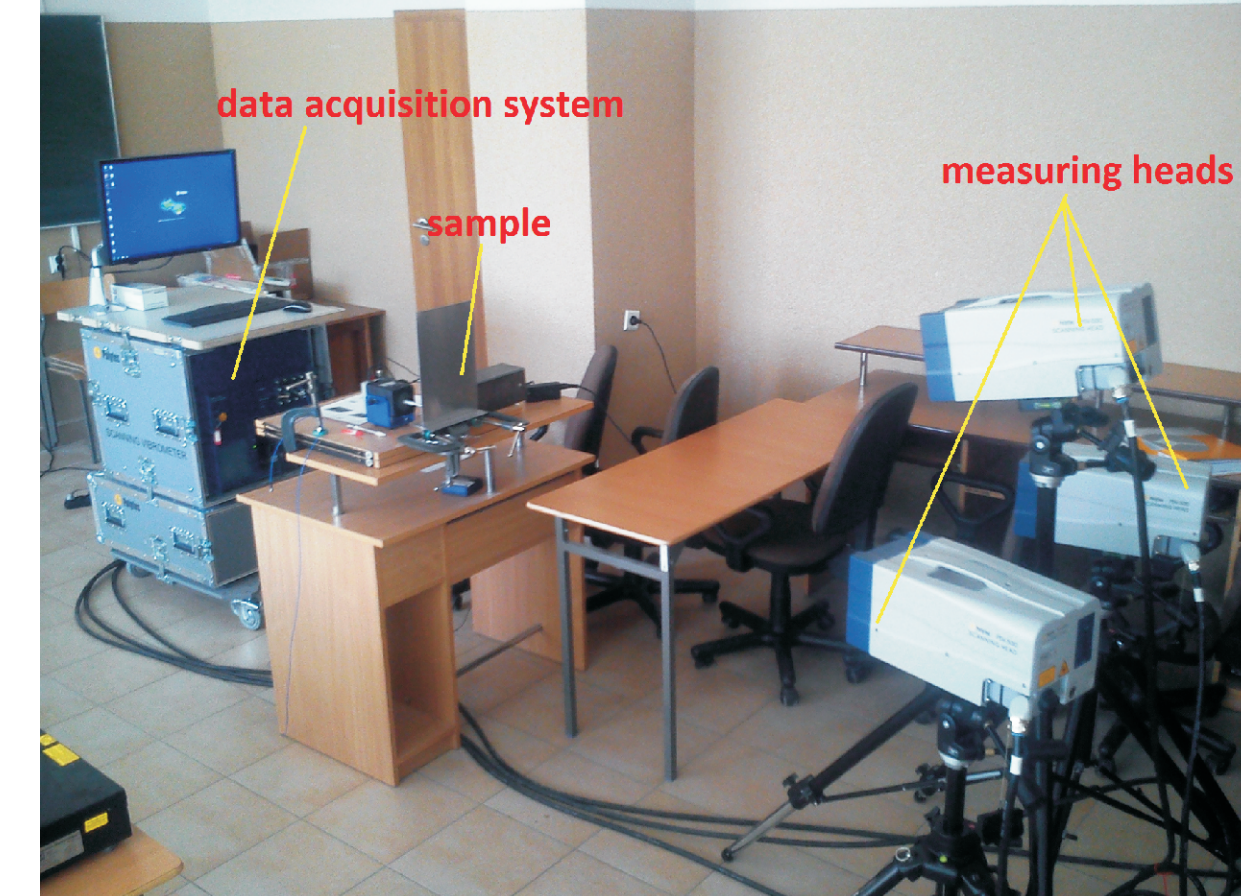
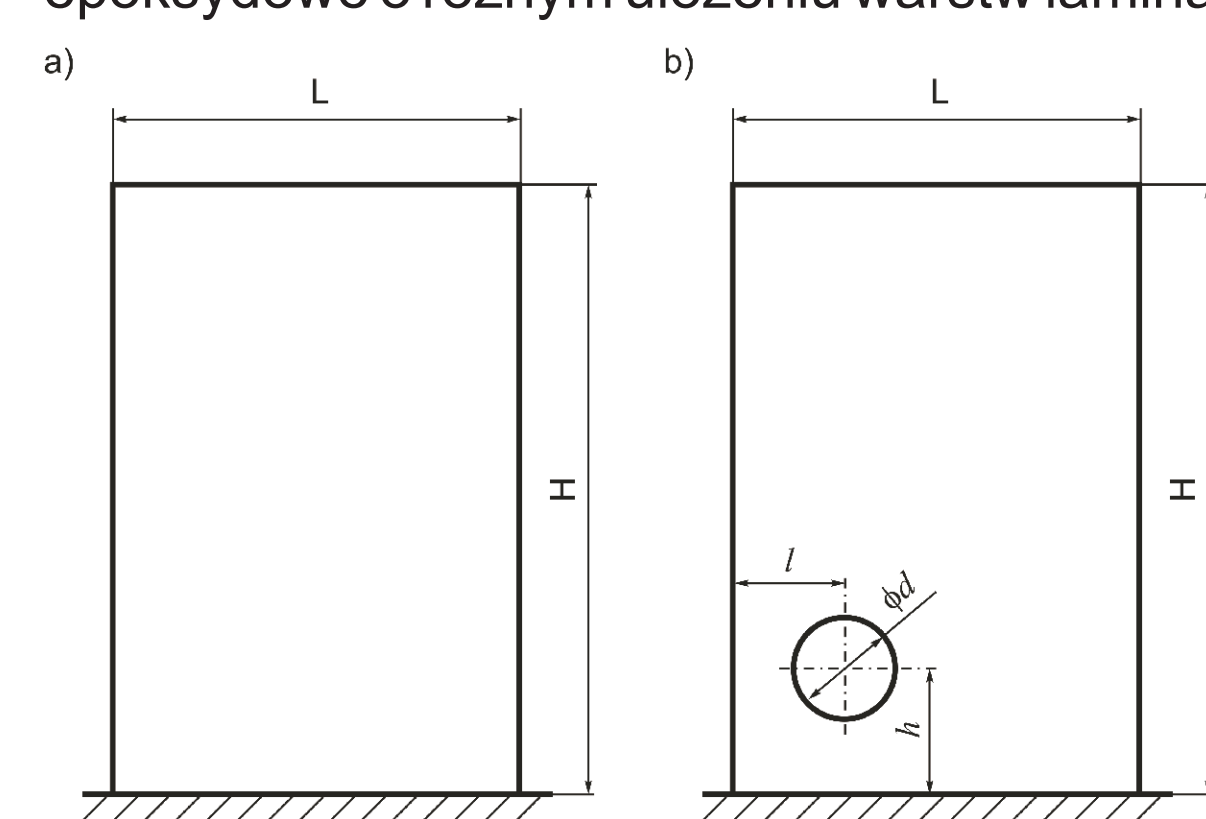
#### 1. Stanowisko do badań modelu wirnika nośnego z wykorzystaniem szybkich kamer High-speed camera test stand for rotor testing

Modernizacja stanowiska laboratoryjnego – model trójopatowego wirnika:  
• zrezygnowano z pomiaru analogowego prędkości obrotowej za pomocą prędkości tachometrycznej zintegrowanej z silnikiem, zastosowano pomiar cyfrowy z użyciem enkodera inkrementalnego  
• układ sterowania napędem i elementami aktywnymi zintegrowano z płytą DSP, opartą na uniwersalnym module kontrolno-pomiarowym MicroDAQ z wielordzeniowym procesorem aplikacyjnym OMAP L137 firmy Texas Instruments; Moduł posiada 8 16-bitowych wejść i wyjść analogowych, układy PWM i dedykowane wejście dla enkodera.  
• do komunikacji z komputerem zastosowano złącze Ethernet  
• dodano możliwość integracji sterownika ze środowiskiem Matlab/Simulink.

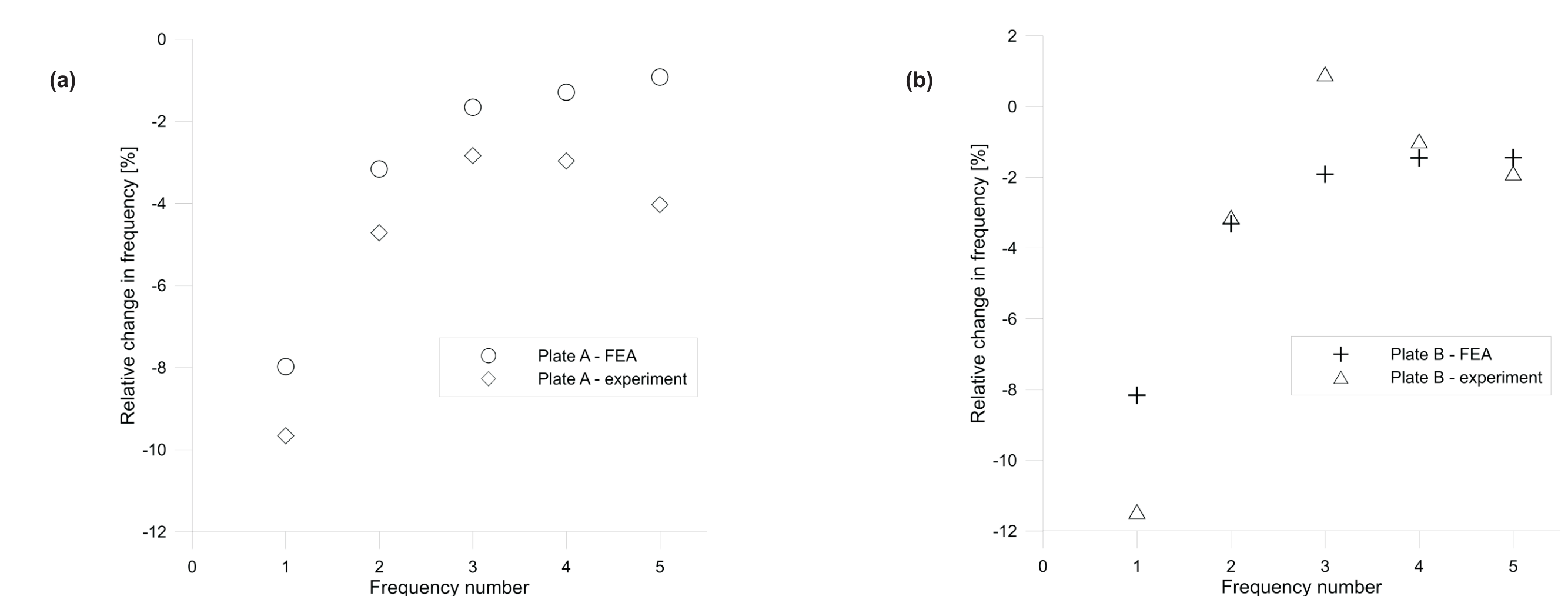


#### 4. Experimental verification of defect's influence on beams' or plate' dynamics Eksperymentalna weryfikacja wpływu uszkodzeń na dynamiczne zachowanie belek lub płyt

W prowadzonych pracach zajmowano się oceną zmian częstotliwości oraz postaci drgań własnych dla kompozytowych płyt z i bez uszkodzeń (rys.7). Szczegółowe badania realizowano na 8 warstwowym płytach szklano-epoksydowych utwierdzonych z jednej strony. Uszkodzenie modelowano jako otwór znajdujący się w pobliżu utwierdzenia. Właściwości dynamiczne struktur kompozytowych (belka lub płyta) badano z zastosowaniem laserowego wibrometru Polytec PSV 500 3D (rys. 8). Jednocześnie metodą elementów skończonych (MES) przeprowadzono symulacje numeryczne i wyznaczono częstotliwości oraz postaci drgań własnych. Wyniki numeryczne i eksperymentalne zestawiono na rys. 9a-b. Analizowano częstotliwości drgań własnych oraz wygląd odpowiadających im postaci własnych poprzez porównanie wyników badań próbek wykonanych z laminatu szklano-epoksydowego wolnego od uszkodzeń oraz z wadami. Do potrzeb eksperymentu przygotowano 8 warstwowe płyty szklano-epoksydowe o różnym ułożeniu warstw laminatu.



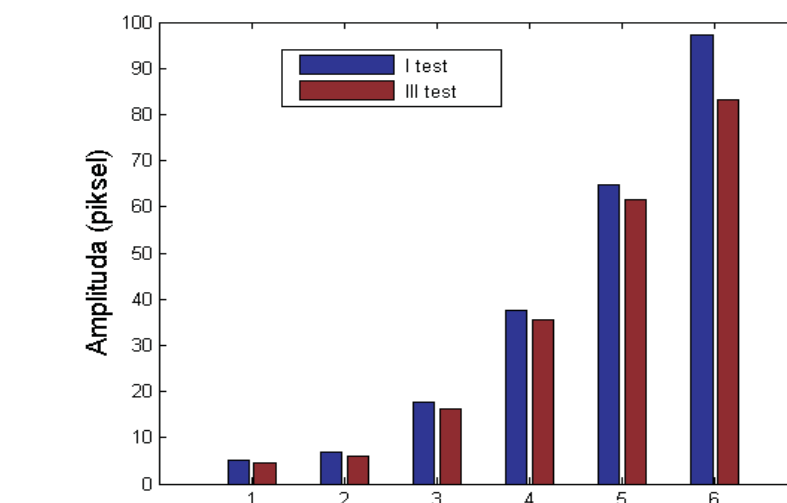
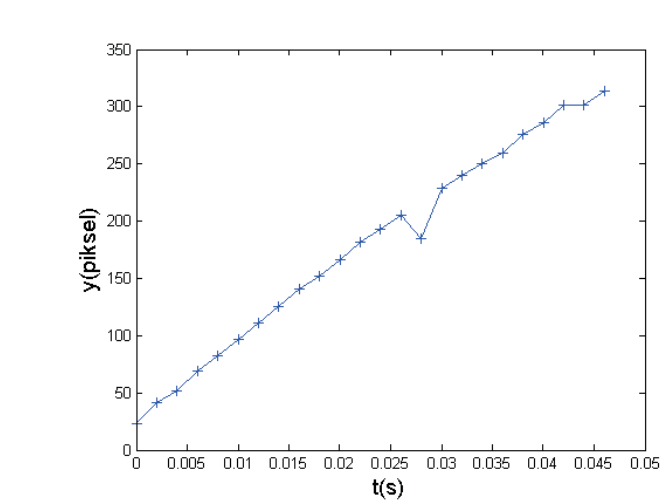
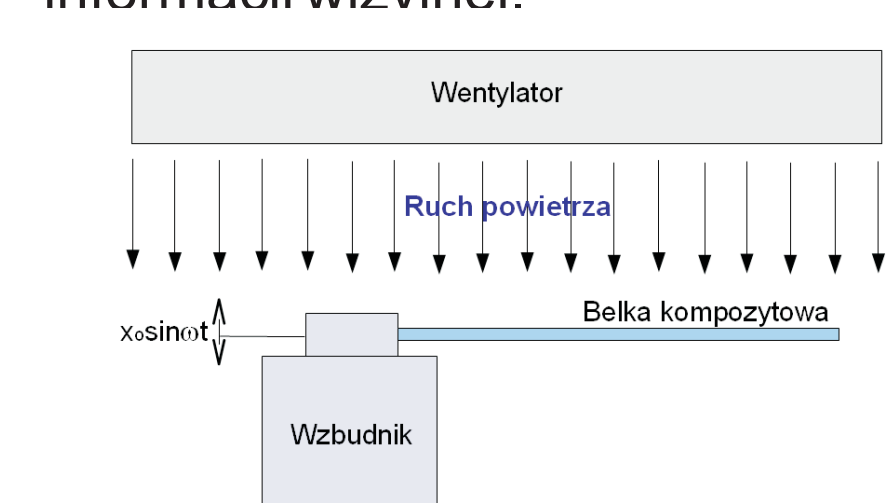
Rys. 7. Badane płyty kompozytowe (a) płyta bez wad (b) płyta z uszkodzeniem  
Fig. 7 Configuration of the tested composite plates: a) intact plate, b) defected



Rys. 9. Względne różnice częstości drgań własnych wyznaczone eksperymentalnie i numerycznie MES: (a) płyta bez wad; (b) płyta z uszkodzeniem  
Fig. 9. Relative changes of plate A free vibration frequencies compared with numerical results: (a) intact plate; (b) damaged plate

#### 5. Badania doświadczalne oceniające wpływ zjawisk aerodynamicznych na drgania belek kompozytowych Investigation of aerodynamic loads impact on composite beam dynamics – experimental setup

W ramach zrealizowanego zadania wykonano analizę doświadczalną wpływu zjawisk aerodynamicznych na drgania lekkiej belki kompozytowej. Do pomiaru przemieszczeń belki kompozytowej zastosowano bezstykową metodę pomiarową wykorzystującą kamerę, która umożliwiła rejestrację zdjęć z dużymi prędkościami. Podczas przeprowadzonych badań wyznaczono prędkość ruchu powietrza. Do realizacji tego zadania wprowadzono w strumień powietrza dodatkowe lekkie obiekty. Wentylator wytwarzający wymuszony ruch powietrza wprawił w ruch te obiekty. Przez pewien czas znajdowały się one w obszarze rejestracji informacji wizyjnej.



Rys. 10. Schemat obiektu badań z zastosowaniem wymuszonego ruchu powietrza.  
Fig. 10. Scheme of experimental setup with forced air motion.

Rys. 11. Przemieszczenie dodatkowej części służącej do określenia prędkości wymuszonego ruchu powietrza.  
Fig. 11. Displacement of the particle used to determine the speed of air flow.

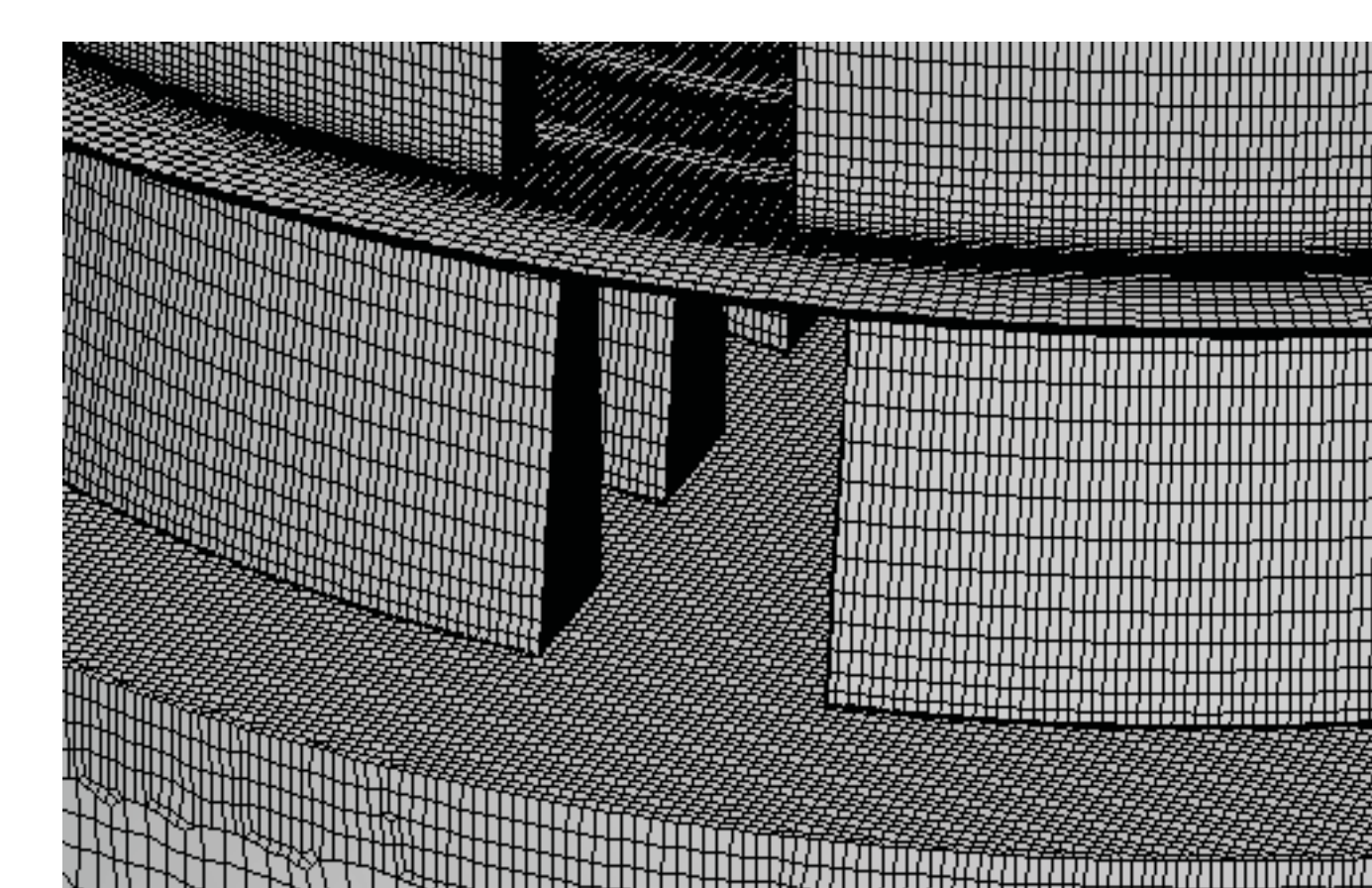
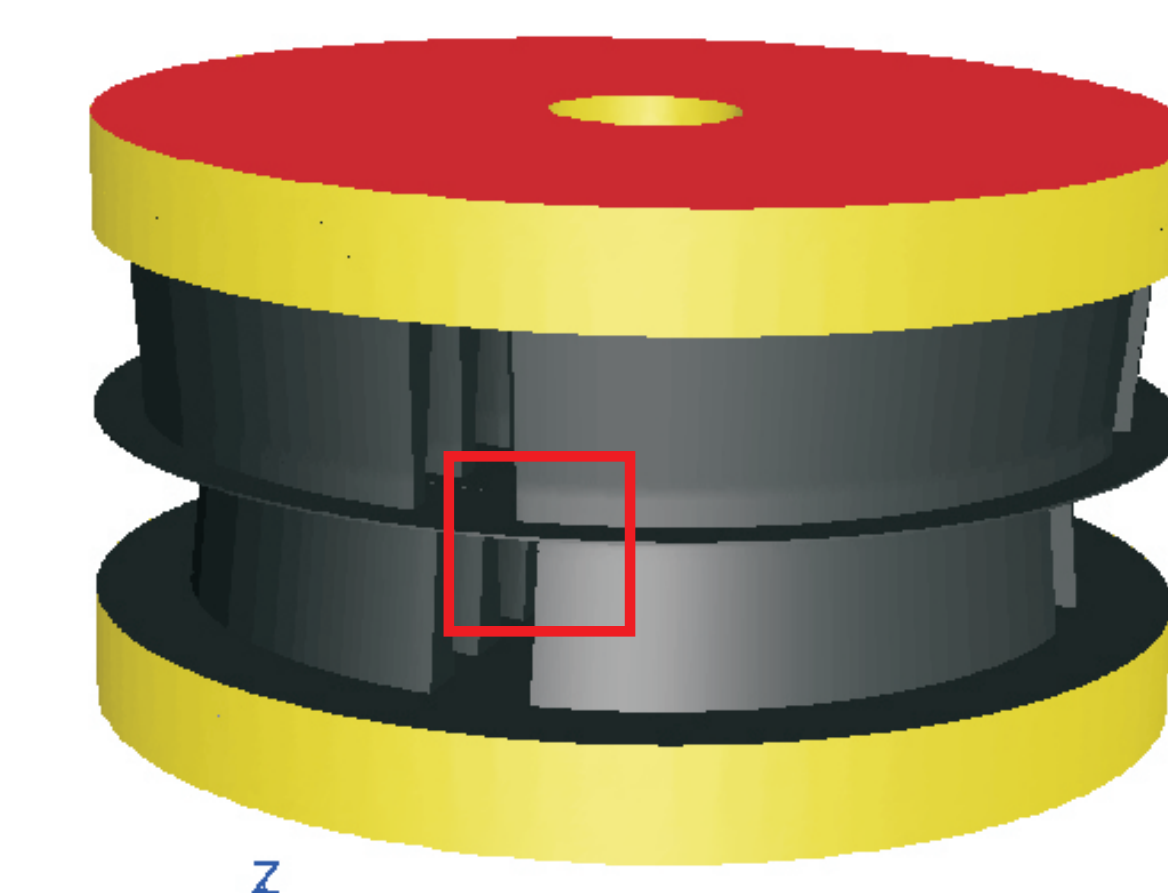
Rys. 12. Porównanie amplitud drgań punktów pomiarowych belki. Test I (bez wymuszonego ruchu powietrza), test III (z wymuszonym ruchem powietrza).  
Fig. 12. Comparison of vibration amplitude for measurement points of the beam. Test I (without forced air flow), test III (with forced air motion).

#### Wyniki badań Results

#### Numeryczna analiza przepływu w zaworze płytkowym Numerical analysis of flow in valve

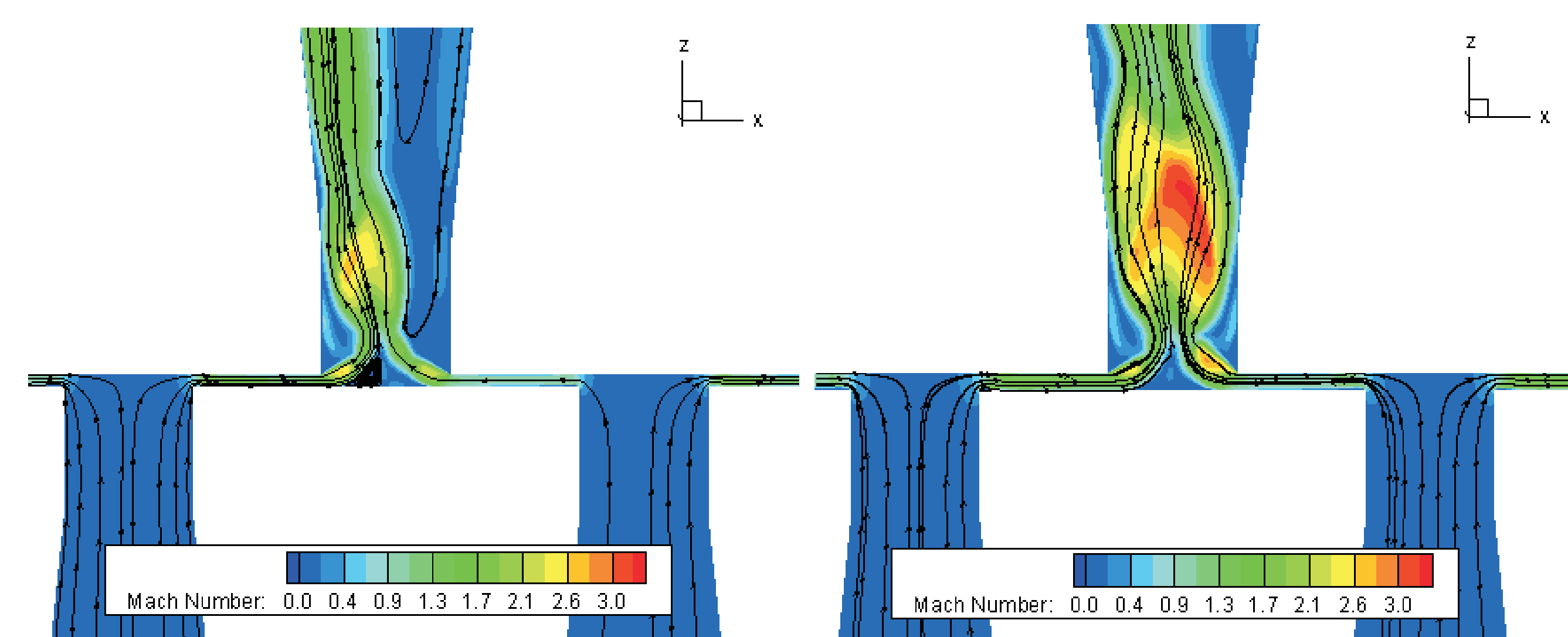
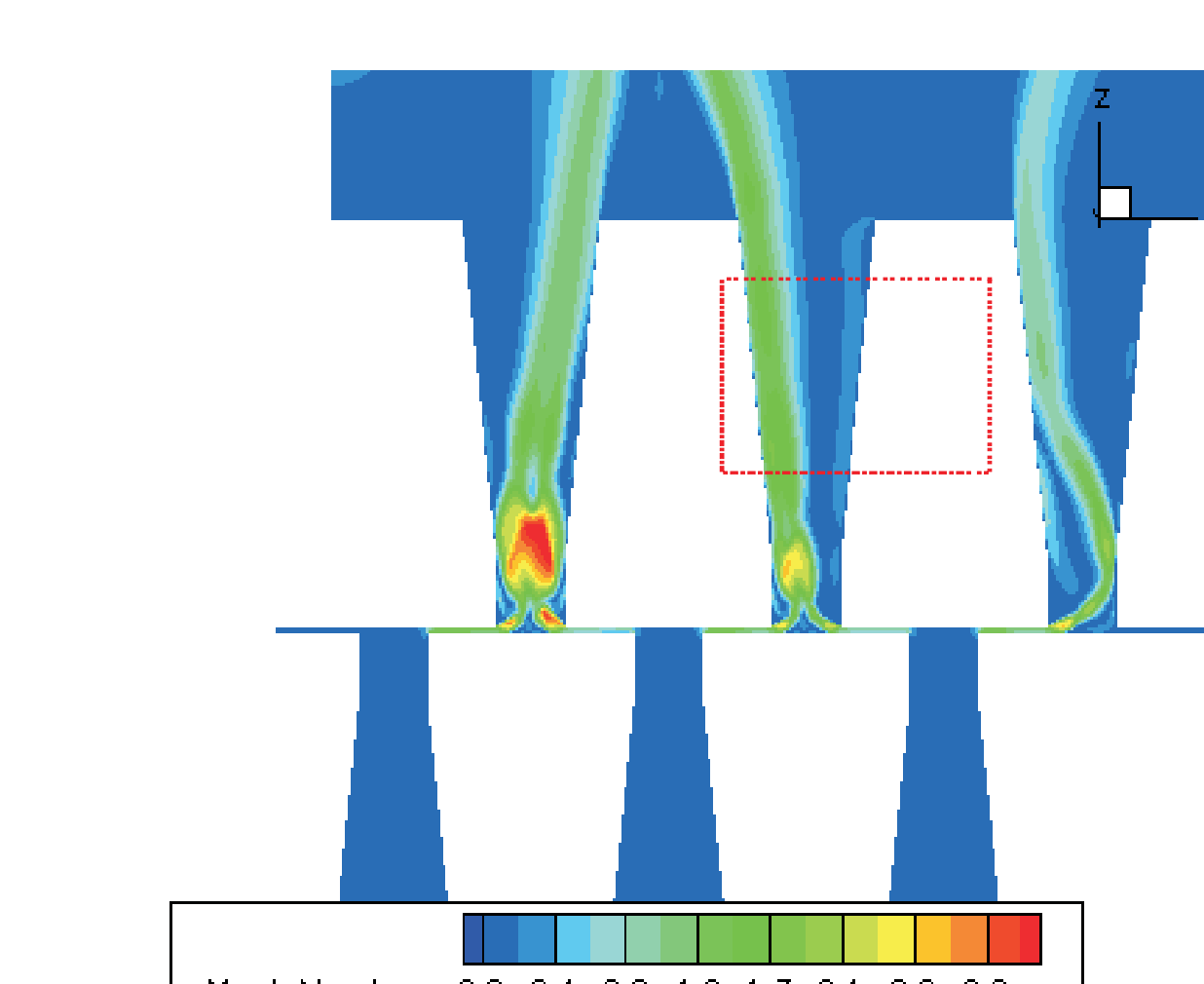
Zasadniczym celem analizy przepływu w obszarze zaworu była ocena nierównomierności parametrów przepływu w szczelinie między płytkami zaworowymi. Obliczenia wykonano programem Ansys/Fluent14, natomiast siatki obliczeniowe przygotowano w programie Hexpress/Numeca. Na rys. 1 przedstawiono geometrię obszaru obliczeniowego dla zaworu płytkowego po modyfikacji, a także zamieszczono fragment siatki obliczeniowej prezentujący obszar szczeliny i otworów. W pierwszym przypadku po modyfikacji zastosowano otwory obwodowe o przekroju prostokątnym. Na rys. 2 i 3 pokazano liczbę Macha w połowie wysokości szczeliny pomiędzy płytkami dla przypadków przed (ORG) i po modyfikacji (MOD). Wyniki wskazują na istnienie lokalnie naddźwiękowych prędkości przepływu. Zastosowanie zmodyfikowanej geometrii wpływa na wzrost równomierności przepływu w obszarze szczeliny, co pozytywnie wpływa na charakterystykę zaworu. W tabeli zamieszczono stosunek masowego natężenia wyznaczonego dla przypadku MOD i ORG. Wyniki obliczeń wskazują na wzrost wartości o ponad 20%. Kontynuacja prac i dalsza modyfikacja geometrii może dodatkowo wpłynąć na poprawę charakterystyki zaworu i zwiększenie realizowanego masowego natężenia przepływu.

The main objective of the numerical simulations was the assessment of the flow parameters non-uniformity in the gap between the plates of the valve. The simulations were carried out by means of Ansys/Fluent14 and the mesh was generated with Hexpress/Numeca. Computational domain for the valve after modification and the mesh details close to the gap between plates and holes are shown in Fig.1. Mach number at midplane in the gap between plates is presented in Fig.2-3. Results for the configurations before (ORG) and after (MOD) modifications are shown. In both cases flow is locally transonic. In case of modified geometry, higher uniformity of flow distribution is shown in circumferential grooves. It influences on increased mass flow rate and improvement of valve performance. Massflow ratio for the both cases (ORG and MOD) is shown in table. One can notice that modification can improve massflow ratio ~20%. Further modifications of geometry will be investigated in order to obtain further increase of flow uniformity.

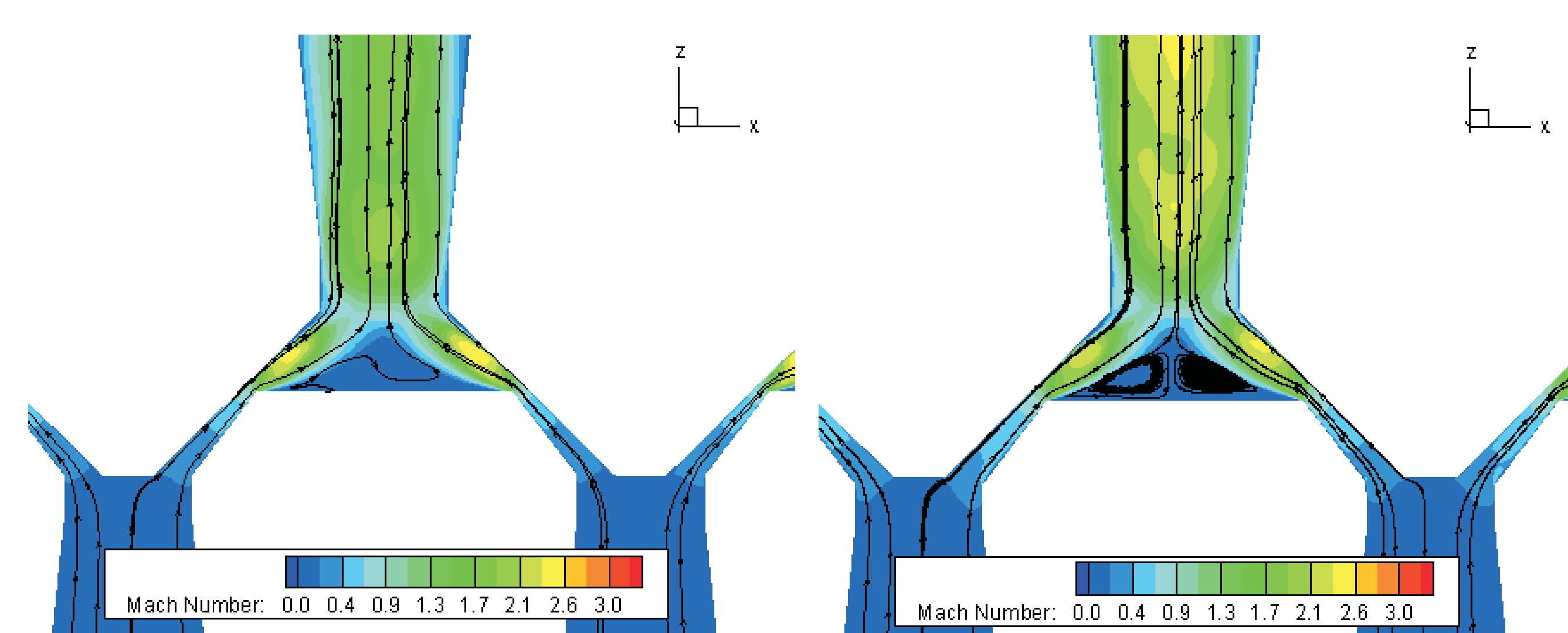


Massflow ratio after/before modification

gap height h (mm)	m <sub>MOD</sub> /m <sub>ORG</sub> p1 = 200 kPa	m <sub>MOD</sub> /m <sub>ORG</sub> p1 = 1000 kPa
0.05	1.24	1.22
0.06	1.23	1.22
0.07	1.23	1.21

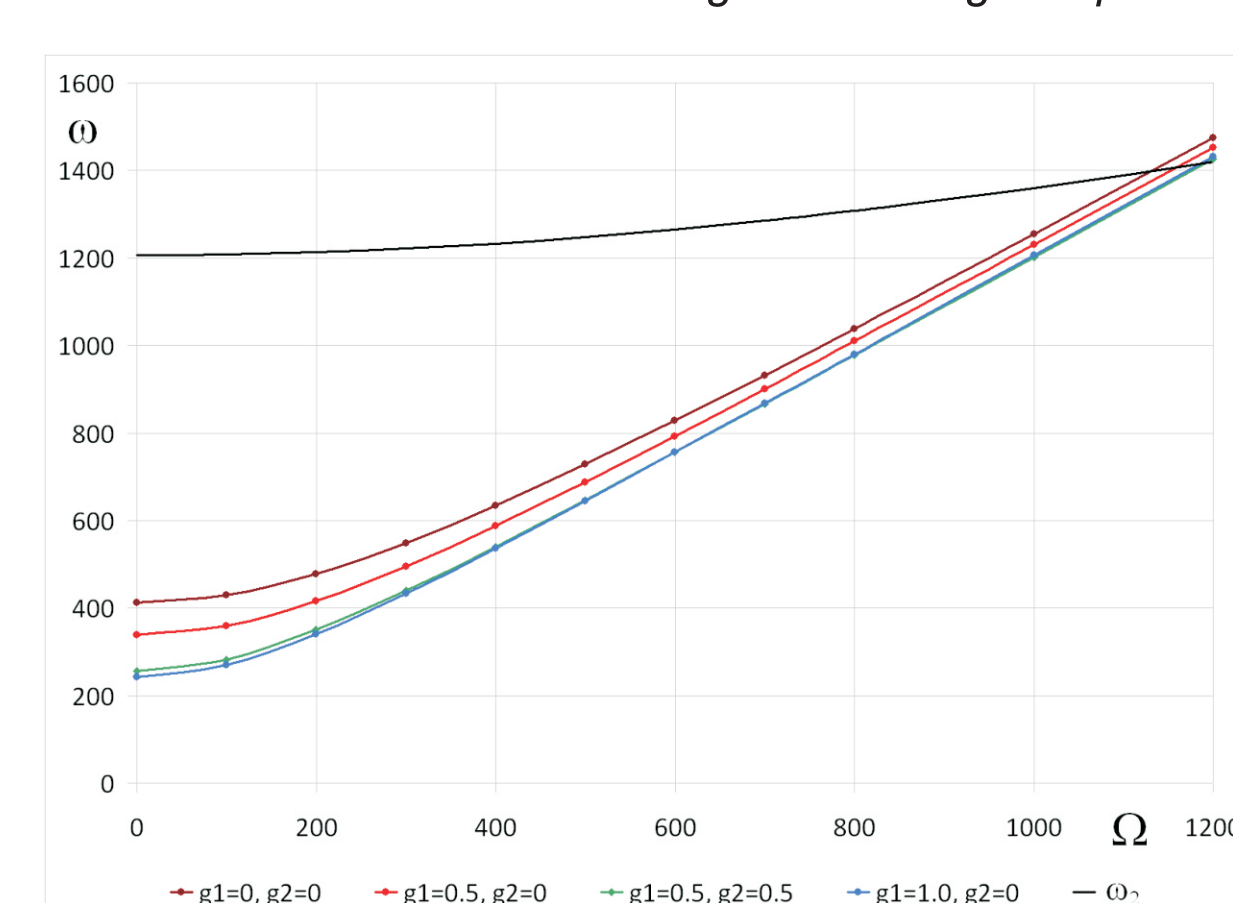


Rys. 2. Liczba Macha w szczelinie przed modyfikacją -ORG (h=0.05 mm - po lewej, h=0.07mm - po prawej)  
Fig. 2. Mach number in the gap before modification - ORG (h=0.05 mm - left, h=0.07mm - right)

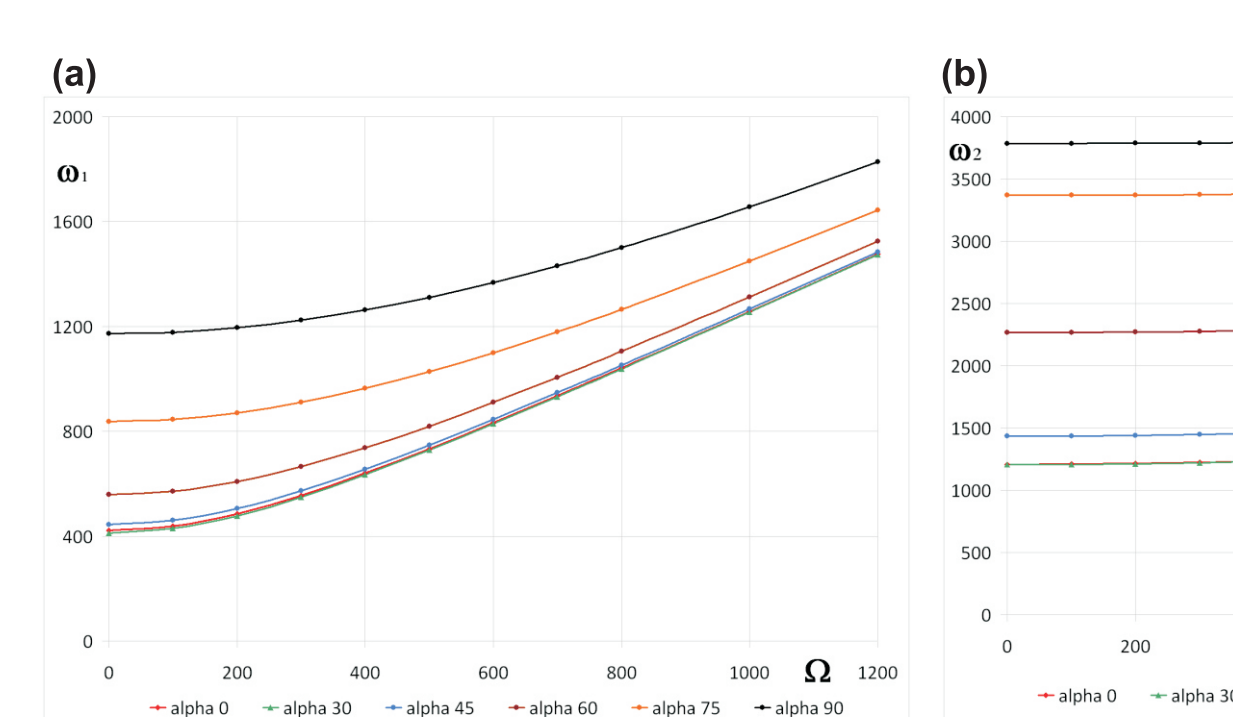


Rys. 3. Liczba Macha w szczelinie po modyfikacji -MOD (h=0.05 mm - po lewej, h=0.07mm - po prawej)  
Fig. 3. Mach number in the gap after modification - MOD (h=0.05 mm - left, h=0.07mm - right)

Rys. 3. Model badanej wirującej belki kompozytowej z elementami piezoelektrycznymi  
Fig. 3. Rotating composite beam model with piezoelectric actuators



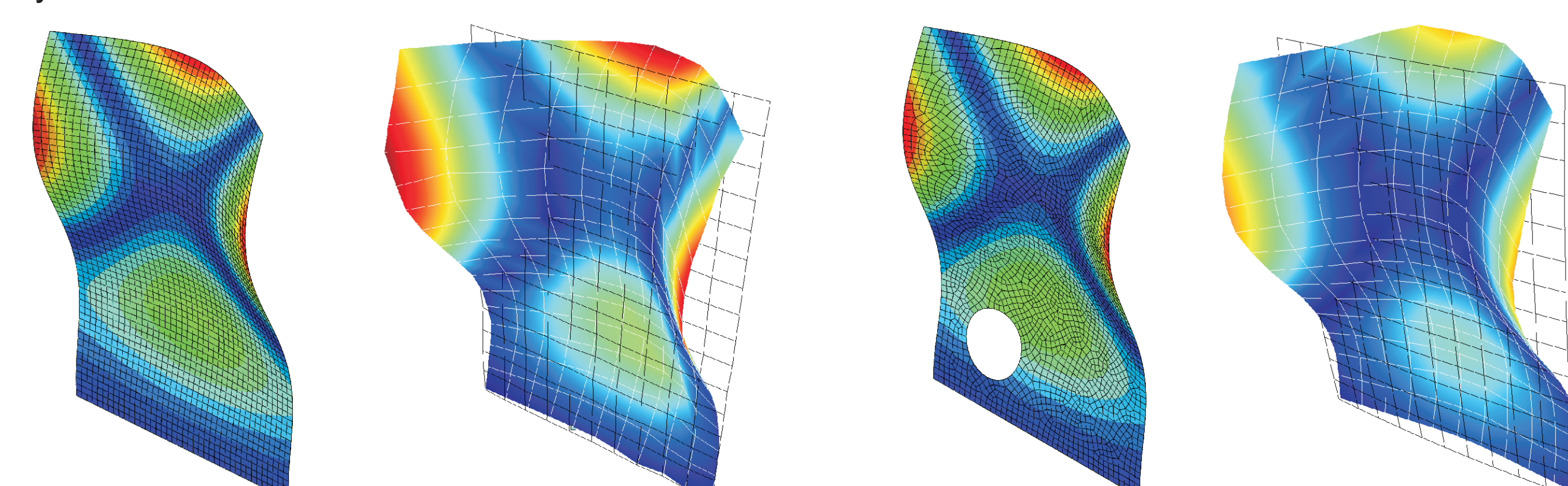
Rys. 4. Wpływ wzmocnień sprężenia zwrotnych na dynamikę układu dla kąta 30°  
Fig. 4. Influence of gain values to structure's dynamic for alpha 30°



Rys. 5. Wpływ prędkości wirnika i kąta ustawienia włókien na pierwszą częstotliwość drgań własnych układu w kierunku: (a) podatnym; (b) sztywnym  
Fig. 5. Influence of hub speed and fiber orientation to first natural frequency: (a) flapwise plane; (b) chordwise plane

#### 3. Zastosowanie wibrometru laserowego 3-D do określania częstości drgań własnych płyt kompozytowych z uszkodzeniem Application of 3-D laser scanning vibrometer in determination of free vibration frequencies of composite plates with damage

Główną ideą przeprowadzonych badań porównawczych była ocena możliwości wykorzystania wibrometrii laserowej 3D do badania wpływu wad materiałowych występujących w płytach kompozytowych na właściwości dynamiczne tego typu struktur. Analizowano częstości drgań własnych oraz wygląd odpowiadających im postaci własnych poprzez porównanie wyników badań próbek wykonanych z laminatu szklano-epoksydowego wolnego od uszkodzeń oraz z wadami. Do potrzeb eksperymentu przygotowano 8 warstwowe płyty szklano-epoksydowe o różnym ułożeniu warstw laminatu. Równolegle przeprowadzono analizy numeryczne z wykorzystaniem oprogramowania metody elementów skończonych ABAQUS. Uszkodzenie badanych płyt miało postać kołowego otworu, co pozwalało na precyzyjne zdefiniowanie rozmiarów defektu. Przykładowe wyniki przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Wybrane postaci drgań własnych płyty kompozytowej. (a) płyta bez uszkodzeń, (b) płyta z uszkodzeniem  
Fig. 6. Selected mode shapes (No. 5) of composite plates obtained numerically and experimentally: a) intact plate, b) damaged plate

#### Wyniki Results

- Ad. 1. Dotychczas uzyskane wstępne wyniki pomiarów potwierdzają wysoką użyteczność opracowanego stanowiska badawczego. W ramach oceny sprawdzono zarówno mechaniczne aspekty konstrukcji stanowiska, jak również wybrany sposób sterowania prędkością ruchu obrotowego piasty.
- Ad. 2. Ustytuowanie aktywatorów sprawia, że wpływ widoczny jest szczególnie przy zginaniu belki w płaszczyźnie podatnej. Wykazano, że zmieniając wartości poszczególnych sprężenia można wpływać na położenie punktu przecięcia krzywych rezonansowych jak również na iloraz amplitud odkształcenia belki w poszczególnych kierunkach (sztywnym i podatnym)
- Ad. 3. Badania doświadczalne wpływu uszkodzenia na charakterystyki dynamiczne kompozytów laminatowych wykonane metodą Vibrometrii Laserowej dały wyniki zgodne z modelami MES, zarówno w przypadku płyt, jak i belek.
- Ad. 4. Względne zmiany częstości własnych badanych struktur kompozytowych z uszkodzeniem w stosunku do elementów nieuszkodzonych mają różne wartości dla kolejnych postaci drgań.
- Ad. 5. W ramach przeprowadzonych badań eksperymentalnych określono wpływ zjawisk aerodynamicznych na drgania belki kompozytowej. Uzyskane wyniki potwierdzają wpływ wymuszonego ruchu powietrza na poziom drgań testowanego obiektu. Ten dodatkowy czynnik w przedstawionym przykładzie spowodował zmniejszenie amplitudy drgań.

#### Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

#### Referaty

1. Samborski S., Smagowski W., Teter A.: „Application of 3-D laser scanning vibrometer in determination of free vibration frequencies of composite plates with damage – abstract”. Experimental Mechanics of Solids - 26th Symposium Jachranka, Poland, October 22-25, 2014, pp. 47.
2. Samborski S.: „Experimental verification of defect's influence on beams' dynamics using laser scanning vibrometry”. Experimental Mechanics of Solids - 26th Symposium Jachranka, Poland, October 22-25, 2014, str.46.
3. Samborski S.: „Wybrane aspekty eksperymentalnej oceny uszkodzenia współczesnych materiałów konstrukcyjnych”. XXVI Sympozjum Mechaniki Eksperymentalnej Ciała Stałego im. prof. Jacka Stupnickiego, Jachranka, 22-25 X 2014.

#### Publikacje

1. Latalski J., Bocheński M., Warmiński J., Jarzyna W., Augustyniak M.: „Modelling and simulation of 3 blade helicopter's rotor model”. Acta Physica Polonica A, nr 6, vol. 125, pp 1380-1383, 2014. [MNIŚW: 15]
2. M. Bocheński, J. Latalski, J. Warmiński: „Control of flexural flapwise – chordwise coupled vibrations of a thin walled composite beam”. 7th Forum Acusticum, 7-12 September 2014, Kraków. ISSN number: 2221-3767 for CD, ISBN number: 987-83-61402-28-2 for Book of Abstract.
3. Samborski S., Smagowski W. and Teter A. „Application of 3-D Laser Scanning Vibrometer in Determination of Free Vibration Frequencies of Composite Plates with Damage”. Solid State Phenomena (praca w druku).
4. Samborski S.: „Experimental verification of defect's influence on beams' dynamics using laser scanning vibrometry”. Solid State Phenomena (praca w druku).
5. Samborski S.: „Modeling of delamination influence on mechanical characteristics of composite cantilever beam”, praca wysłana do czasopisma „Composites”.