

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Materiały inteligentne oraz bazy na nich systemy zespolone do zastosowania w lotnictwie

Smart Materials & smart embedded systems in aerospace applications

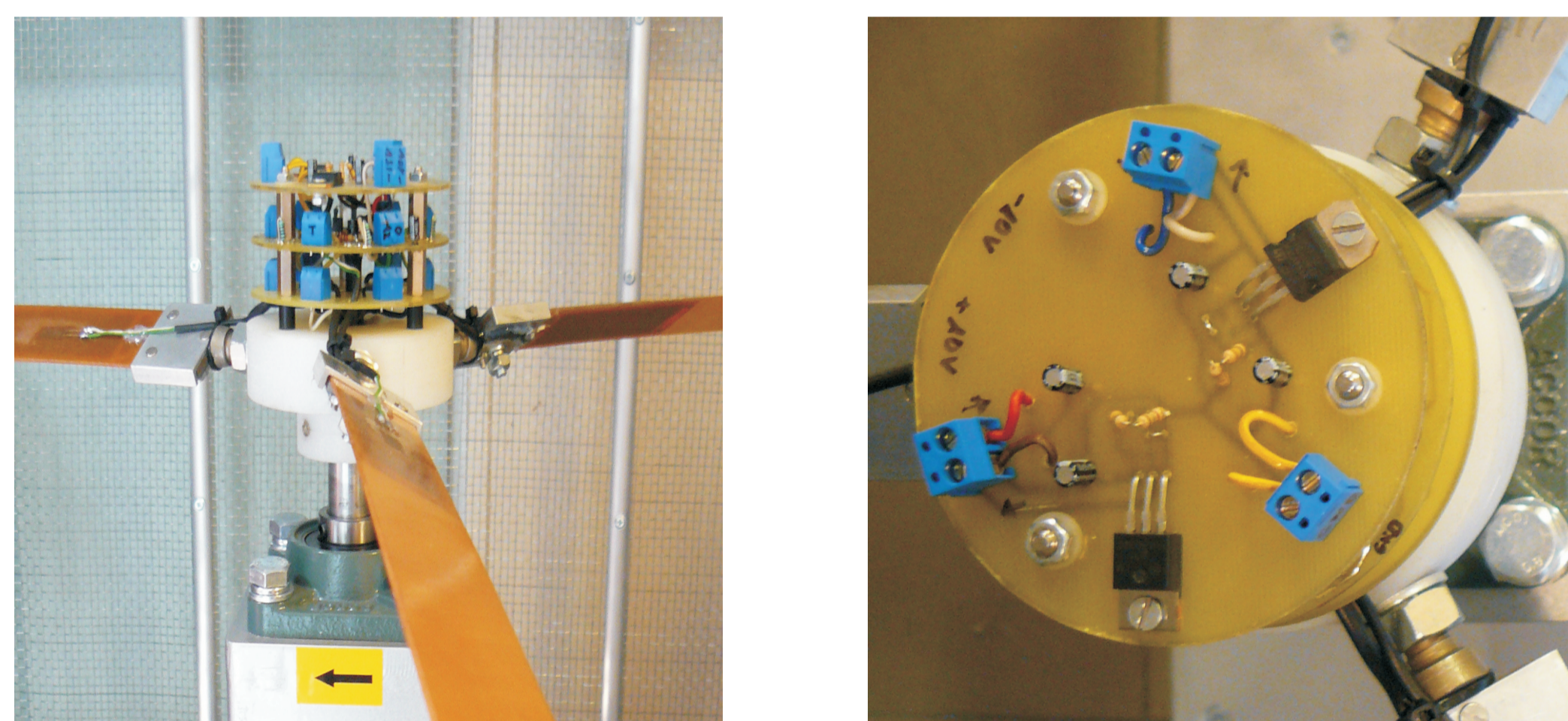
Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Instytut Lotnictwa w Warszawie, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Warszawska

Wyniki badań Results

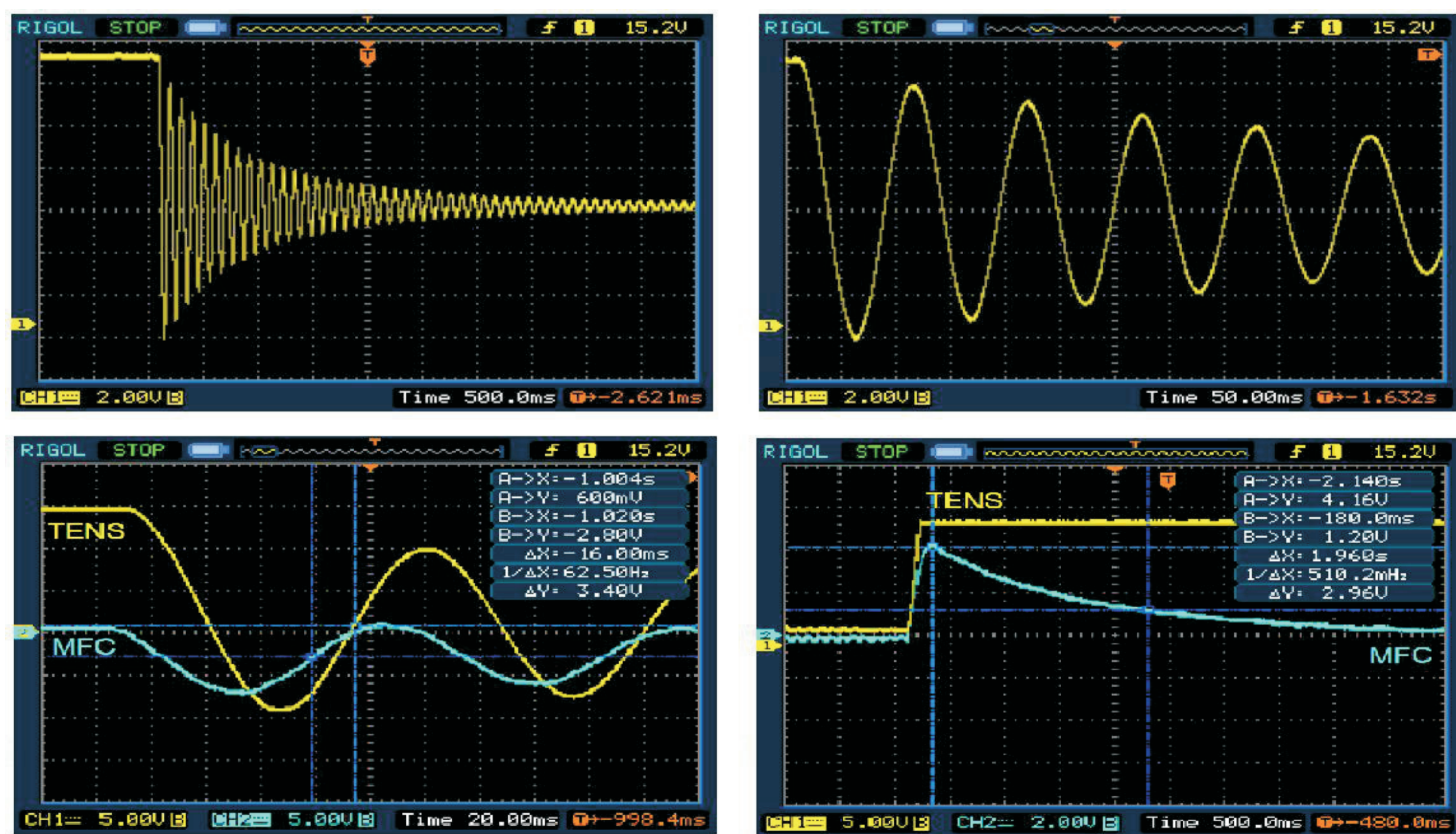
1. Model eksperymentalny wirnika śmigłowca wraz ze sterowaniem Experimental model of helicopter rotor with control

W ramach badań eksperymentalnych modelu wirnika śmigłowca dokonano modernizacji głowicy wirnika wyposażając ją w mostki tensometryczne. Zasilanie mostków, jak również wzmożony sygnał z tensometrów przesyłane są za pośrednictwem pierścieni ślizgowych współpracujących ze szczotkami węglowymi. Badania wykazały, że w wyniku działania pierścieni sygnały z tensometrów obciążone są szumem, mogącym mieć istotny wpływ na działanie niektórych algorytmów sterowania. Zdecydowano się zatem na dostosowanie układu do transmisji cyfrowej, opartej na protokole transmisji danych CAN 2.0. Wśród zalet takiego rozwiązania można wyszczególnić:

- możliwość przesyłu sygnału z dużej liczby czujników pomiarowych z wykorzystaniem dwuprzewodowej linii transmisyjnej,
 - transmisja dwukierunkowa umożliwiająca zdalną kalibrację i sterowanie,
 - duża niezawodność transmisji (sprzętowa obsługa protokołu i kontroli błędów),
 - brak szumów związanych z przesyłem sygnałów pomiarowych z wirnika (przetwornik A/C umieszczony jest bezpośrednio na głowicy).
- Prowadzone są prace weryfikacyjno-eksperymentalne mające wykazać, która z metod przesyłu danych (analogowa czy cyfrowa) będzie pozwalała osiągnąć lepsze rezultaty dla testowanych algorytmów sterowania.
- Niezależnie od powyższych prac rozwojowych przeprowadzono badania wytrzymałościowe belek kompozytowych, które będą wykorzystane w badaniach symulacyjnych wirnika. Wyznaczono ich podstawowe charakterystyki dynamiczne, tj. częstotliwości tłumienia i współczynniki tłumienia. Dodatkowo zbadano wpływ kąta pochylenia belek względem głowicy na charakterystykę amplitudowo – częstotliwościową modelu wirnika.



Rys. 1. Głowica modelu wirnika, widok ogólny i zbliżenie
Fig. 1. Rotor model's hub, general view and zooming



Rys. 2. Przebiegi czasowe – charakterystyka dynamiczna łopaty
Fig. 2. Time series – blade's dynamical properties

2. Aktywne sterowanie drganiami nieliniowymi układów belkowych Active Vibration Control of Nonlinear Beam

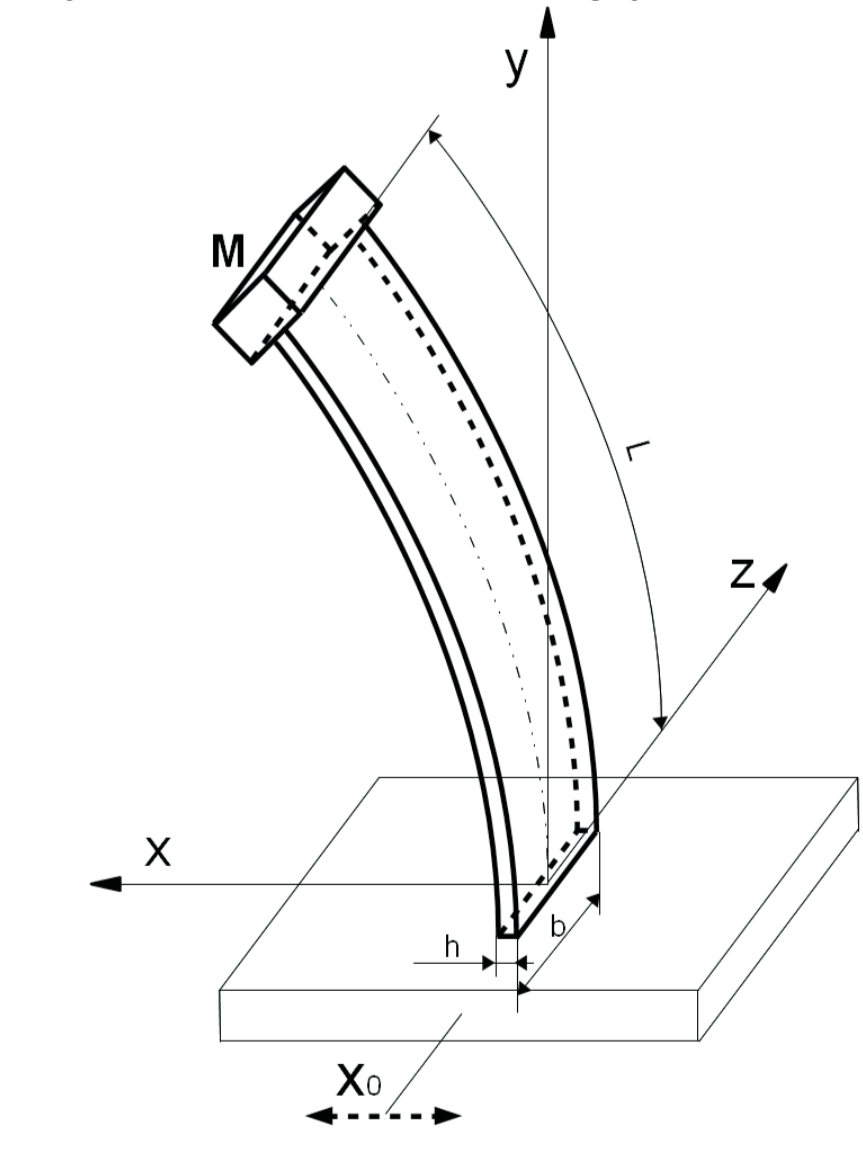
Przeprowadzono badania numeryczne drgań nieliniowych układów belkowych (rys.3) z zastosowaniem sterownika nasyceniowego (Nonlinear Saturation Control). Obliczenia wykonano dla modelu opisanego w postaci następującego równania różniczkowego ruchu:

$$\ddot{x}_1 + (-\alpha_1 \dot{x}_1 + \beta_1 x_1) + \omega_{n1}^2 x_1 + \gamma_1 x_1^3 + \delta(x_1 \dot{x}_1^2 + \dot{x}_1^2 x_1) = x_0 \mu \Omega^2 \sin(\Omega t) + U$$

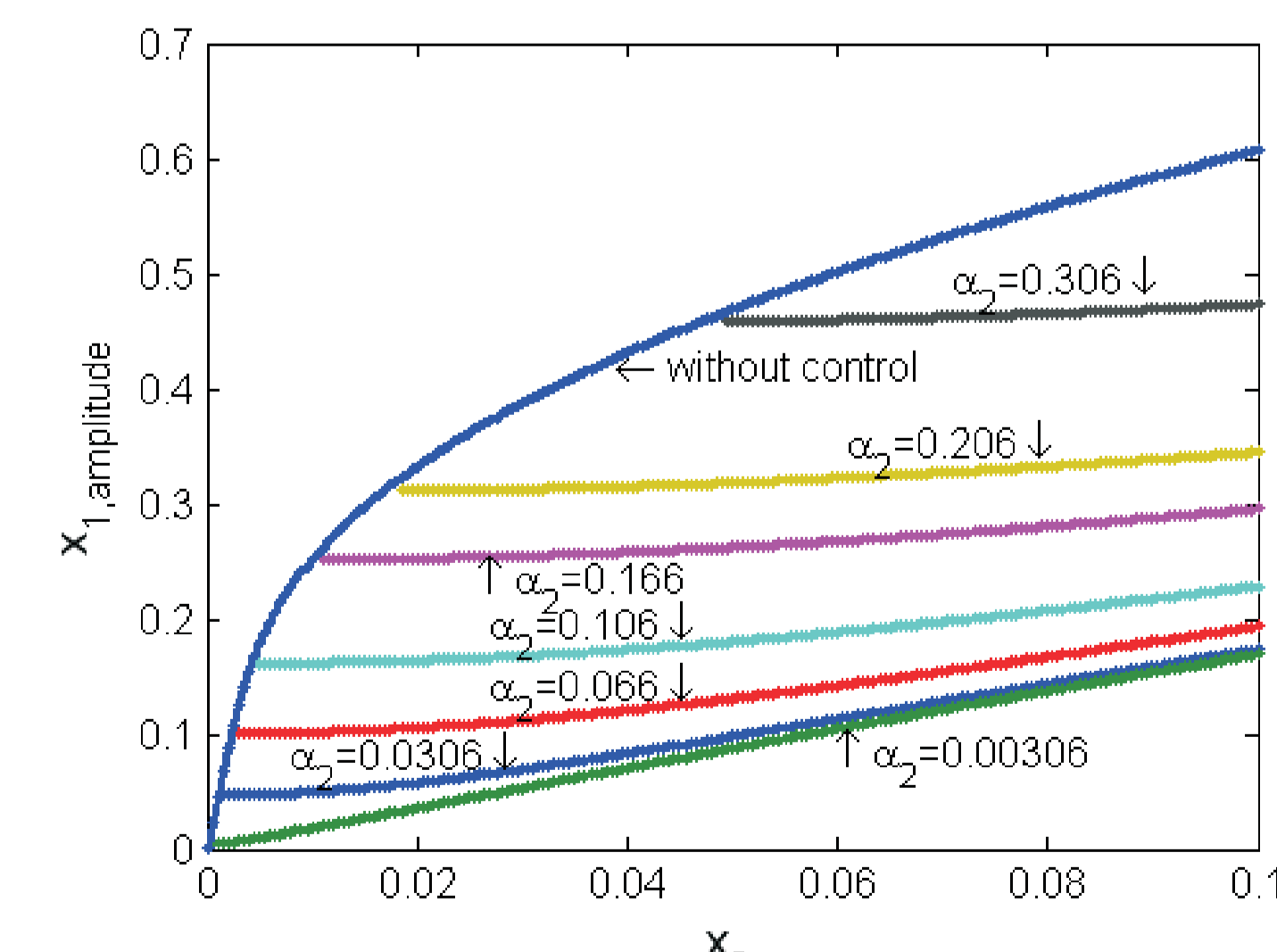
Siła generowana przez element wykonawczy MFC (Macro Fiber Composites) $U = g_1 x_2^2$ jest liczona z zastosowaniem równania różniczkowego:

$$\ddot{x}_2 + \alpha_2 \dot{x}_2 + \omega_{n2}^2 x_2 = g_2 x_1 x_2$$

Wykonano badania mające na celu określenie wpływu nieliniowości belki na zjawisko nasycenia (Rys. 4)



Rys.3. Model belki z wymuszeniem zewnętrznym
Fig. 3. Model of the beam with external excitation



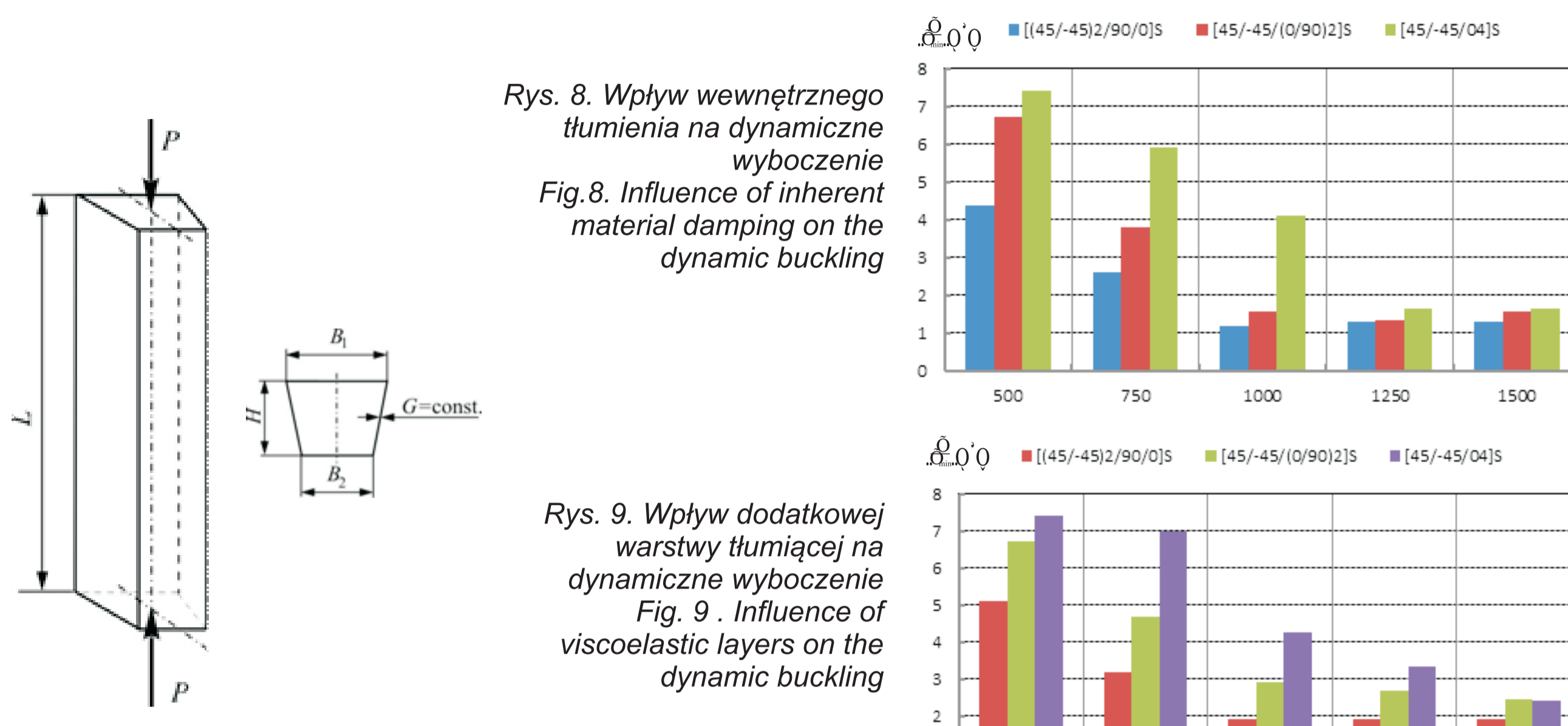
Rys.4. Charakterystyki numeryczne amplitud drgań belki przy zmianie współczynnika tłumienia sterownika NSC
Fig. 4. Numerical characteristics of beam vibrations with different controller's damping

3. Wpływ tłumienia na dynamiczne wyboczenie kompozytowych słupów poddanych impulsowemu ścisnaniu Influence of damping on the dynamic buckling of composite columns under impact compression

W celu sprawdzenia wpływu tłumienia na wartość dynamicznych obciążeń krytycznych w przypadku impulsowego ścisnienia słupów kompozytowych rozpatrzono dwa przypadki:

- układ z małym tłumieniem realizowanym w postaci tłumienia wewnętrznego materiału;
- układ z silnym tłumieniem realizowanym poprzez dodanie warstwy tłumiącej.

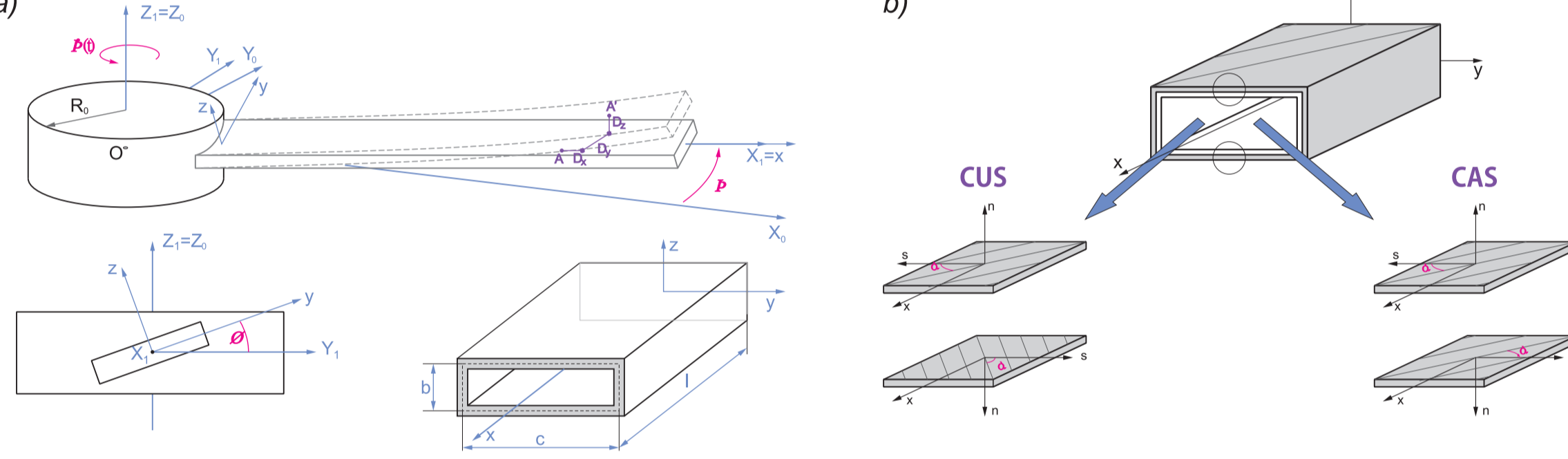
Rozpatrzono słupy o różnych długościach i układach warstw kompozytu. Wartości obciążeń krytycznych wyznaczono zgodnie z kryterium Budianskiego-Hutchinsona. Do rozwiązania interakcyjnego wyboczenia cienkościennych słupów zastosowano metodę analityczno-numeryczną bazującą na asymptotycznej metodzie Koitera. W analizowanym słupie o przekroju trapezowym (rys. 1) z jedną osią symetrii badano interakcję postaci globalnej i najniższej lokalnej.



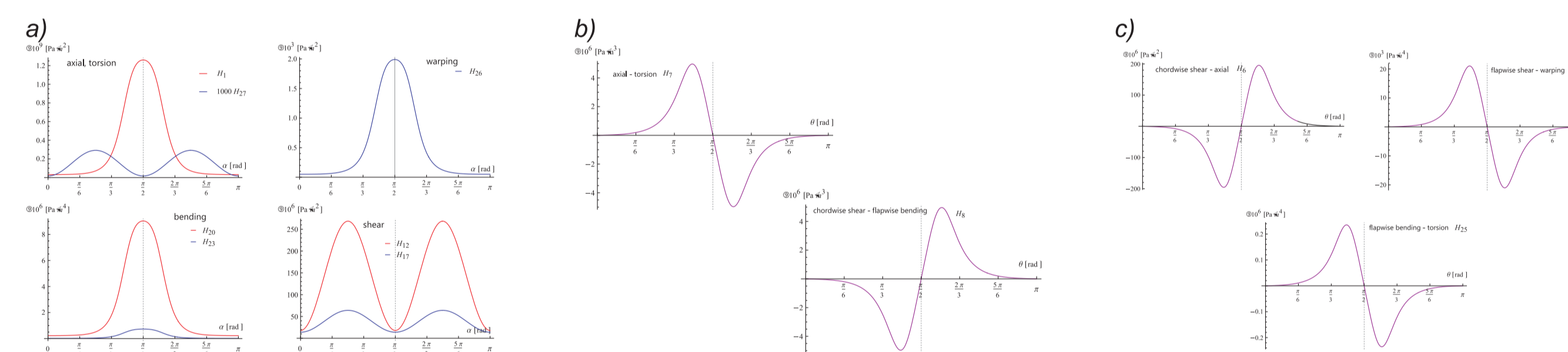
Rys. 7. Słup o przekroju trapezowym i jego wymiary.
Fig. 7. Column of trapezium cross-section under compression and its dimensions

4. Analiza sprzężeń postaci drgań własnych wirujących cienkościennych belek kompozytowych o profilu zamkniętym Analysis of natural vibrations mode couplings of a thin-walled single-cell composite rotating beam

Wyprowadzono równania różniczkowe ruchu wirującej cienkościennych belek kompozytowych. Uzyskane postacie równań wskazują na występowanie wzajemnych sprzężeń pomiędzy poszczególnymi postaciami drgań własnych. Przeprowadzona wstępna analiza wykazała, że charakter i stopień potencjalnych sprzężeń jest uzależniony zarówno od typu wykorzystanego laminatu, jak również strukturalnej konfiguracji profilu badanej belki. Przeprowadzono badania mające na celu ocenę sprzężeń drgań własnych w zależności od kąta ułożenia włókien wzmacniających w materiale kompozytowym, jak również w zależności od sposobu wzajemnego rozmieszczenia materiału kompozytowego (symetria, asymetria) na poszczególnych ściankach profilu zamkniętego przekroju poprzecznego. Do badań wytypowano powszechnie spotykane w lotnictwie konfiguracje CUS i CAS oraz laminat symetryczny i antysymetryczny (tzw. angle-ply).



Rys. 10. a) Model badanej wirującej belki cienkościennych; b) rozważane konfiguracje wzajemnego ułożenia laminatu wielowarstwowego na poszczególnych ściankach profilu
Fig. 10. a) Model of a thin-walled rotating beam under consideration; b) CUS and CAS laminate structural configurations in box-beam profile walls



Rys. 11. Przykładowe przebiegi współczynników sztywności odpowiedzialnych za postać drgań własnych w zależności od kąta ułożenia włókien wzmacniających a laminacie: a) współczynniki odpowiedzialne za postać niesprzężonych, b) współczynniki sprzężeń postaci drgań własnych w konfiguracji CUS, c) współczynniki sprzężeń postaci drgań własnych w konfiguracji CAS
Fig. 11. Exemplary stiffness coefficients relevant to natural vibrations mode shapes with respect to ply orientation angle in laminates: a) coefficients corresponding to uncoupled modes, b) coefficients corresponding to coupled motions observed in CUS configuration, c) coefficients corresponding to coupled motions observed in CAS configuration

Wyniki Results

- Ad.1. Wstępne wyniki testów stanowiskowych wskazują, że zaproponowany sposób transmisji sygnału pomiędzy wirnikiem a kontrolerem zgodnie z protokołem CAN 2.0, pozwala na eliminację szumów zakłócających pracę kontrolera. Ostateczne potwierdzenie zasadności stosowania tego rozwiązania wymaga dalszych badań weryfikacyjnych.
- Ad. 2. Badania numeryczne nieliniowego modelu belki z zastosowaniem sterownika NSC wykazały, że w rozpatrywanym przypadku nie występuje klasyczny efekt „nasycenia”, kiedy amplituda drgań nie zależy od amplitudy wymuszenia. Poziome części krzywych charakterystyczne dla efektu nasycenia w nieliniowym modelu belki (rys.2) uległy modyfikacji. W przyszłych badaniach planowane jest określenie trendu wspomnianej modyfikacji efektu nasycenia.
- Ad. 3. Szczegółowe porównanie otrzymanych wyników wskazuje, że zarówno tłumienie wewnętrzne jak i tłumienie wywołane dodatkową warstwą tłumiącą ma mały wpływ na wyznaczone wartości dynamicznych obciążeń krytycznych dla słupów długich, dla których wyboczenie globalne ma dominujące znaczenie. W tym przypadku wzrost dynamicznych obciążeń krytycznych wynosił poniżej 5% w stosunku do układu bez tłumienia. W przypadku słupów krótkich, gdzie dominuje wyboczenie lokalne tłumienie ma istotny wpływ na wyboczenie dynamiczne analizowanych elementów konstrukcji, dodatkowo pogłębia się w zależności od rozpatrywanego układu warstw.
- Ad. 4. W wyniku przeprowadzonych rozważań analitycznych oraz symulacji metodą elementów skończonych wykazano, że konfiguracja typu CUS profilu belki prowadzi do wzajemnego sprzężenia postaci drgań wzdłużnych oraz skrętnych. Ponadto obserwuje się sprzężenie drgań giętych w płaszczyźnie mniejszej sztywności z efektem ścinania w kierunku większej sztywności profilu. W przypadku konfiguracji CAS obserwuje się sprzężenie postaci drgań skrętnych i drgań giętych w płaszczyźnie mniejszej sztywności belki oraz sprzężenie drgań wzdłużnych ze ściankami w kierunku równoległym do płaszczyzny ruchu wirowego belki. W każdym z powyższych przypadków zbadano wpływ kąta ułożenia włókien wzmacniających laminaty na wartość współczynników sprzężenia.

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Referaty

1. Samborski S., Teter A., Warmiński J.: *Numerical simulation of delaminated VSCL beams*. 17th International Conference on Composite Structures (ICCS/17), University of Porto, Porto, Portugal, 17-21 June 2013.
2. Latański J., Georgiades F., Warmiński J.: *Analysis of coupled vibrations of a nonlinear composite rotating beam*. Euromech Colloquium 541 - New Advances in the Nonlinear Dynamics and Control of Composites for Smart Engineering Design, Senigallia, Ancona, Italy – 3-6 June 2013
3. Mitura A., Warmiński J.: *Active Positive Position Feedback Control for Composite Flexible Structures*. Euromech Colloquium 541 - New Advances in the Nonlinear Dynamics and Control of Composites for Smart Engineering Design, Senigallia, Ancona, Italy – 3-6 June 2013
4. Warmiński J., Mitura A., Bochenński M.: *A nonlinear saturation controller for a self-excited composite beam driven by harmonic force*. Euromech Colloquium 541 - New Advances in the Nonlinear Dynamics and Control of Composites for Smart Engineering Design, Senigallia, Ancona, Italy – 3-6 June 2013

Publikacje

1. Kołakowski Z., Teter A.: *Influence of inherent material damping on the dynamic buckling of composite columns with open cross-sections*. Mechanics and Mechanical Engineering, 17(1):31-41;2013.
 2. Warmiński J., Cartmell M.P., Mitura A., Bochenński M.: *Active Vibration Control of a Nonlinear Beam with Self- and External Excitations*. Shock and Vibration - accepted, waiting for print-out
- Praca doktorska
1. Bochenński Marcin: *Drgania nieliniowe oraz sterowanie autoparametrycznego układu belkowego*. Promotor prof. dr hab. inż. Jerzy Warmiński.
- Praca magisterska
1. Bochenński Marcin: *Praca aktuatorów piezoelektrycznych z równoczesnym pomiarem odkształceń mechanicznych*. Promotor dr hab. inż. Wojciech Jarzyna.

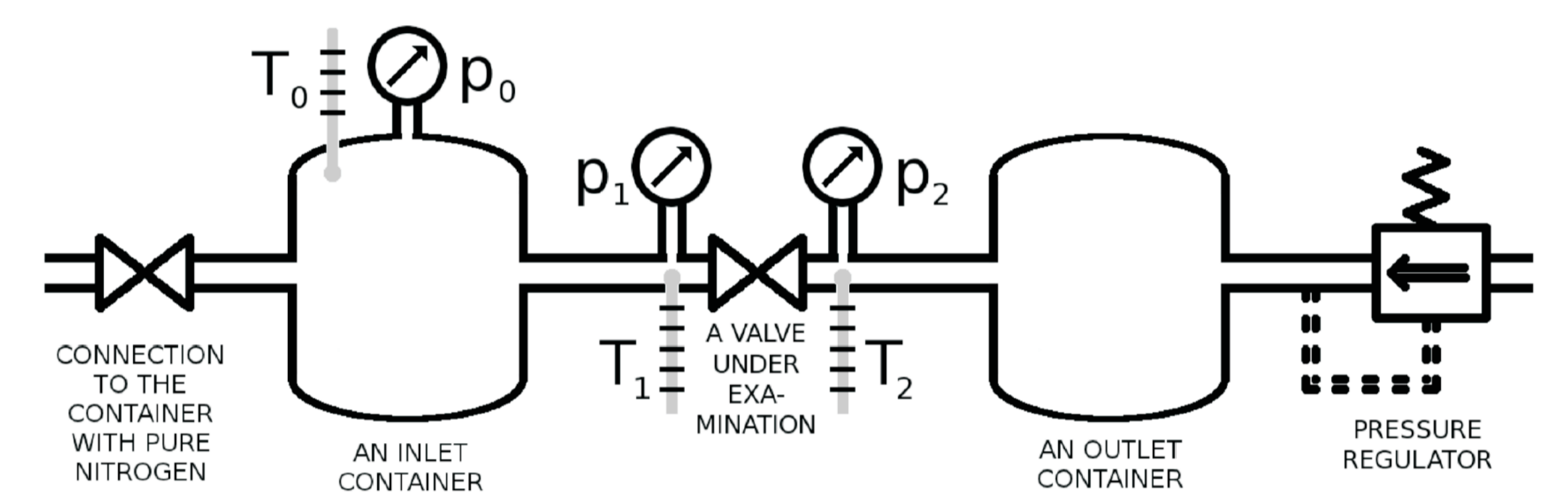
Wyniki badań Results

Wyniki pomiarów eksperymentalnych charakterystyk zaworu piezoelektrycznego po optymalizacji kształtu geometrycznego kanałów przepływowych

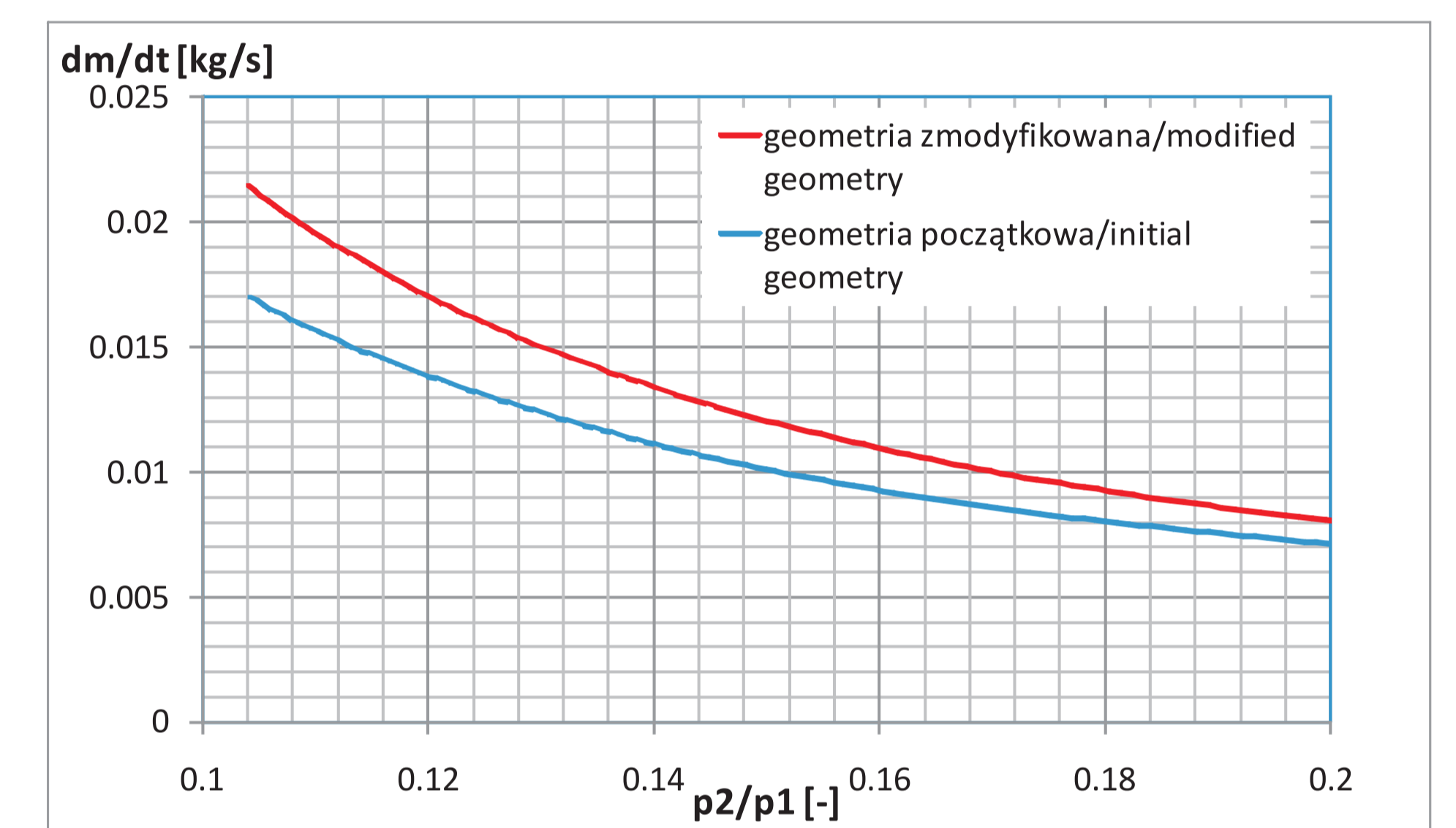
Na podstawie wyników z przeprowadzonej analizy numerycznej przepływu w obszarze zaworu piezoelektrycznego, zaprojektowano i wykonano eksperymentalny zestaw płytek zaworowych o zmodyfikowanej geometrii kanałów przepływowych. Zawór scharakteryzowano eksperymentalnie na stanowisku przedstawionym na Rys. 1.

Experimental results on characterisation of the piezoelectric valve after optimisation of the geometrical shape of the flow ducts

On the basis of the results from the conducted numerical analysis of flow parameters in the valve, the modified set of valve plates was engineered and fabricated. The valve with optimised flow ducts was characterised experimentally on the stand depicted in Fig. 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego służącego do pomiarów charakterystyki zaworów pneumatycznych
Fig. 1. Scheme of the experimental stand designed for acquisition of flow characteristics of pneumatic valves



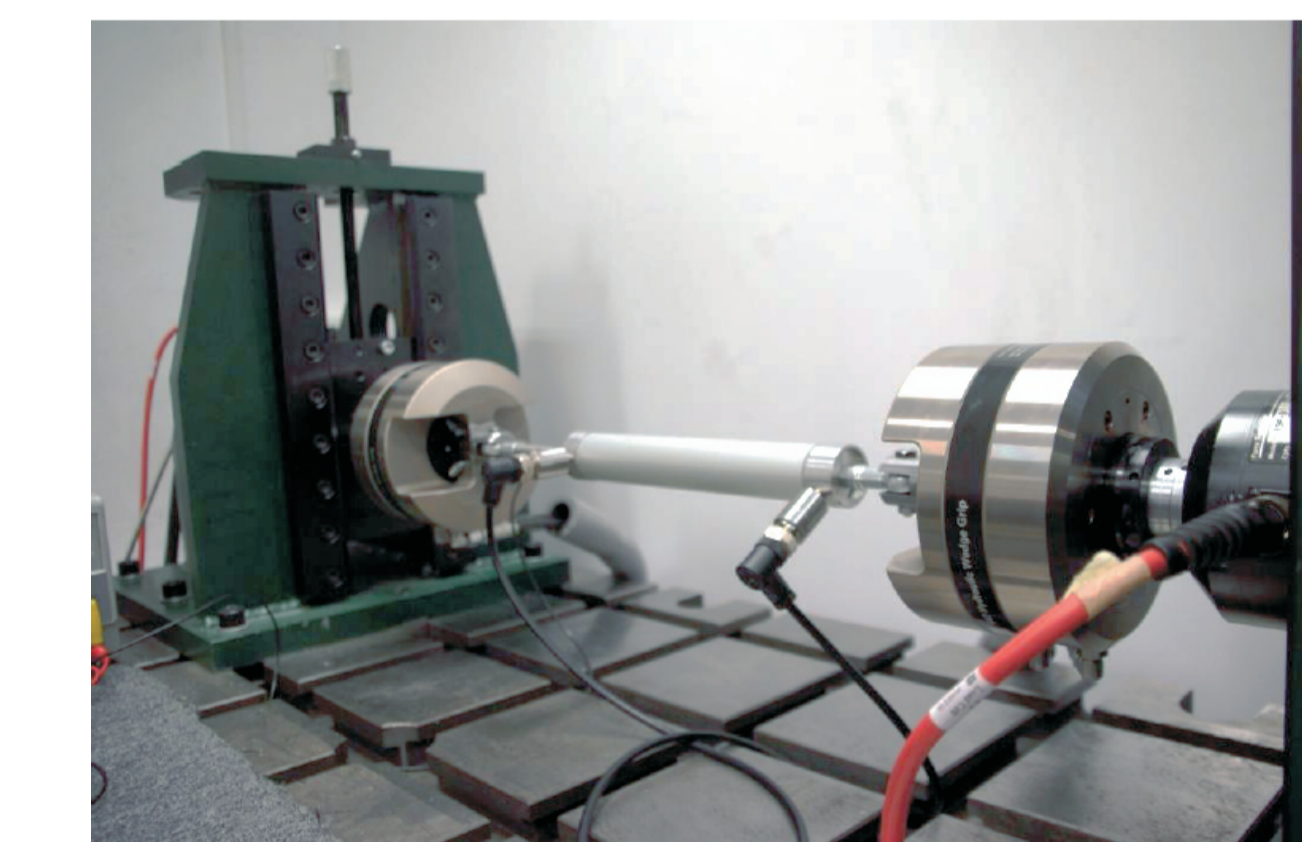
Rys. 2. Charakterystyki zaworu płytkowego przed i po modyfikacji
Fig. 2. Characteristics of the valve before and after modification

Wprowadzone modyfikacje kształtu geometrycznego kanałów w zaworze wpłynęły na 25% wzrost wartości masowego natężenia przepływu dla zakresu $p_2/p_1 = 0.1 - 0.15$.

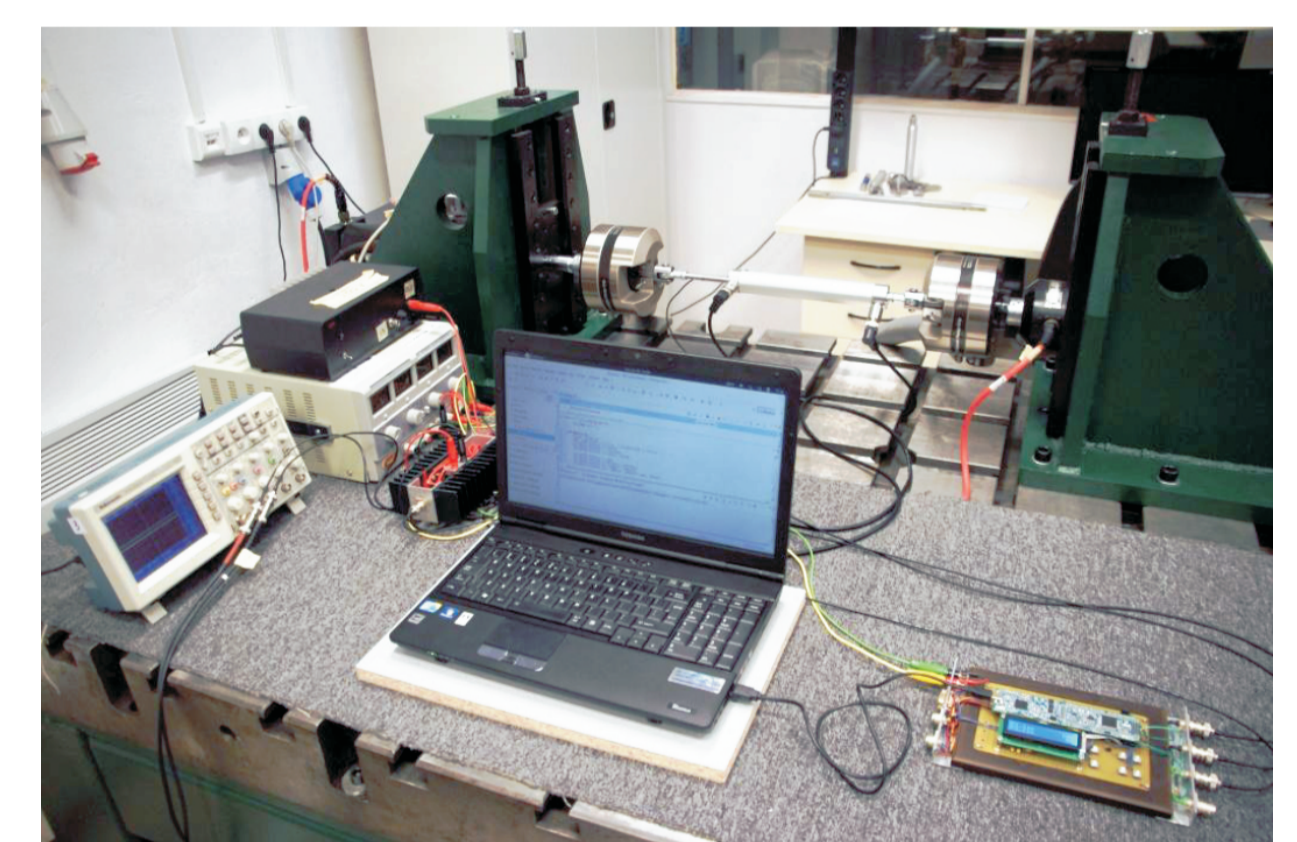
Introduced modifications of the channels' geometry consequenced in 25% increase of the value of the maximal allowable mass flow rate in the range of $p_2/p_1 = 0.1 - 0.15$.

Stanowisko badawcze do pomiarów sprawności amortyzatorów adaptacyjnych z zaworami piezoelektrycznymi

Experimental stand for characterisation of adaptive shock absorbers with piezoelectric valves



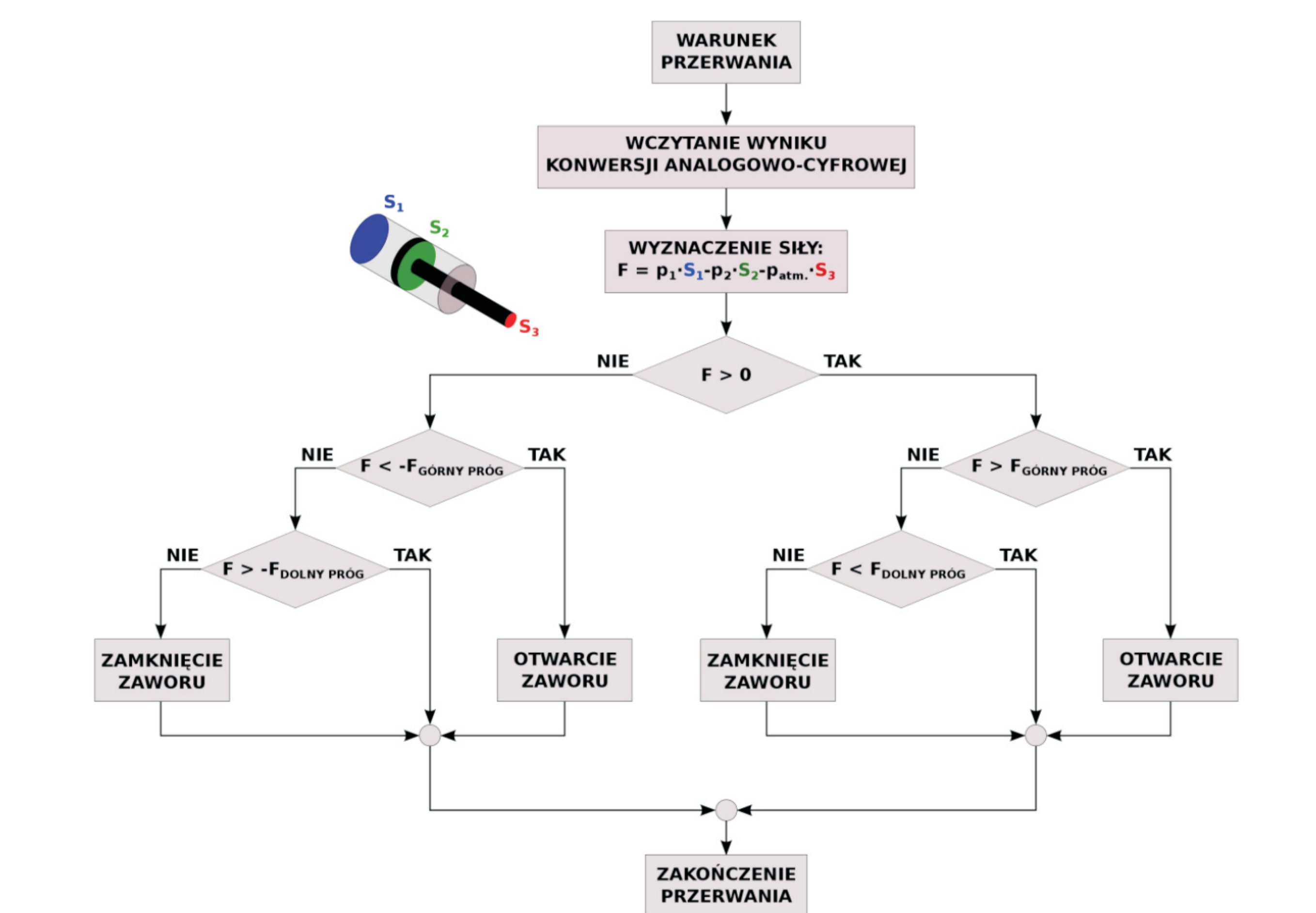
Rys. 3. Piezoelektryczny amortyzator adaptacyjny na stanowisku pomiarowym
Fig. 3. Piezoelectric shock absorber on the experimental stand



Rys. 4. Stanowisko badawcze charakteryzowania amortyzatorów adaptacyjnych
Fig. 4. Testing stand for characterisation of adaptive shock absorbers

Stanowisko badawcze zostało skonstruowane w oparciu o serwohydrauliczny sterowany komputerowo zestaw generujący wymuszenia kinematyczne lub dynamiczne.

The testing stand was designed on the basis of a serwohydraulic, computer controlled measurement setup that enables generation of kinematic and dynamic excitation.



Rys. 5. Schemat algorytmu zaimplementowanego na mikrokontroler sterujący pracą zaworu piezoelektrycznego
Fig. 5. Scheme of the algorithm implemented on the micro controller devoted to regulate the piezoelectric valve operation