

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

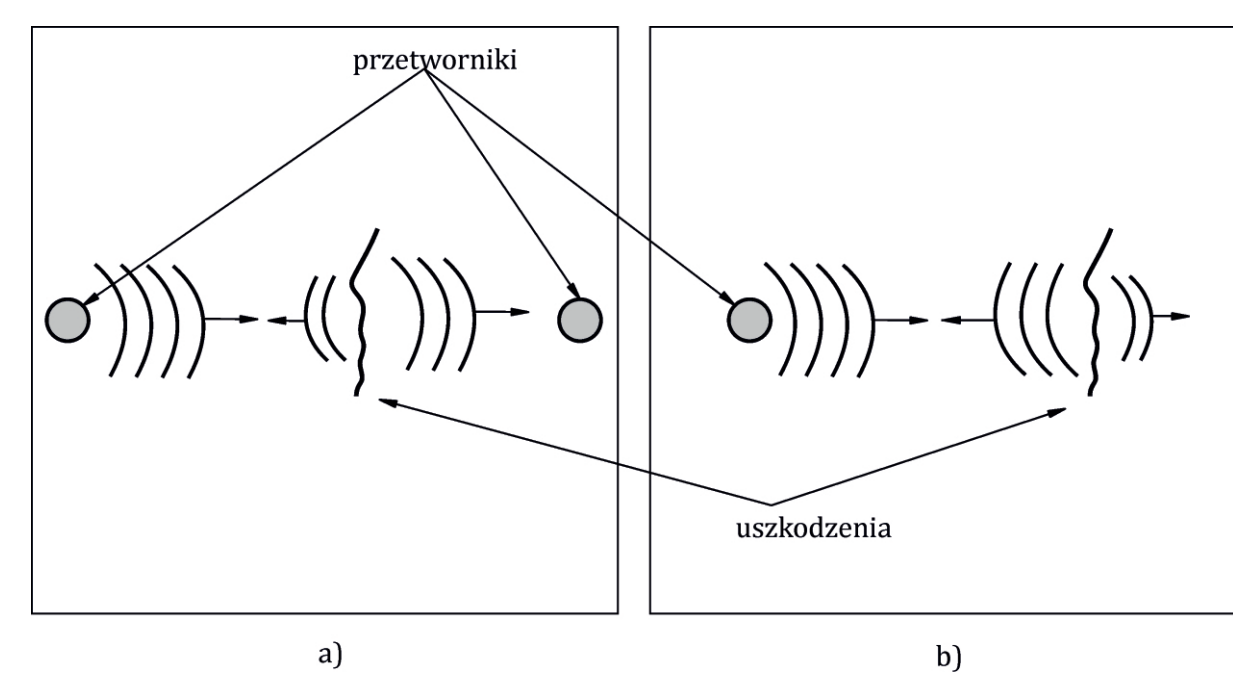
Wyniki badań Results

Badania skupione były na opracowaniu metod wykorzystania propagacji fal sprężystych do wykrywania i lokalizacji defektów konstrukcyjnych w kontekście rozwijania systemów monitorowania stanu technicznego konstrukcji. Monitorowanie stanu technicznego konstrukcji może być ujęte statystycznie. W takim przypadku obejmuje ono kilka następujących po sobie kroków postępowania:

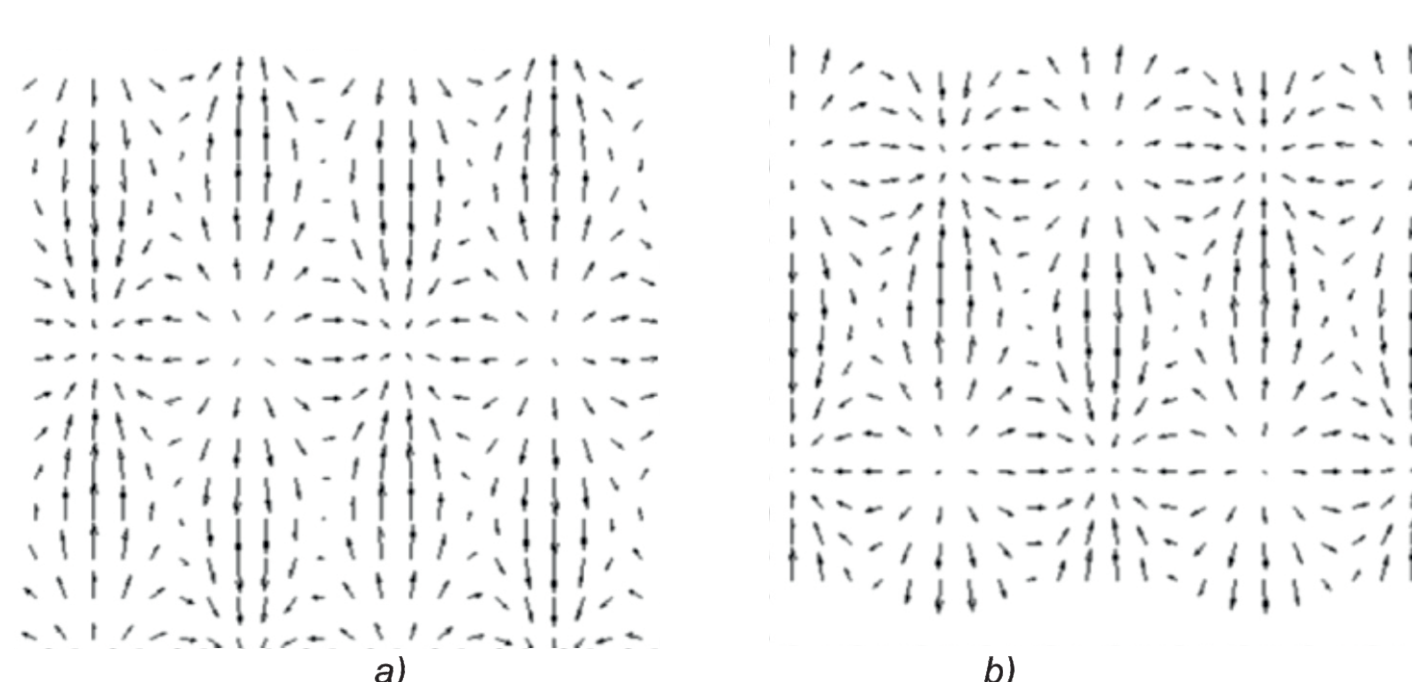
- Ocena eksploatacyjną,
 - Zbieranie, normalizację i oczyszczanie danych,
 - Pozyskiwanie cech uszkodzeń i kompresję danych,
 - Budowę modeli statystycznych dla prawidłowego różnicowania pozyskanych cech.
- Zadaniem systemów monitorowania stanu technicznego jest identyfikacja i ocena uszkodzeń we wczesnej fazie ich rozwoju. W ogólnym przypadku można wyróżnić następujące poziomy identyfikacji:
- detekcja,
 - lokalizacja,
 - szacowanie,
 - ocena.

Research was concentrated on development of method for damage detection and localization using elastic wave propagation phenomena in the frame of Structural Health Monitoring (SHM) system development. Statistical approach to SHM can be divided into following steps:

- Exploitation evaluation,
 - Data acquisition, normalisation and cleansing,
 - Feature extraction and data compression,
 - Development of statistical models for features interpretation.
- The goals of SHM systems are identification and evaluation of damage in the early stage of growth. In general one can distinguish following levels of identification:
- detection,
 - localisation,
 - size and type estimation,
 - evaluation.



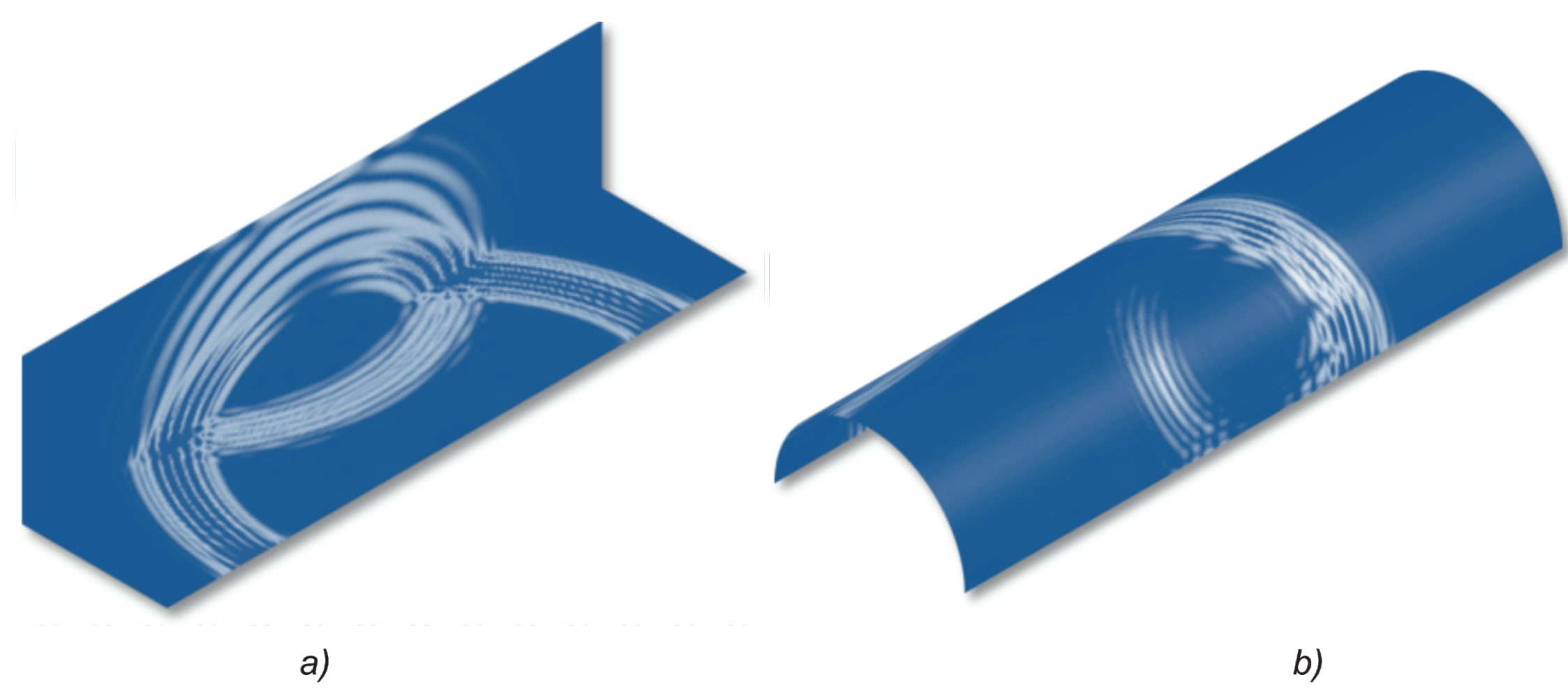
Rys. 1. Schematyczne przedstawienie metody lokalizacji uszkodzeń typu a) pitch-catch, b) pulse-echo
Fig. 1. Damage localisation approaches: a) pitch-catch method, b) pulse-echo method



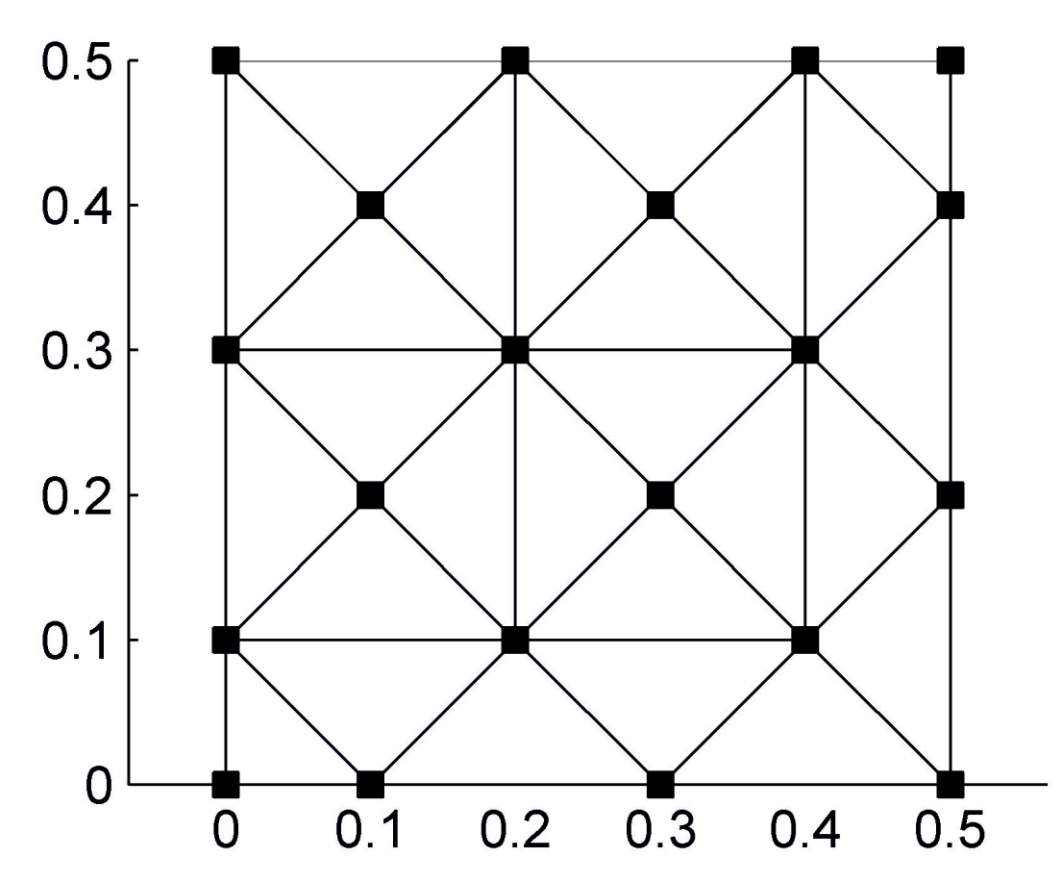
Rys. 2. Charakter przemieszczeń w przekroju płyty związanej z propagacją fal Lamba: a) postać symetryczna S0, b) postać antysymetryczna A0
Fig. 2. Displacement profile for: a) symmetric Lamb wave S0 and b) antisymmetric Lamb wave A0

Istnieją dwa podejścia stosowane w systemach monitorowania konstrukcji bazujących na propagacji fal sprężystych określane w literaturze jako pulse-echo oraz pitch-catch (Rys. 1). W badaniach numerycznych skoncentrowano się na zastosowaniu metody spektralnych elementów skończonych. Rozważono również problem modelowania uszkodzeń tj. delaminacja i pęknięcia.

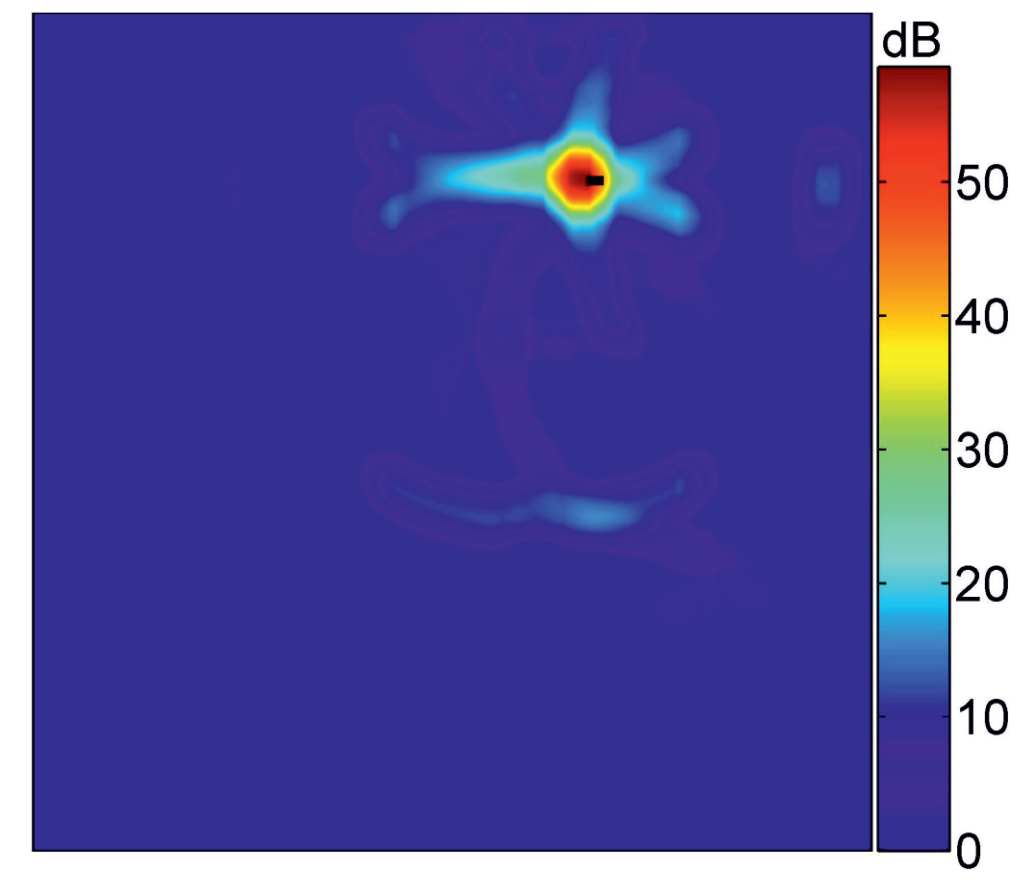
In the SHM based on elastic wave propagation two approaches are distinguished, pulse-echo and pitch-catch (Fig. 1). In the numerical investigations the Spectral Element Method was utilized. Damage in the form of delaminations and cracks was modelled.



Rys. 3. Wyniki obliczeń metodą elementów spektralnych: a) propagacja fal sprężystych w płaskowniku, b) propagacja fal sprężystych w półrurze z uszkodzeniem zmęczeniowym
Fig. 3. Wave propagation modelling result using Spectral Element Method: a) flat element, b) halfpipe with fatigue damage



Rys. 4. Rozproszona siatka czujników do lokalizacji uszkodzeń
Fig. 4. Distributed sensor network for damage localisation



Rys. 5. Wynik wykrywania pęknięcia za pomocą rozproszonej siatki czujników (Rys. 4)
Fig. 5. Crack localisation using distributed sensor network (Fig. 4)

Wnioski Conclusions

Stosując zaproponowaną metodę możliwe jest jednoznaczne określenie położenia uszkodzeń (Rys. 5).

Przygotowano i przetestowano program do modelowania i analizy propagacji fal sprężystych w dwu i trójwymiarowych konstrukcjach cienkościennych. Możliwe jest efektywne modelowanie konstrukcji wykonanych z materiałów izotropowych lub kompozytów laminowanych. Możliwe jest modelowanie wszystkich możliwych rodzajów fal propagujących się w konstrukcjach cienkościennych (ścinających i poprzecznych).

Using the proposed method successful damage localisation was achieved (Fig. 5).

The numerical procedures were prepared and tested. It was designed for modelling an analysis elastic waves propagating in 2D and 3D thin-walled structures. It is possible to model efficiently structures made out of isotropic and laminated composite materials. All types of waves present in thin-walled structures can be considered (shear and

Wyniki badań Results

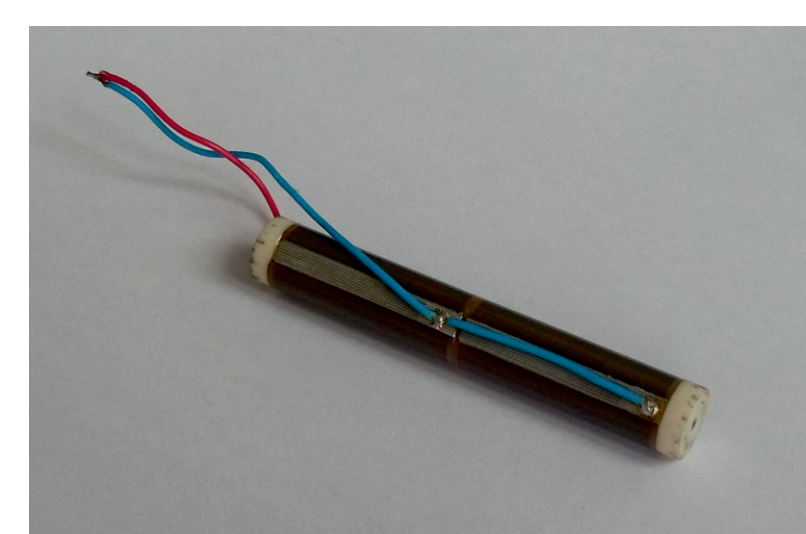
Badania zaworu z przetwornikiem piezoelektrycznym Investigation of piezoelectric valves

Cel i sposób realizacji badań zaworu z płytkami Hörbigera, wyposażonego w przetwornik piezoelektryczny

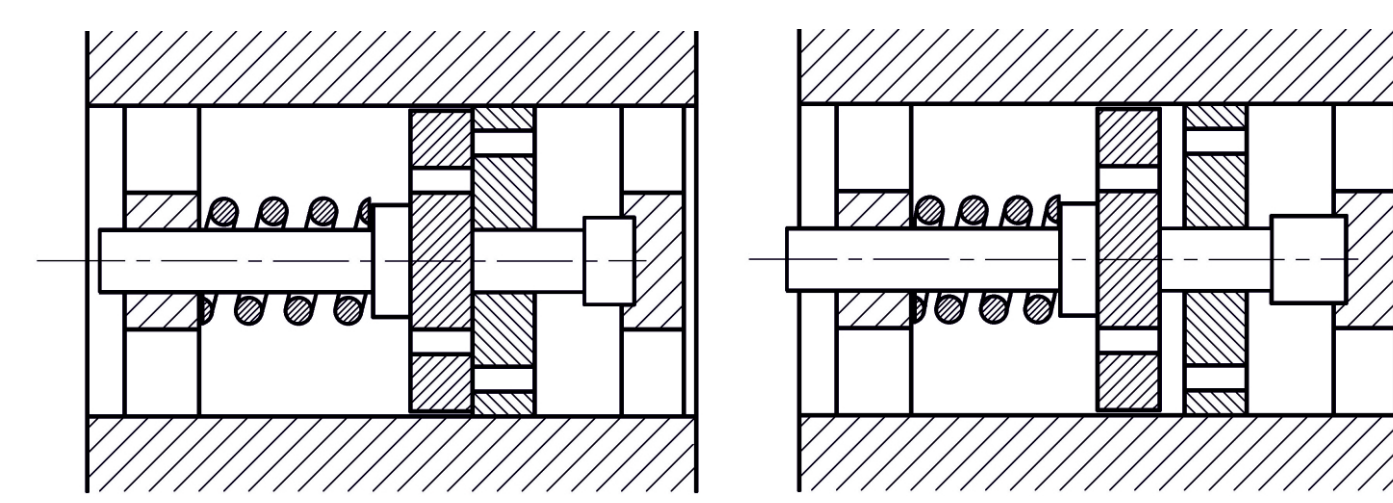
Badania zaworu płytkowego są jednym z etapów prac, których celem jest budowa i uruchomienie systemu adaptacyjnego rozpraszania energii uderzenia (Adaptive Impact Absorber). Układ ten składa się z absorbera energii uderzenia posiadającego cylinder, tłok z umieszczonym w nim zaworem oraz sterownik otwierający zawór. Zastosowanie zaworu łączącego przestrzeń z dwóch stron tłoka ma umożliwić sterowanie wartością siły reakcji absorbera pośredniczącego w zderzeniu - w taki sposób, aby ograniczyć maksima w jej przebiegu. Element wykonawczy zaworu działa w oparciu o odwrotny efekt piezoelektryczny. Jest on wykonany z wielowarstwowej ceramiki o własnościach piezoelektrycznych.

The goal and method of testing of the valve equipped with Hörbiger plates and piezoelectric transducer

The plate valve investigation is one of the stages of the research that is focused on the building and startup of an Adaptive Impact Absorber (AIA). This system consists of the impact absorber having a cylinder and a piston with the valve placed inside of it, and of the control circuit that operates the valve. The application of the valve, which connects spaces on both sides of the piston, should enable us to control the reaction force value of the absorber during the impact - to minimize the maximum load imposed on the structure. The valve actuator works by using the reverse piezoelectric effect. It is made of piezoelectric ceramics.



Rys. 4. Element służący do przełączania zaworu, wykonany z ceramiki piezoelektrycznej.
Fig. 4. Element which serves to operate the valve, made of piezoelectric ceramics.



Rys. 5. Uproszczony rysunek przekroju przez zawór zamknięty (po lewej) i otwarty (po prawej). Wewnątrz zaworu znajdują się dwie kołowe płytki z przelotowymi otworami, nie zachodzącymi na siebie nawzajem, gdy płytki są ze sobą złączone. Odświeżenie jednej płytki od drugiej następuje w wyniku wydłużenia się przetwornika piezoelektrycznego.
Fig. 5. The simplified cross-section view through the valve when it is closed (on the left) and when it is opened (on the right). Inside the valve are placed two circular plates with through holes that don't overlap mutually when the plates are aligned mutually. The separation of the valve plates is achieved by the elongation of the piezoelectric transducer.

Zastosowanie w podwoziach lotniczych adaptacyjnych absorberów energii uderzenia umożliwi złagodzenie przyziemienia w czasie lądowania dla różnych prędkości opadania oraz mas ładunku transportowanego na płatowcu.

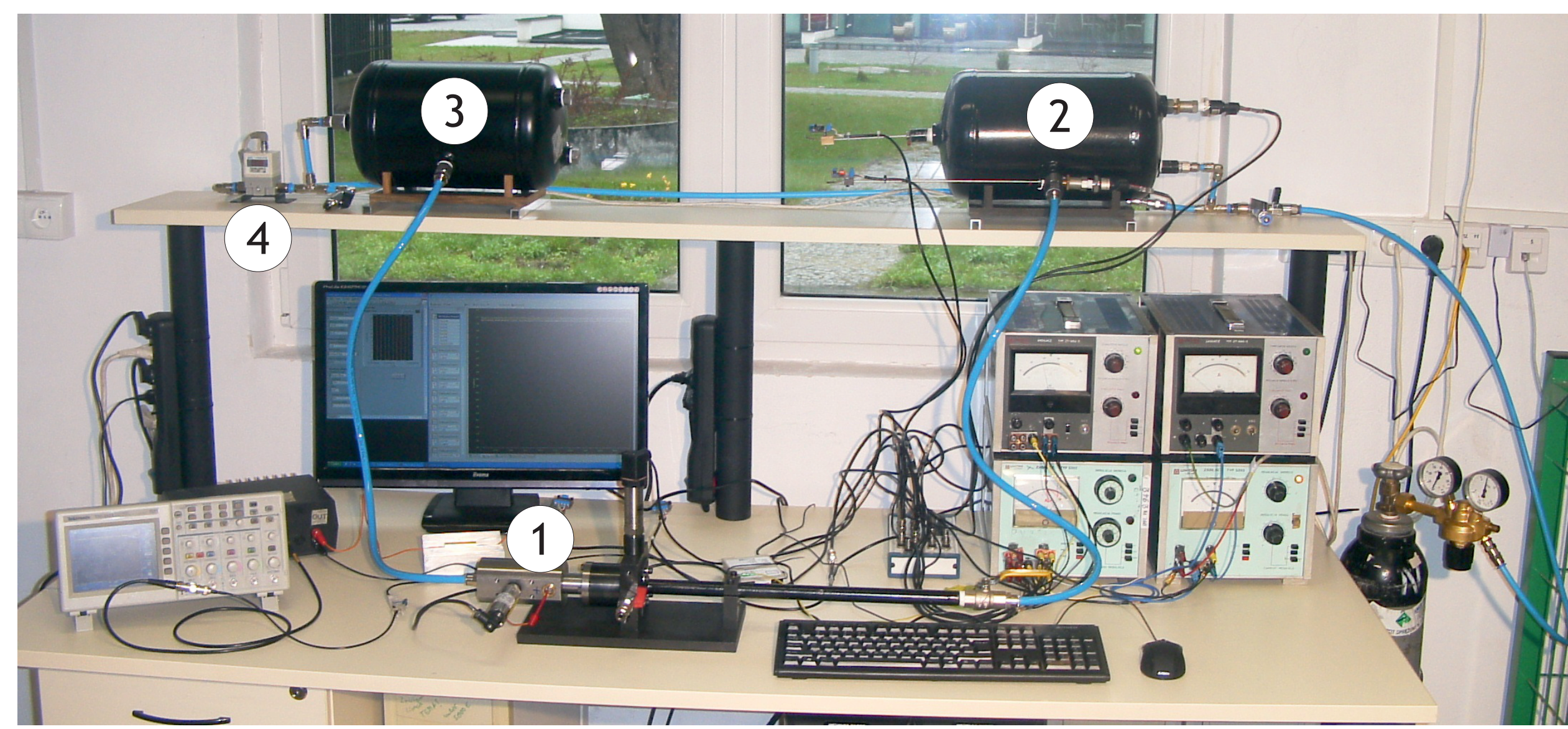
The application of Adaptive Impact Absorbers in landing gears will enable the touch down moderation - in some range of descending velocities and masses of an aircraft.



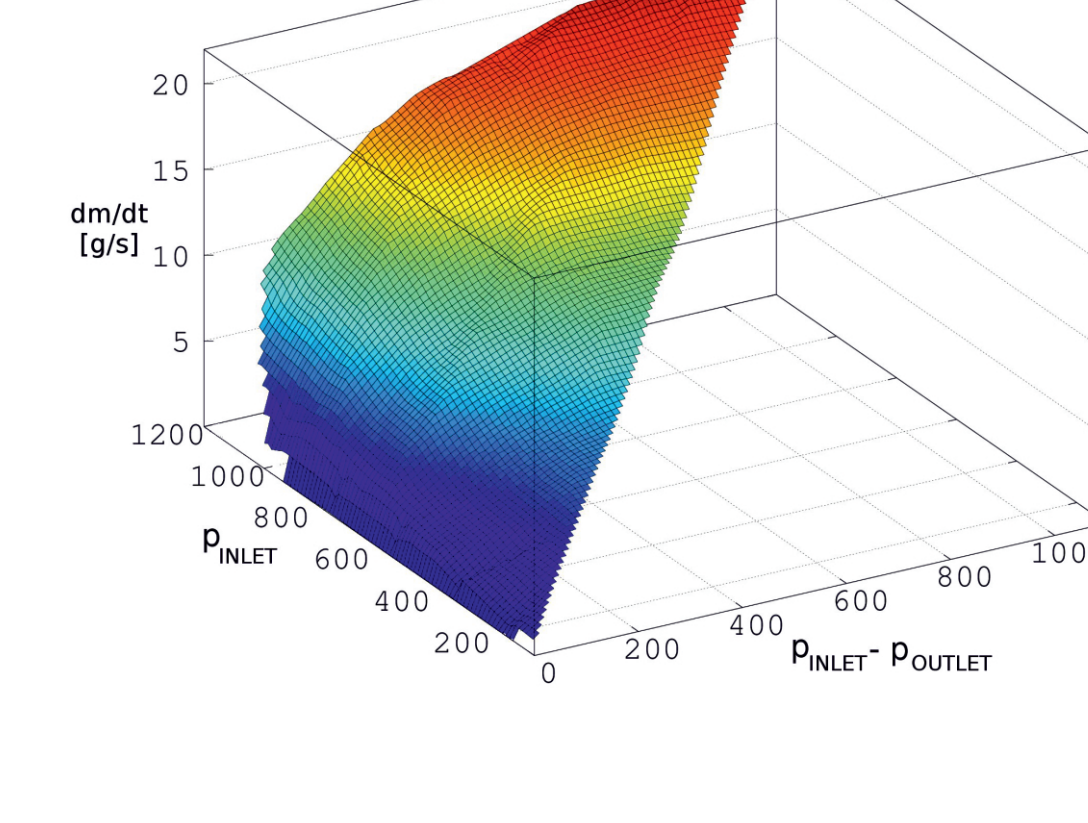
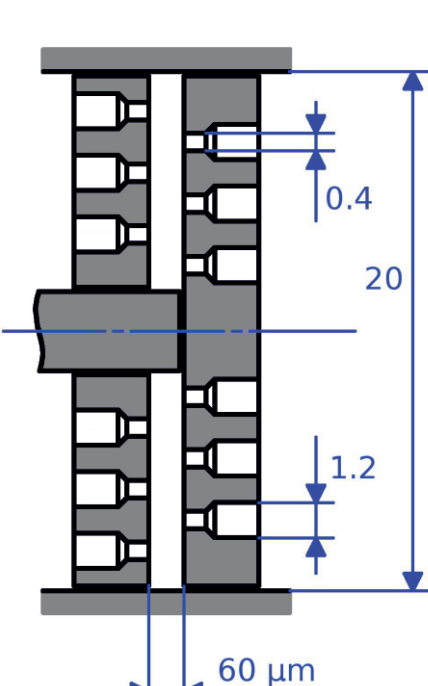
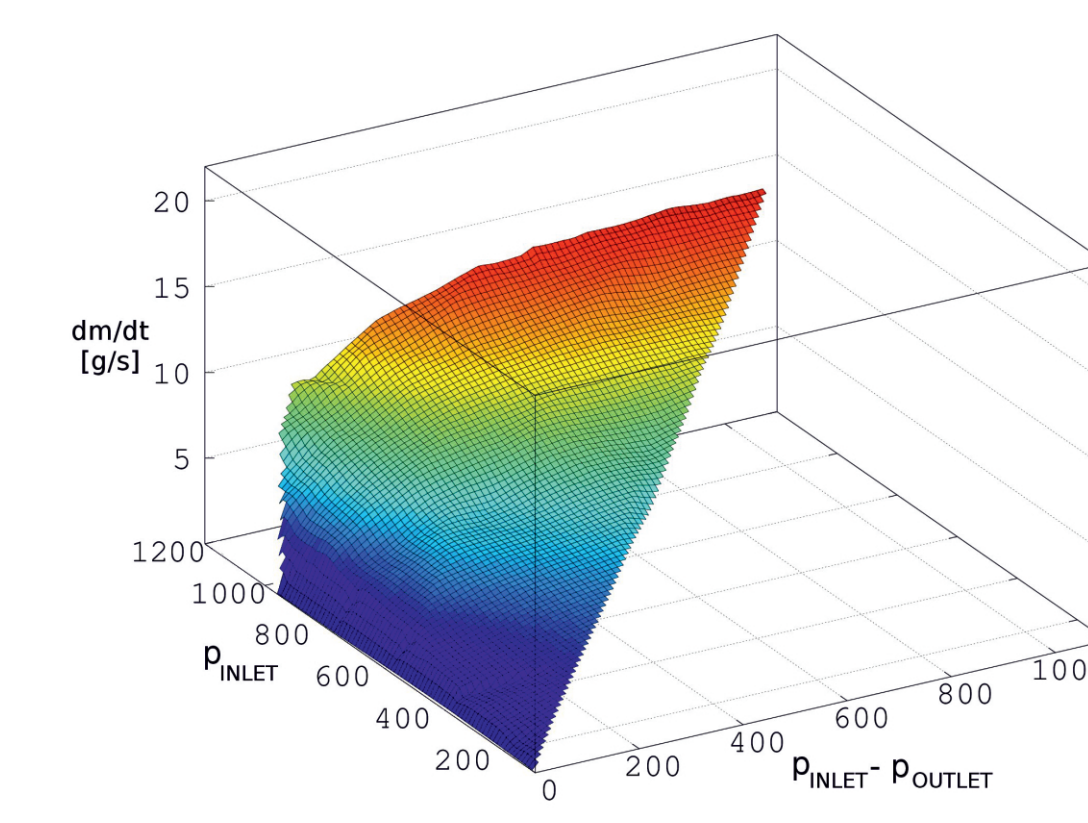
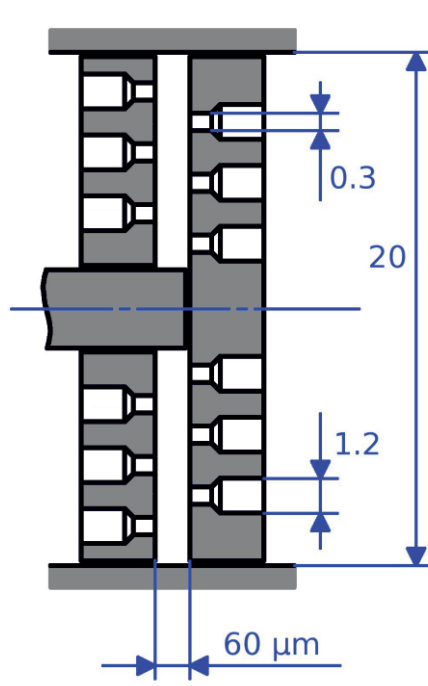
Rys. 6. Badany zawór.
Fig. 6. Investigated valve.



Rys. 7. Płytki zaworu: od strony ich wzajemnego styku (po prawej) i od przeciwnej strony (po lewej).
Fig. 7. Valve plates: view on the side of their mutual contact (on the right) and view of their outer side (on the left).



Rys. 8. Stawisko do badań przepływowych zaworu piezoelektrycznego. 1 - korpus, w którym umieszczony jest badany zawór; 2 - zbiornik połączony z wlotem zaworu; 3 - zbiornik połączony z wylotem zaworu; 4 - regulator ciśnienia służący do ustalenia ciśnienia na wlocie zaworu.
Fig. 8. Setup used for the investigation of the piezoelectric valve. 1 - housing containing tested valve; 2 - container connected to the valve inlet; 3 - container connected to the valve outlet; 4 - pressure regulator applied to fixing the outlet pressure on the valve.

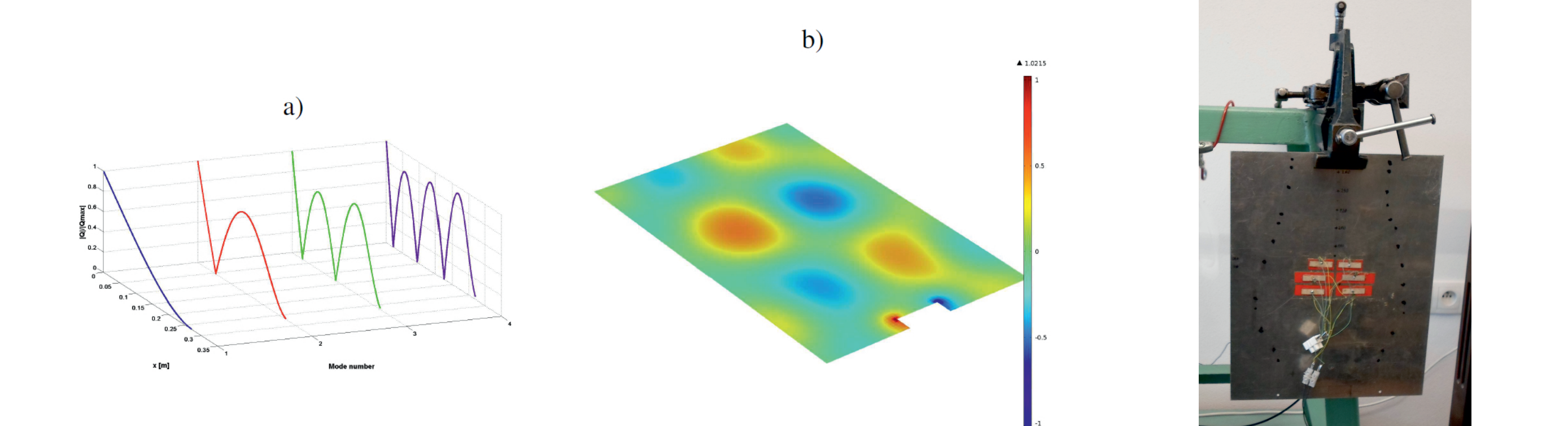


Rys. 9. Wydatki masowe azotu przepływającego przez zawory posiadające komplety płytek z kołowymi kanałami o szerokości 0,3 mm (górny rysunek) oraz z kanałami o szerokości 0,4 mm (dolny rysunek).
Fig. 9. Mass flow rates of nitrogen flowing through valves having plates with different channel widths. 0,3 mm (top) and 0,4 mm (bottom). p_{inLET} - pressure on valve inlet. p_{outLET} - pressure difference between inlet and outlet of the valve.

Wyniki badań Results

Weryfikacja sprzętowa działania wybranych kontrolerów dla aktywnej redukcji wibroakustycznej Hardware verification of the functioning of the selected controllers for active vibroacoustic control

Badania doświadczalne przeprowadzono wykorzystując w tym celu prostokątną płytę aluminiową, z naklejonymi na jej powierzchni elementami piezoelektrycznymi. Budowa stanowiska laboratoryjnego przedstawiona została na rysunku Rys.1.



Rys. 2. Znormalizowana amplituda ładunku elektrycznego zaindukowanego na a) prostokątnej sondzie piezoelektrycznej, jako funkcja jego położenia na powierzchni belki dla pierwszych czterech trybów drgań b) sondzie punktowej na powierzchni płyty dla przykładowej, wybranej postaci drgań własnych
Fig. 2. Normalized amplitude of electric charge induced on a) a rectangle shaped piezosensor, as a function of its location on the surface of cantilevered beam for the first four vibration modes b) a point sensor on a plate surface for an example single vibration mode



Rys. 1. Stanowisko laboratoryjne do badań nad aktywną redukcją wibroakustyczną struktury płytowej
Fig. 1. Laboratory stand for research on the active vibroacoustic control of the plate structure

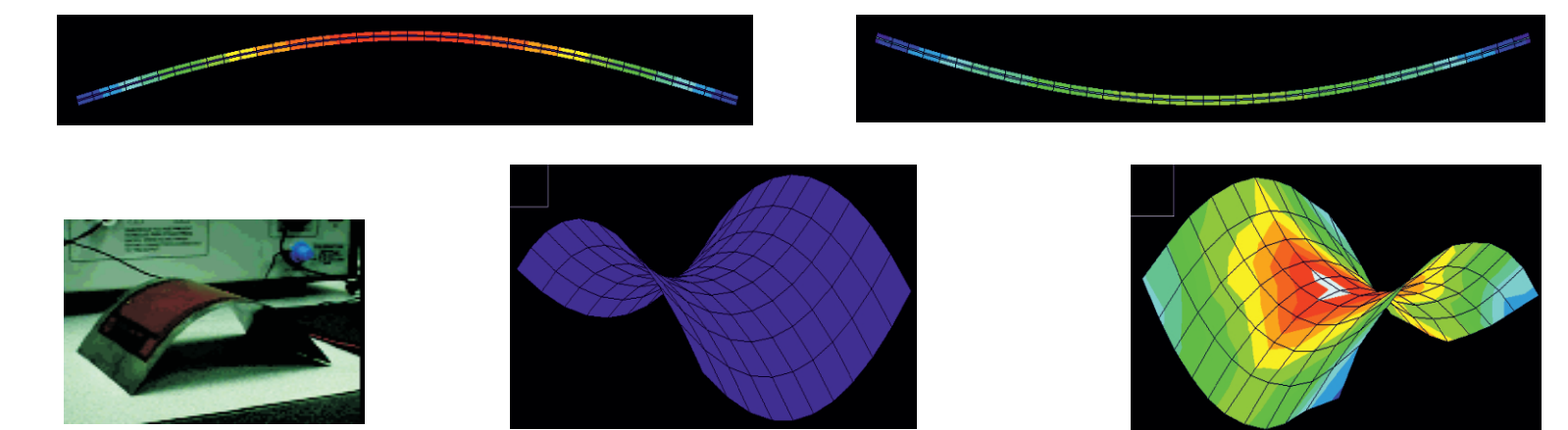
Otrzymane rezultaty badań potwierdziły, że bardzo istotnym parametrem układu aktywnej kontroli wibroakustycznej mającym wpływ na możliwość kontrolowania poszczególnych postaci drgań własnych jest rozmieszczenie sensorów i aktyuatorów piezoelektrycznych na powierzchni kontrolowanego elementu.

The obtained results confirmed that positioning of the piezoelectric sensors and actuators on the surface of the controlled element is crucial for the ability of controlling specific vibration modes.

Wyniki badań Results

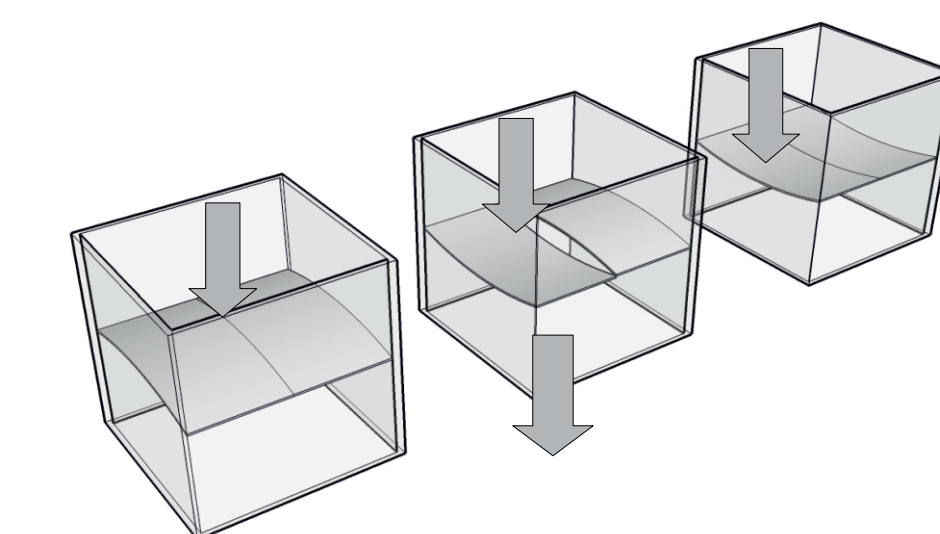
Opracowanie koncepcji alternatywnych sterowalnych zaworów do konstrukcji pneumatycznych Development of the concept of alternative controllable valves for pneumatic structures

1. Wykorzystanie zjawiska przeskoku do uzyskania dużych przemieszczeń powłok o kształcie cylindrycznym oraz paraboloidalnym 1. Utilization of the snap-through effect for obtaining large deflections of cylindrical and paraboloidal shells



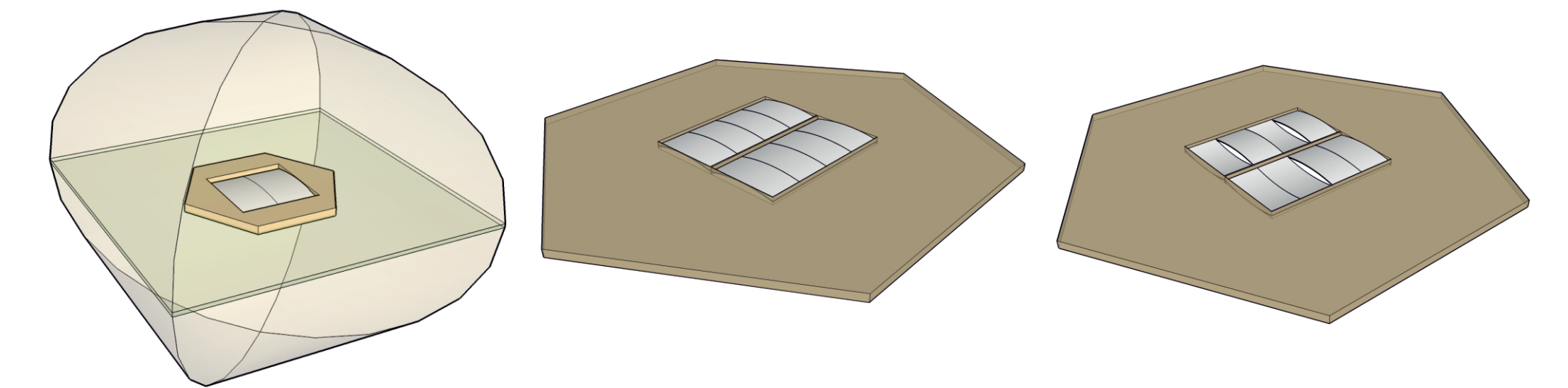
Rys. 7. Stabilne konfiguracje uzyskiwane w wyniku przeskoku elementu powłokowego o kształcie wycinka powłoki walcowej oraz paraboloidy hiperboloidalnej.
Fig. 7. Stable configurations obtained as a result of the snap-through of shell element shaped as part of the cylinder or hyperbolic paraboloid.

2. Koncepcja szybkiego zaworu bistabilnego opartego na zjawisku przeskoku 2. Concept of fast bistable valve based on a snap-through effect



Rys. 7. Prosty zawór bistabilny w początkowym stanie zamkniętym, w stanie otwartym oraz w końcowym stanie zamkniętym.
Fig. 7. Simple bistable valve in initial closed state, in open state and in final closed state.

3. Absorber pneumatyczny wyposażony w szybki i wydajny zawór bistabilny 3. Pneumatic absorber equipped with fast operating and highly efficient bistable valve



Rys. 7. Dwukomorowy absorber pneumatyczny wykorzystujący zawór bistabilny; zawór składający się z matrycy bistabilnych elementów powłokowych.
Fig. 7. Double-chamber pneumatic absorber equipped with bistable valve; the valve composed of a matrix of bistable shell elements.

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Publikacje:

1. Suwała G., Jankowski Ł. A model-free method for identification of mass modifications; Journal of Structural Control & Health Monitoring, 19(2), 2012, 216-230
2. G. Mikulowski, R. Wiszowaty, J. Holnicki-Szulc, Piezoelectric actuation of a pneumatic adaptive shock absorber, Proceedings of 38th Solid Mechanics Conference Solmech 2012, Warsaw, Poland, 27 - 31 August, 2012
3. G. Mikulowski, R. Wiszowaty, An Adaptive Pneumatic Shock-Absorber with a Piezo-valve under Harmonic Loading, Proceedings of 5th European Conference on Structural Control EACS 2012, Genoa, Italy, 18-20 June, 2012
4. G. Mikulowski, M. Ostrowski, J. Holnicki-Szulc, Overview of High Performance Actuator and High Performance Valve Technologies, Proceedings of 13th International Conference on new actuators ACTUATOR 2012, Bremen, Germany, 18-20 June, 2012
5. L. Nowak, T.G. Zieliński, Active Vibroacoustic Control of Beams and Plates with General Boundary Conditions, Proceedings of 38th Solid Mechanics Conference Solmech 2012, Warsaw, Poland, 27 - 31 August, 2012
6. A. Orłowska, J. Biczyc, P. Kolakowski, Using embedded electrical grid for active thermography diagnostics of composite structures, Proceedings of 6th European Workshop on Structural health Monitoring, Dresden, 3-6 July