

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

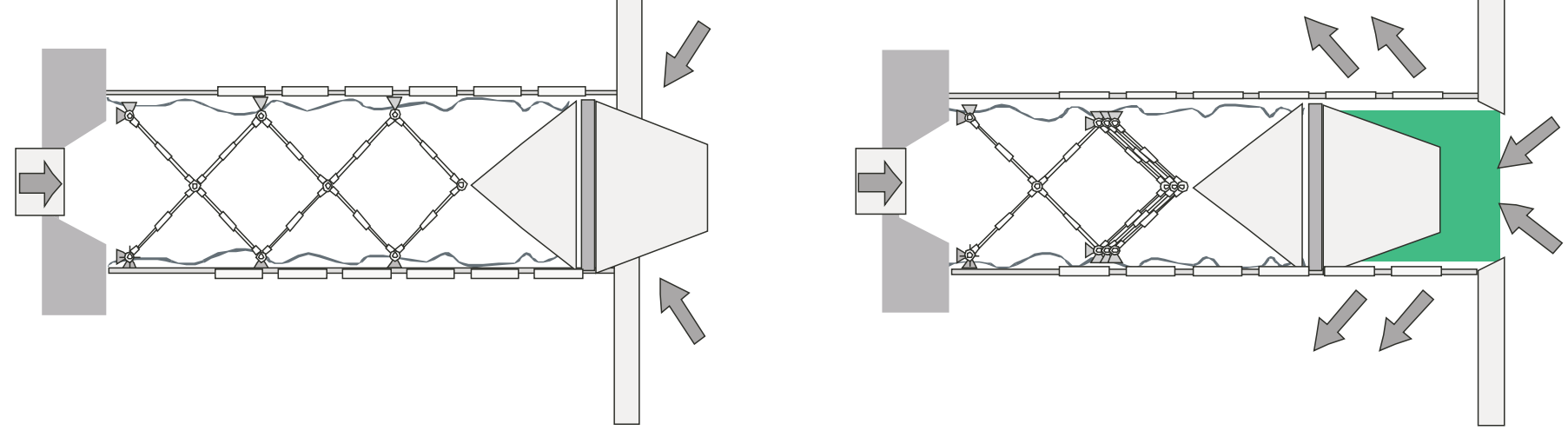
Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Instytut Lotnictwa w Warszawie, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Warszawska

Wyniki badań Results

Modelowanie i sterowanie zaworów opartych na multi-stabilnych układach prętowych i powłokowych

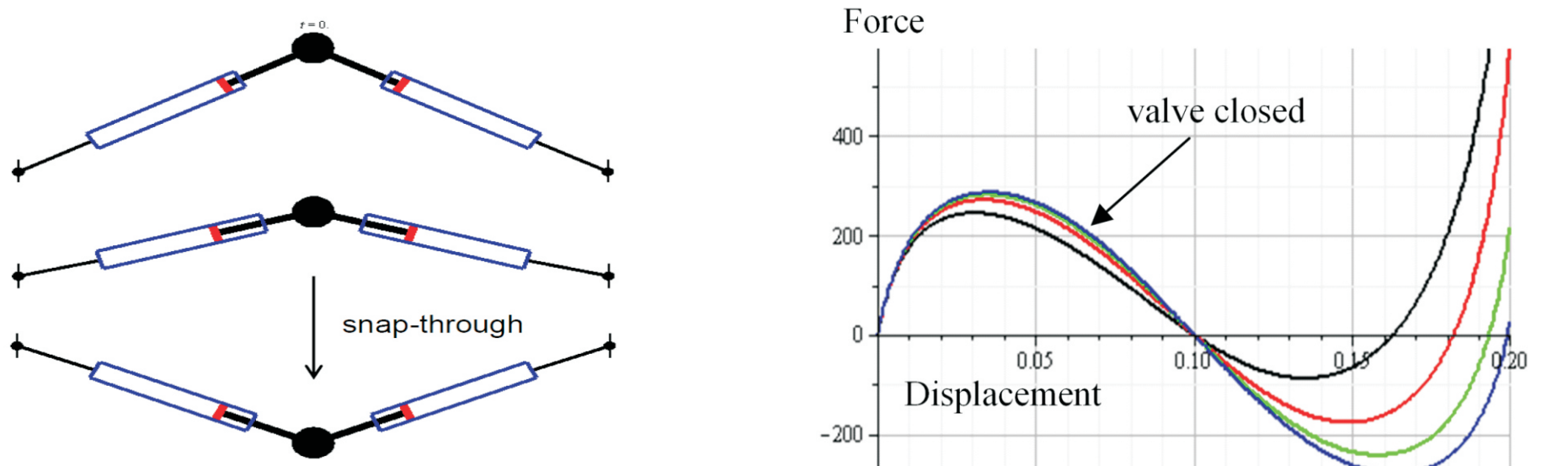
Modelling and control of the valves based on multi-stable skeletal and shell systems

1. Koncepcja zaworu opartego na konstrukcjach multistabilnych typu 'Multifolding Microstructure' (MFM) [1]



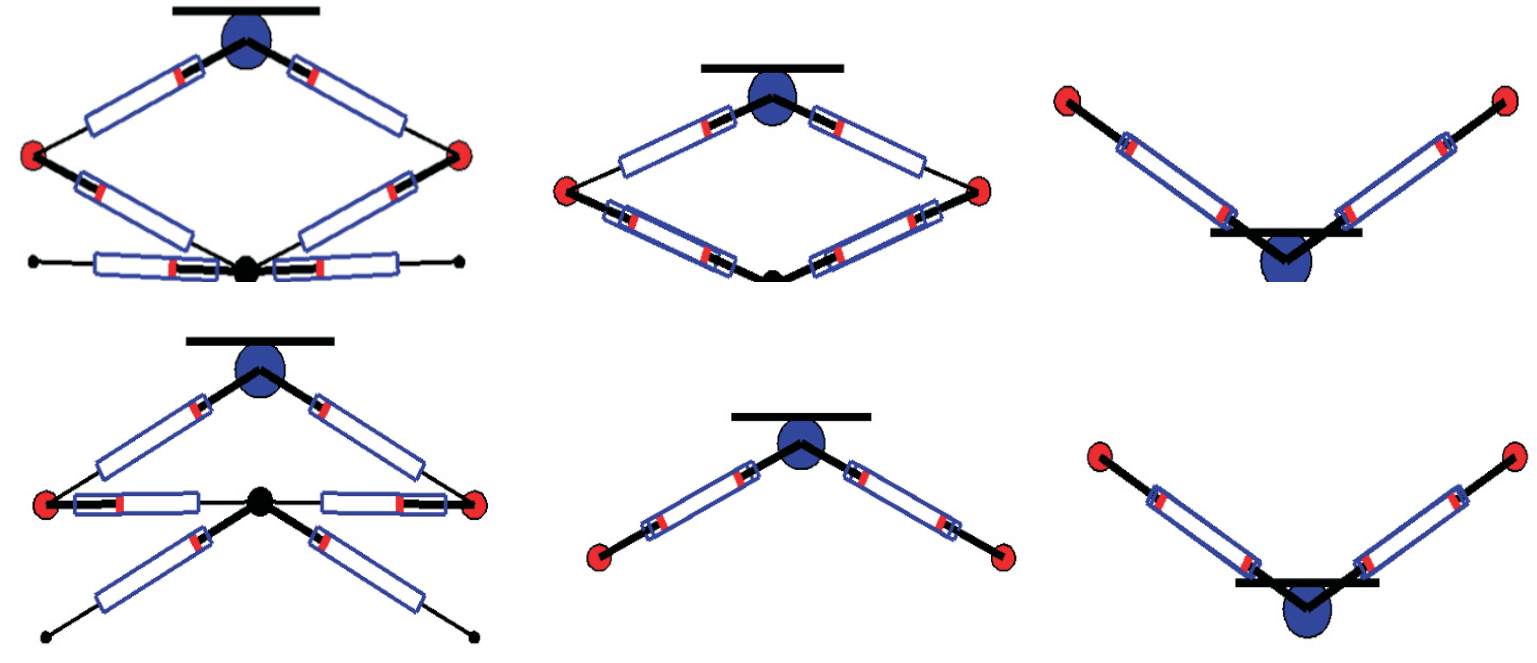
Rys. 1.: a) zawór w stanie zamkniętym, b) otwarcie zaworu przy wykorzystaniu sekwencji przeskoków elementów prętowych wywołanych ciśnieniem gazu
Fig. 1. a) valve in a closed state, b) opening of the valve with the use of sequence of snap-throughs of skeletal elements induced by pressure of gas

2. Wykorzystanie bistabilnego układu zbudowanego z dwóch absorberów pneumatycznych jako podstawowego elementu wykonawczego



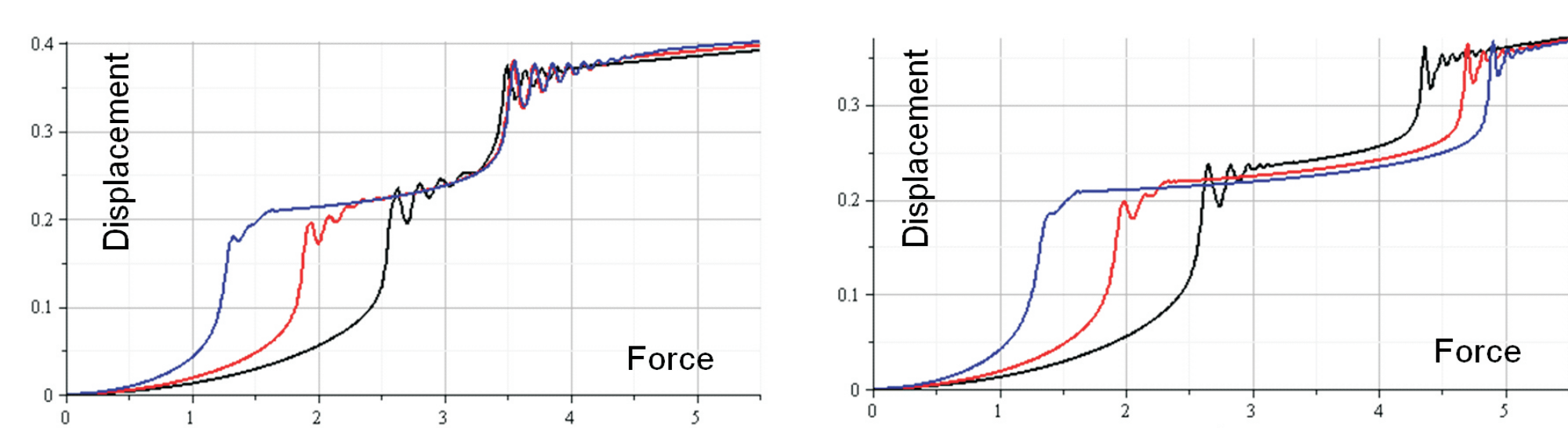
Rys. 2.: a) bistabilny element pneumatyczny wykorzystujący zjawisko przeskoku [2], b) charakterystyka elementu w zależności od otwarcia zaworów w absorberach
Fig. 2. a) bistable pneumatic element utilizing the snap-through effect [2], b) mechanical characteristics of the element in terms of opening of the valves in the absorbers

3. Dwie sekwencje składania trójelementowego układu multi-stabilnego



Rys. 3.: a) mod nisko-energetyczny: przeskok dolnego i górnego elementu; b) mod wysoko-energetyczny: przeskok środkowego elementu, a następnie wszystkich trzech elementów
Fig. 3. a) low-energy folding mode: the snap through of lower and upper element, b) high-energy mode: snap through of central element followed by snap-through of all elements

4. Sterowanie zaworu opartego na konstrukcji MFM poprzez zmianę otwarcia zaworów w poszczególnych absorberach pneumatycznych



Rys. 4. Wpływ otwarcia zaworów w absorberach najbardziej podatnego elementu bistabilnego na: a) wartość siły powodującej pierwszy poziom otwarcia zaworu MFM (mod 1), b) wartości sił powodujących pierwszy i drugi poziom otwarcia zaworu MFM (mod 2)
Fig. 4. The influence of the opening of the valves in the most compliant bistable element on: a) the value of external force causing first stage of MFM valve opening (mode 1), b) the values of forces causing two subsequent stages of MFM

5. Literatura

- [1] P. Pawłowski, Systemy adaptacyjnej absorpcji obciążeń uderowych. Identyfikacja uderu, sterowanie absorberów, dysypacja energii. Praca doktorska, IPPT PAN, 2011.
- [2] C. Graczykowski, Inflatable Structures for Adaptive Impact Absorption. Praca doktorska, IPPT PAN, 2012. otwarcia zaworu MFM (mod 2).

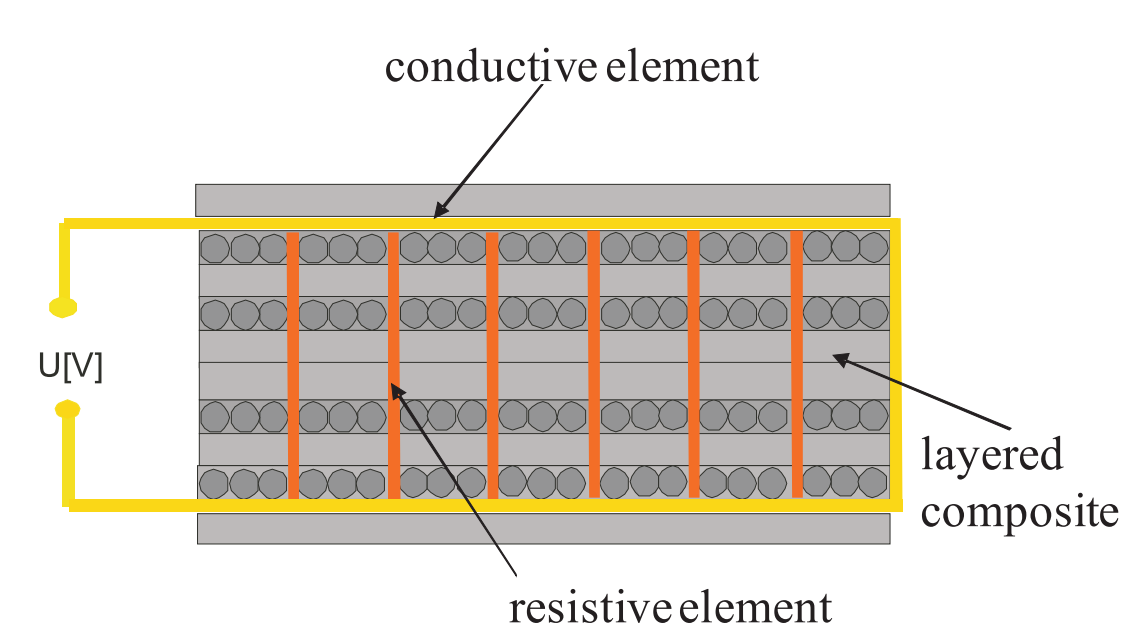
Wyniki badań Results

Opracowanie innowacyjnych systemów SHM

Elaboration of innovative SHM systems

Opis metody:

Podstawę identyfikacji uszkodzenia stanowi obserwacja pola temperatury wygenerowanego na powierzchni badanego elementu wskutek przepływu prądu elektrycznego przez zintegrowaną z tym elementem siatkę 3D.



Rys. 5. Wielowarstwowy kompozyt zawierający zintegrowany układ wymuszenia termicznego.
Fig. 5. Layered composite cross-section with embedded electrical grid.

Description of method:

The failure identification is based on the observation of thermal field on the surface of the examined element, generated by the electric current flowing through the embedded 3D grid.

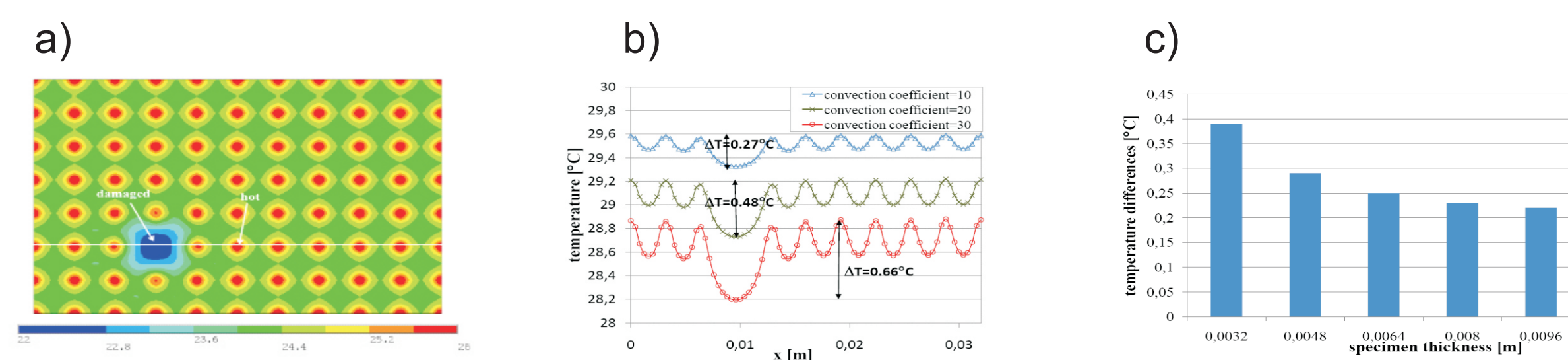
Wstępne badania efektywności metody:

- opracowano model kompozytu warstwowego z wbudowanymi źródłami termicznymi, uwzględniając zagadnienia przewodnictwa cieplnego oraz termosprężystości,
- na podstawie symulacji numerycznych określono wpływ zaburzenia rozkładu liniowych źródeł ciepła w elemencie kompozytowym na rozkład temperatury obserwowany na jego powierzchni dla różnych wartości współczynnika konwekcji oraz grubości elementu.

Preliminary studies of effectiveness of the method:

- the numerical model of the layered composite with embedded electrical grid, reflecting thermal effects and thermo-mechanical interactions was developed
- on the basis of the numerical simulations, influence of the heat sources disorder on the temperature distribution for different values of the convection coefficient and element thickness was examined.

Wyniki badań Results



Rys. 6. Rozkład temperatury na powierzchni próbki kompozytowej zawierającej równomiernie rozłożone źródła termiczne w przypadku uszkodzenia pojedynczego źródła (a), rozkład temperatury wzdłuż prostej przechodzącej przez obszar uszkodzenia w przypadku różnych warunków wymiany ciepła z otoczeniem (b), maksymalne różnice temperatury pomiędzy obszarem nieuszkodzonym i uszkodzonym w zależności od grubości elementu (c).

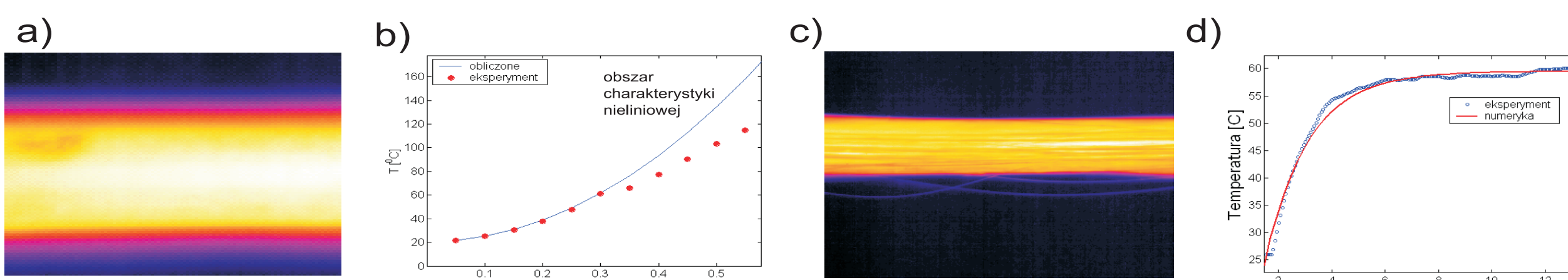
Fig. 6. In-plane temperature distribution for delaminated composite specimen with one conductive element broken (a), in-plane temperature distribution for various convection coefficient (b), temperature differences depending upon composite thickness (c).

Modelowanie i badania eksperymentalne nagrzewania rezystancyjnego włókien węglowych:

- zbudowano model numeryczny nagrzewania rezystancyjnego włókna węglowego i przeprowadzono symulację nagrzewania włókna wskutek wymuszenia skokowego, w warunkach przejmania ciepła określonych przez wartość współczynnika przejmania ciepła, wyznaczoną na podstawie obserwacji nagrzewania wkładu grafitowego,
- model numeryczny został zweryfikowany eksperymentalnie.

Numerical modelling and experimental investigation of the carbon fibre electric heating effect:

- numerical model of the electric heating of the carbon fibre was developed and numerical simulation was done for Heaviside's electric excitation and external conditions described by experimentally measured convection coefficient,
- numerical model was experimentally verified.



Rys. 7. Termogram wkładu grafitowego (a), rezystancyjne nagrzewanie wkładu grafitowego - porównanie wyników pomiarów i obliczeń analitycznych (b), termogram włókna węglowego (c), rezystancyjne nagrzewanie włókna węglowego - porównanie wyników symulacji numerycznej i pomiaru (d).

Fig. 7. Graphite specimen thermogram (a), graphite specimen heating - comparison of measurement and computation results (b), carbon fibre thermogram (c), carbon fibre heating - comparison of numerical simulation results and measured temperature (d).

Wyniki badań Results

- Przeprowadzone symulacje pokazują że obserwacja pola temperatury powstałego wskutek ogrzania kompozytu wbudowanym obwodem elektrycznym może nieść informację o powstałych w materiale uszkodzeniach międzywarstwowych.
- Obserwowane w przypadku wystąpienia uszkodzenia różnice temperatur pomiędzy obszarem nieuszkodzonym i uszkodzonym w dużym stopniu zależą od warunków otoczenia w którym wykonywane jest badanie.
- Carried out numerical simulation shows, that observation of the temperature fields generated by integrated thermal sources, can allow for effective identification of the interlaminar damages in composites.
- Differences of temperature observed between damaged and undamaged regions, strongly depends on the external conditions in which test is performed.

Wyniki badań Results

Przygotowanie stanowiska laboratoryjnego do badań akustycznych

Preparation of the laboratory stand for acoustic measurements

Założenia projektowe

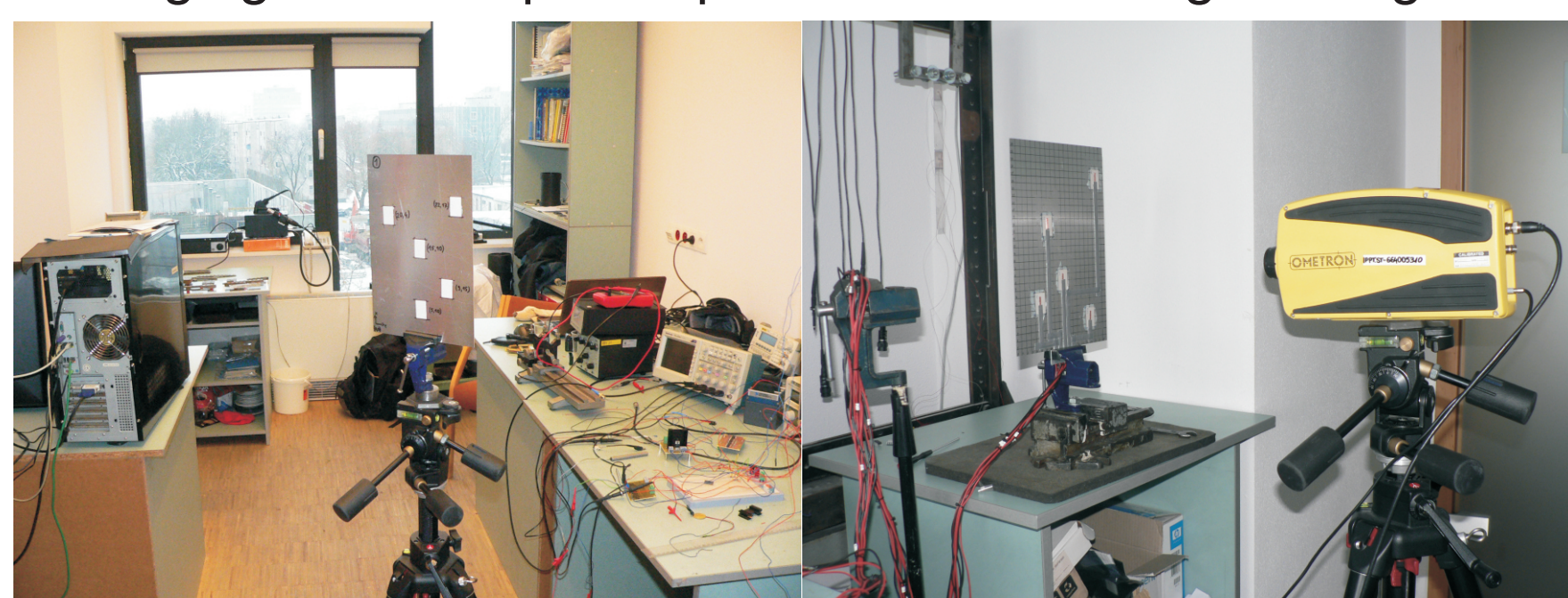
Podstawowym celem badań prowadzonych w ramach projektu w minionym okresie sprawozdawczym było przygotowanie stanowiska laboratoryjnego do badań nad promieniowaniem akustycznym badanych struktur kompozytowych. Przyjęto następujące założenia, które powinny spełniać zaprojektowane i skonstruowane stanowisko:

- Możliwość mocowania struktur płytowych realizując zadane warunki brzegowe w postaci utwierdzenia części brzegu konstrukcji
- Izolacja badanych struktur od niskoczęstotliwościowych drgań propagowanych przez podłogę i inne elementy laboratorium będące w bezpośrednim kontakcie z elementami stanowiska
- Możliwość pomiarów ciśnienia akustycznego w polu dalekim drgającej konstrukcji płytowej
- Możliwość bezpośredniego pomiaru parametrów drgań struktury i ich korelacja z mierzonymi parametrami pola akustycznego
- Możliwość zmiany położenia mikrofonu pomiarowego względem płyty w możliwie szerokim zakresie odległości i kątów mierzonych względem środka badanej konstrukcji

Assumptions

The main aim of the research conducted in the project in the previous reporting period was to prepare the laboratory stand for the experimental investigations on the acoustic radiation of the considered composite structures. Following assumptions considering the stand were made:

- Possibility of fixing the plate structures with arbitrary boundary conditions
- Isolation from the low-frequency signals
- Possibility of far-field acoustic measurements
- Possibility of direct measurements of vibration parameters and correlating them with the measured acoustical parameters
- Possibility of changing the microphone position in wide range of angles and distances



Rys. 8. Wybrane elementy zaprojektowanego i zbudowanego stanowiska laboratoryjnego do badań doświadczalnych nad aktywną redukcją transmisji wibroakustycznej struktur kompozytowych

Fig. 8. The selected elements of the developed and constructed laboratory stand for experimental investigations on the active vibroacoustic control of the composite structures

Stanowisko do badań laboratoryjnych

Zdjęcia wybranych elementów stanowiska przedstawione są na rysunku Rys.1. Zastosowane zostały różne typy mocowania struktur płytowych, maty izolacyjne tłumiące drgania, zaprojektowane i skonstruowane układy elektroniczne dla sterowania i kondycjonowania sygnałów oraz układy pomiaru wibracji i ciśnienia akustycznego.

Laboratory stand

The selected elements of the laboratory stand are presented in Fig.1. Different mountings, vibration-insulating mats, developed and constructed electronic circuits for control and signal conditioning and systems for measuring vibrations and acoustic pressure have been used.

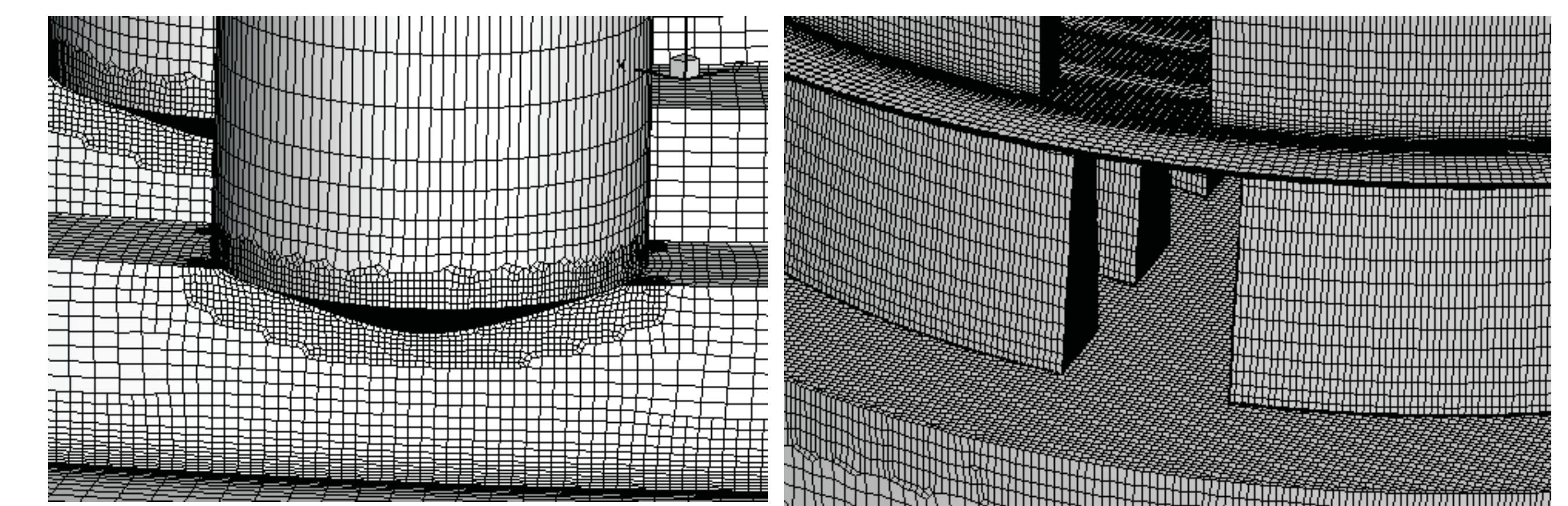
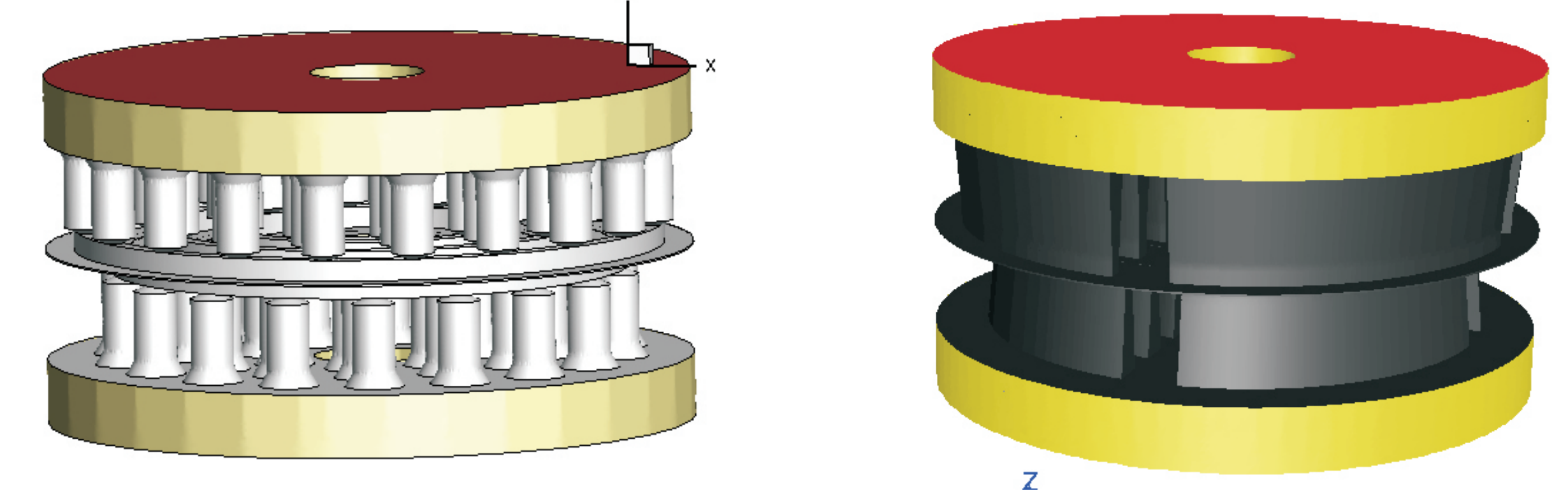
Wyniki badań Results

Numeryczna analiza przepływu w zaworze płytkowym

Zasadniczym celem analizy przepływu w obszarze zaworu była ocena nierównomierności parametrów przepływu w szczelinie między płytkami zaworowymi. Obliczenia wykonano programem Ansys/Fluent14, natomiast siatka obliczeniowa przygotowana w programie Hexpress/Numeca. Na rys. 1 przedstawiono geometrię obszaru obliczeniowego dla zaworu płytkowego przed i po modyfikacji, a także zamieszczono fragment siatki obliczeniowej prezentujący obszar szczeliny i otworów. W pierwszym przypadku zastosowano otwory cylindryczne, natomiast w drugim otworu obwodowe o przekroju prostokątnym. Na rys. 10 i 11 pokazano liczbę Macha w połowie wysokości szczeliny pomiędzy płytkami dla dwóch wartości stosunku ciśnienia $p_2/p_1=0.5$ i 0.12 . Wyniki wskazują na istnienie lokalnie nadźwiękowych prędkości przepływu. Zastosowanie zmodyfikowanej geometrii wpływa na wzrost równomierności przepływu w obszarze rowka obwodowego, co pozytywnie wpływa na charakterystykę zaworu. Rowek obwodowy w tym przypadku nie jest wykonany na całym obwodzie, co może ograniczać wpływ z otworów w płycie po stronie wlotowej do szczeliny. Kontynuacja prac i dalsza modyfikacja geometrii może dodatkowo wpłynąć na poprawę charakterystyki zaworu i zwiększenie realizowanego masowego natężenia przepływu.

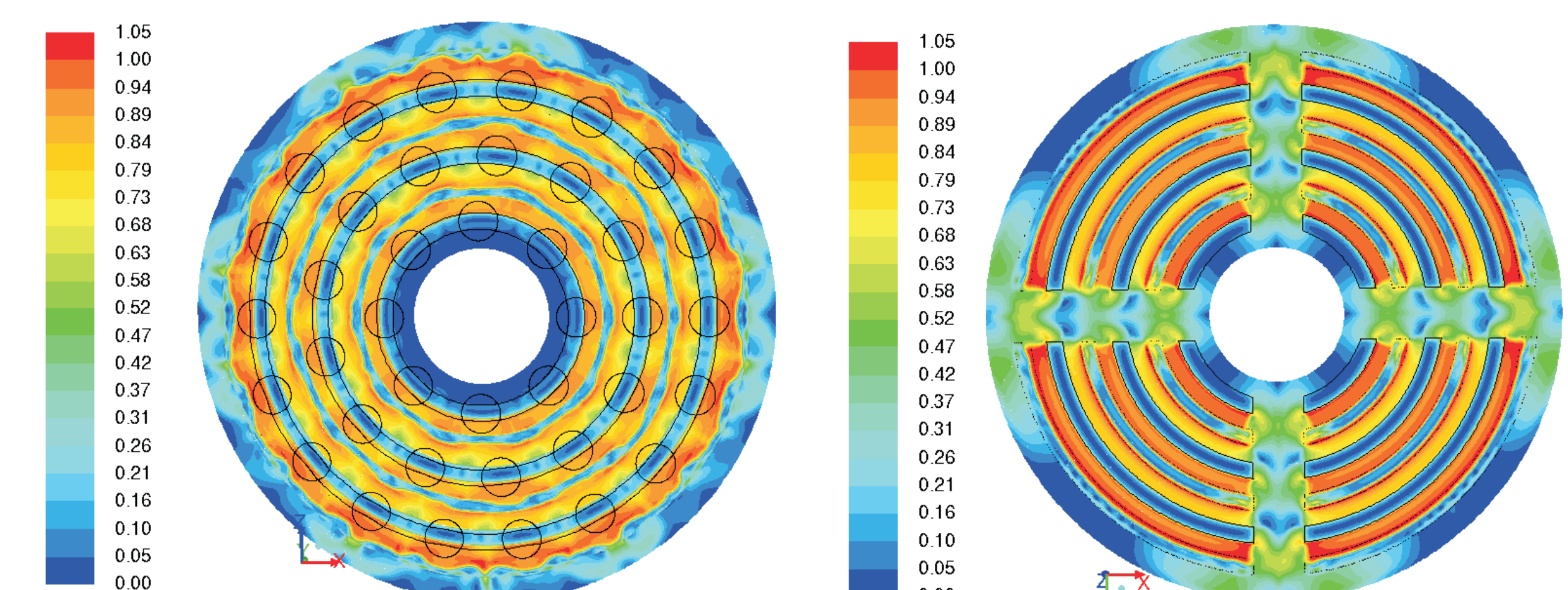
Numerical analysis of flow in valve

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 before and after modification and the mesh details close to the gap between plates and holes are shown in Fig. 1. In case of the first configuration, the cylindrical holes are applied. In the second configuration, the circumferential holes with rectangular cross section are proposed. Mach number at midplane in the gap between plates is presented in Fig.10 & 11. Results for pressure ratio (p_2/p_1 - inlet/outlet) 0.5 and 0.12 are shown. In both cases flow is locally transonic. In case of modified geometry, higher uniformity of flow distribution is shown in circumferential grooves are, at the gap inlet. It influences on increased mass flow rate and improvement of valve performance. However, the grooves are not done on the whole circumference in this case, so the inflow to the gap between plates is limited. Further modifications of geometry will be investigated in order to obtain further increase of mass flow rate



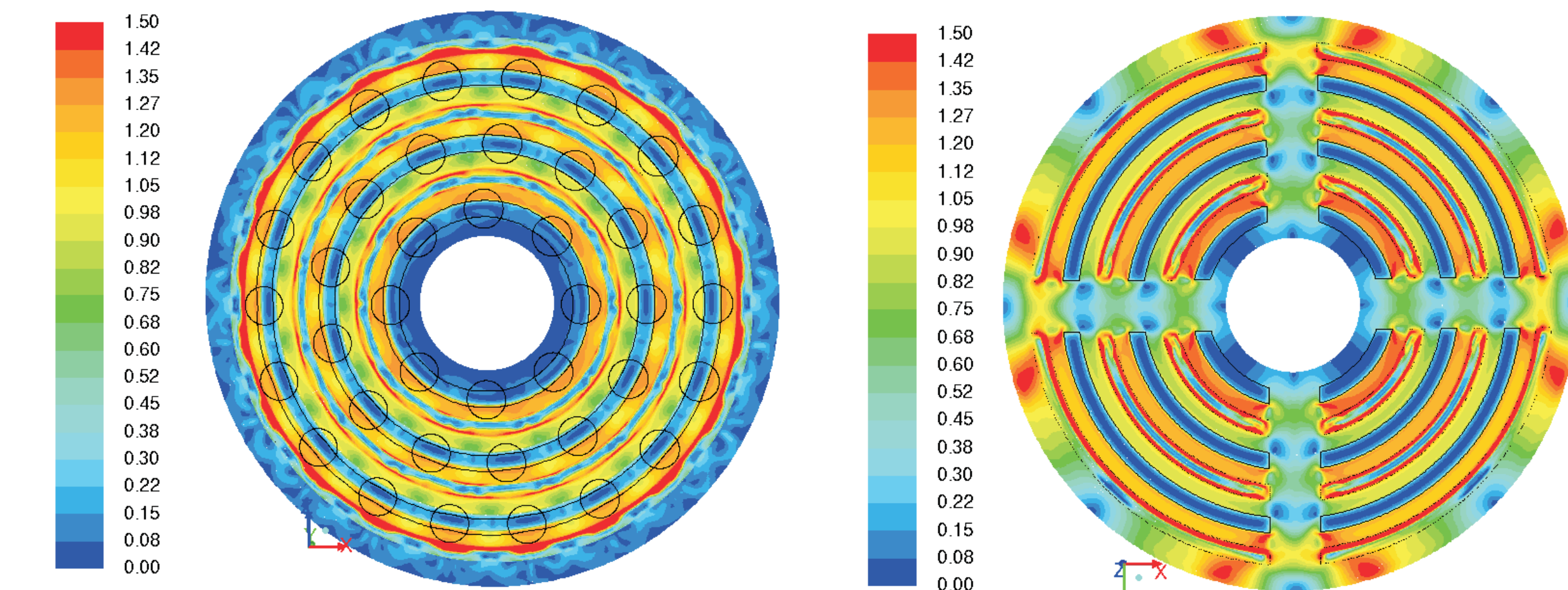
Rys. 9. Widok obszaru obliczeniowego oraz siatki obliczeniowej zaworu przed i po modyfikacji

Fig. 9. View of computational domain and mesh of valve before and after modification



Rys. 10. Liczba Macha w szczelinie dla $p_2/p_1 = 0.5$ (przed modyfikacją - po lewej, po modyfikacji - po prawej)

Fig. 10. Mach number in the gap for $p_2/p_1 = 0.5$ (before modification - left, after modification - right)



Rys. 11. Liczba Macha w szczelinie dla $p_2/p_1 = 0.12$ (przed modyfikacją - po lewej, po modyfikacji - po prawej)

Fig. 11. Mach number in the gap for $p_2/p_1 = 0.12$ (before modification - left, after modification - right)

Wskaźniki realizacji celów projektu

Indicators of the project

Referaty

- P. Flaszynski, P. Doerffer, G. Mikułowski, J. Holnicki-Szulc, *Numerical Simulations for Transonic Flow in Control Valve*, Proc. of 11th International Symposium on Experimental and Computational Aerothermodynamics of Internal Flows, May 6-11, 2013, Shenzhen, China
- J. Holnicki-Szulc, L. Jankowski, *VDM in inverse problems of safety engineering*, ECCOMAS Thematic Conference: Int'l Symposium on Inverse Problems in Mechanics of Structures and Materials (IPM 2013), 24-27 April 2013, Rzeszów-Baranów Sandomierski, Poland, pp. 21-22.
- G. Suwała, L. Jankowski, *Model-free monitoring of structures*, ECCOMAS Thematic Conference: Int'l Symposium on Inverse Problems in Mechanics of Structures and Materials (IPM 2013), 24-27 April 2013, Rzeszów-Baranów Sandomierski, Poland, pp. 61-62.

Publikacje

- J. Hou, L. Jankowski, J. Ou, *Structural damage identification by adding virtual masses*, Structural and Multidisciplinary Optimization, 2013, in press, 12 pages. doi:10.1007/s00158-012-0879-0
- G. Mikułowski, R. Wiszowaty, J. Holnicki-Szulc, *Characterization of a piezoelectric valve for an adaptive pneumatic shock absorber*, Smart Materials and Structures, 2013, accepted, 21 pages.