



III KONFERENCJA RADY PARTNERÓW CZT AERONET i PANELE EKSPERTÓW PROJEKTU 12 – 13 Grudnia 2011 r. „Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym”

ZB 14

**Materiały inteligentne – oraz bazujące na nich systemy zespolone
(ang. Smart Embedded Systems) do zastosowania w lotnictwie**

Lider merytoryczny
Jan Holnicki-Szulc

Instytucje partnerskie w zadaniu
IPPT PAN, IMP PAN, PolLub, PRz, ILOT, ITWL, PW

III i IV kwartał 2011



Jednoczesna identyfikacja wymuszeń dynamicznych i sparametryzowanych uszkodzeń konstrukcji

Nietypowe zadanie optymalizacyjne

Dwa odmienne rodzaje zmiennych optymalizacyjnych

- Parametry uszkodzeń
- Czasowe przebiegi wymuszeń

Rozwiązanie wprost: wielokrokowe, alternujące metody optymalizacyjne.

Zaproponowana metoda wykorzystuje w roli zmiennych optymalizacyjnych jedynie parametry uszkodzeń. Wymuszenia w każdym kroku są jednoznacznie identyfikowalne (zadanie odwrotne).

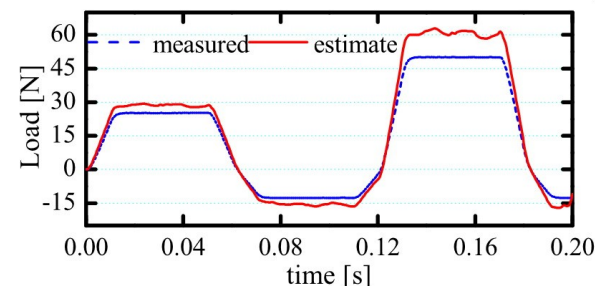
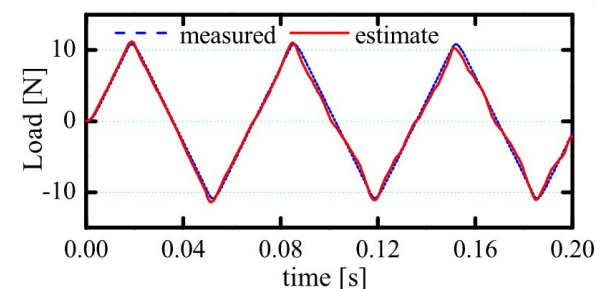
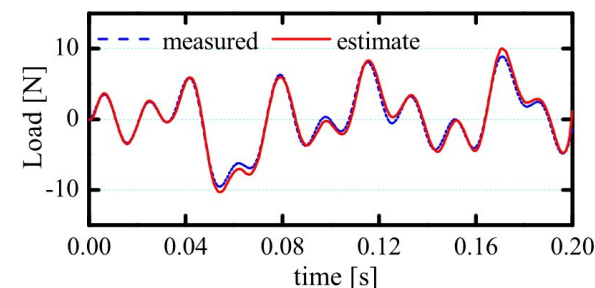
Rezultat

- Dostępne wszystkie standardowe algorytmy optymalizacyjne
- Łatwa implementacja analizy wrażliwości
- Większa niezawodność optymalizacji

Weryfikacja eksperymentalna: smukła belka wspornikowa

Identyfikowane zmienne:

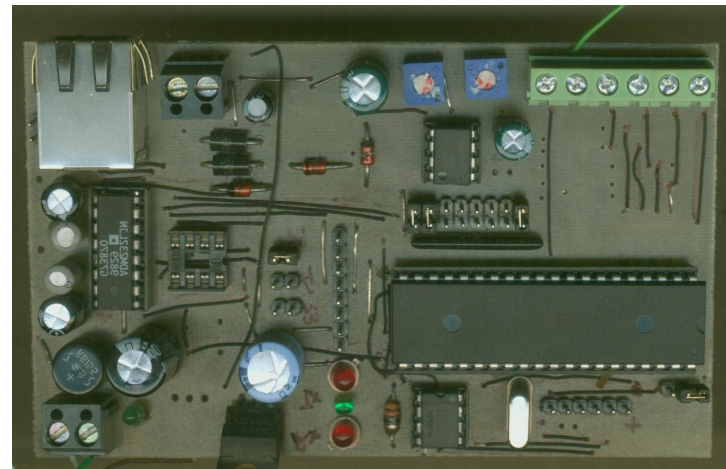
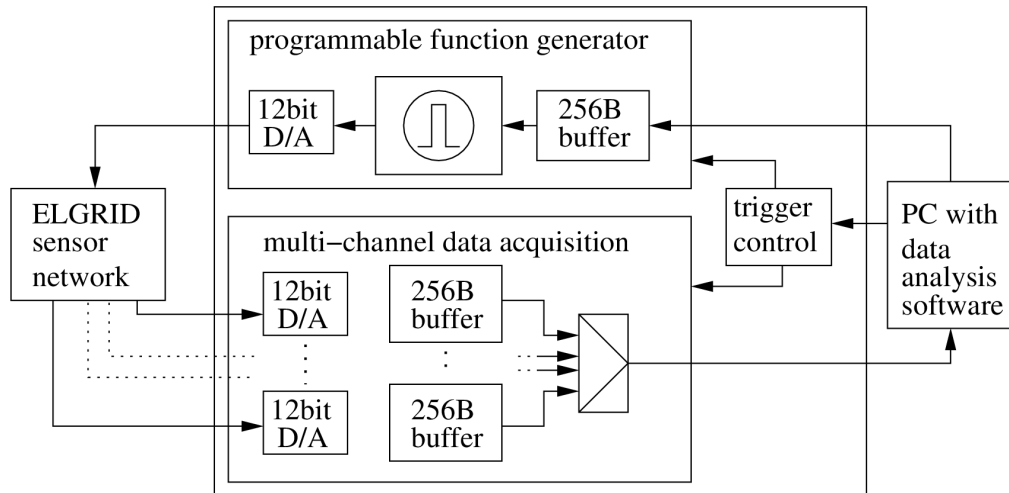
- Dwa współczynniki redukcji sztywności + masa dodana
- Czasowy przebieg wymuszenia (trzy przypadki)



| | Case 1 | | | Case 2 | | Case 3 | |
|----------|--------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| | actual | identified | error (%) | identified | error (%) | identified | error (%) |
| μ_1 | 1.00 | 0.972 | 2.83 | 0.979 | 2.06 | 1.028 | 2.83 |
| μ_2 | 0.42 | 0.416 | 0.43 | 0.477 | 5.69 | 0.46 | 4.00 |
| m (kg) | 0.06 | 0.058 | 2.67 | 0.058 | 3.83 | 0.059 | 2.33 |

Opracowanie prototypu sterownika sprzętowego dla sieci czujników pękających ELGRID

Programowalny jedno-kanalowy generator sygnału testowego

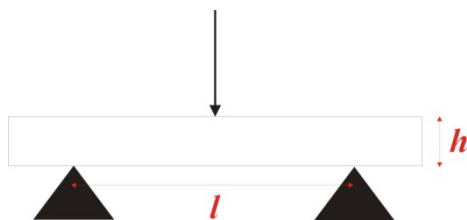


Sterowanie i analiza danych z poziomu komputera PC (docelowo z bezprzewodową transmisją danych)

Pasywna sieć pękających czujników przewodzących

Wielo-kanalowy układ pomiarowy napięć w węzłach sieci

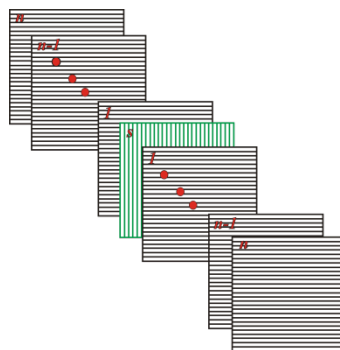
Systemy SHM do wykrywania delaminacji



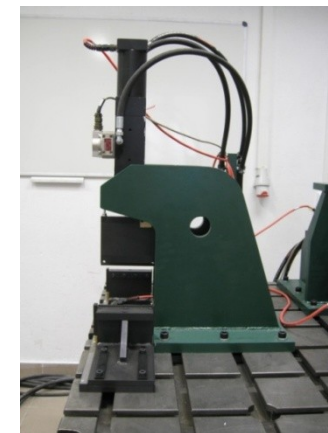
$$l \leq 5h$$

$$\tau^{LS} = \frac{3}{4} \times \frac{F}{bh}$$

Trójpunktowe zginanie belki
krępej – konfiguracja obciążenia



Układ warstw tkaniny jednokierunkowej
w próbkach przeznaczonych do badania
wytrzymałości na ścinanie międzywarstwowe



Widok stanowiska badawczego

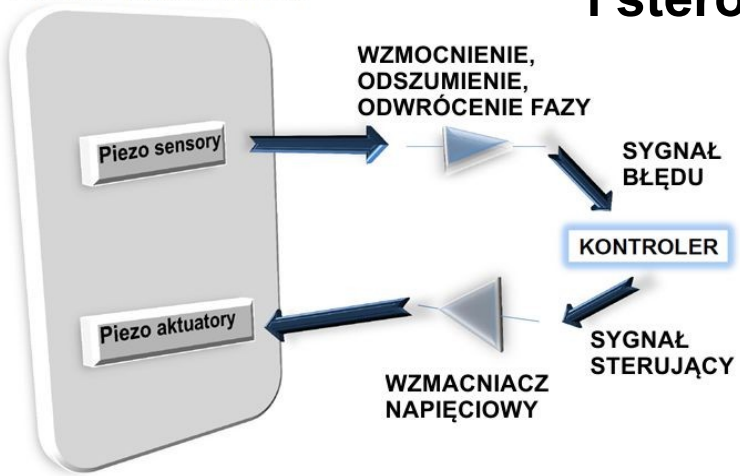
Zrealizowane zadania:

Określono wstępne założenia co do schematu obciążenia próbek, sposobu ułożenia warstw oraz zakresów obciążeń.

Przygotowano stanowisko pomiarowe bazujące na systemie MTS oraz równoległym systemie rejestracji danych, umożliwiające porównywanie odporności próbek o standardowym układzie warstw oraz próbek z systemami zintegrowanymi SES.

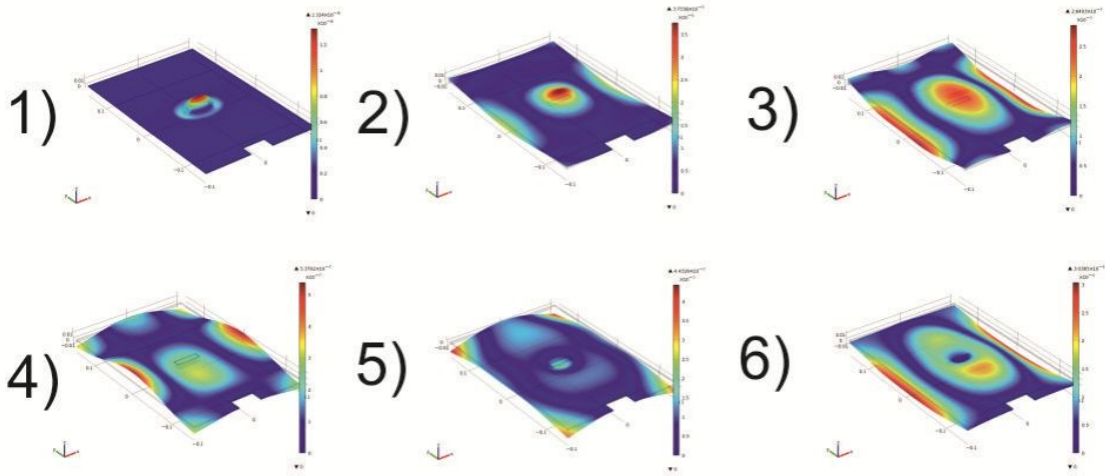
Opracowanie koncepcji wybranych algorytmów kontroli i sterowania dla układów wibroakustycznych

Powłoka – płyta aluminiowa



| Mocowanie „A” | | Mocowanie „B” | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| f = 18,98 Hz | f = 213,42 Hz | f = 19,4 Hz | f = 177,98 Hz |
| f = 63,04 Hz | f = 299,34 Hz | f = 54,71 Hz | f = 260,35 Hz |
| f = 117,74 Hz | f = 339,48 Hz | f = 116,48 Hz | f = 299,26 Hz |

Przyjęta koncepcja układu sterowania zakłada wykorzystanie piezosensorów oraz piezoaktywatorów pracujących w pętli sprzężenia zwrotnego.

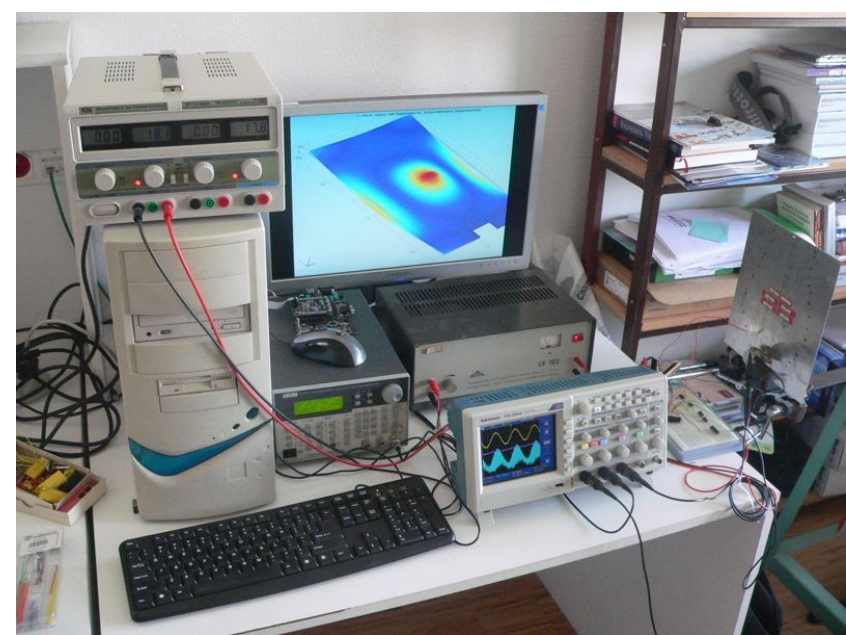
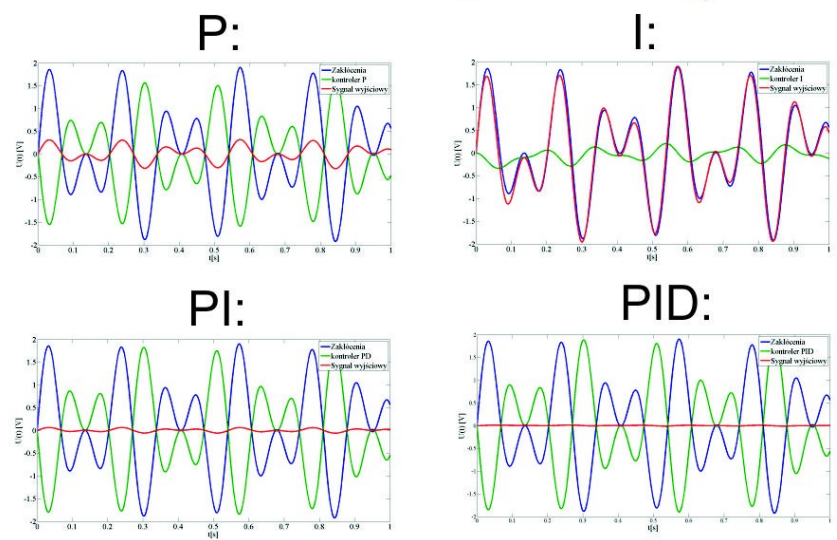
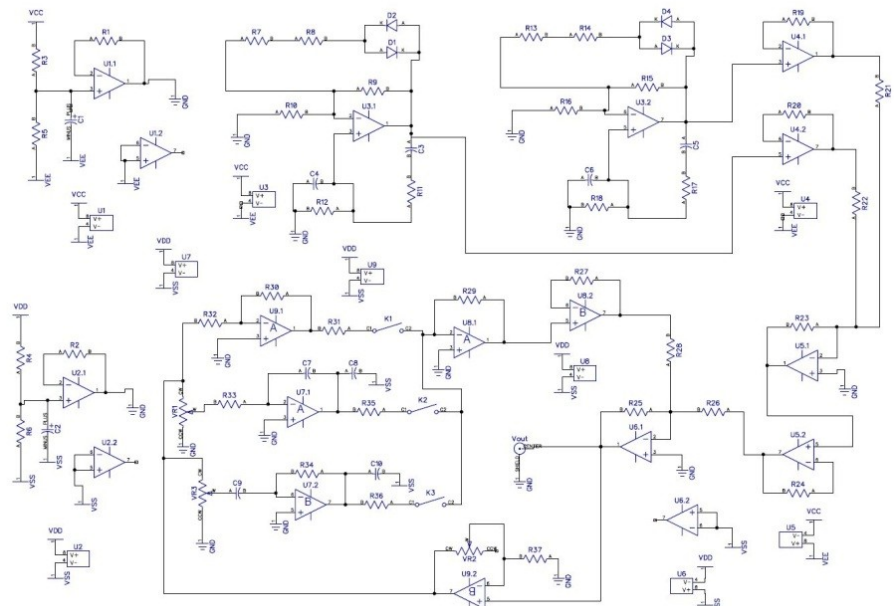


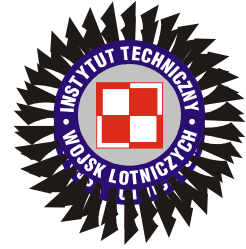
Za pomocą modeli numerycznych zbadano wpływ warunków brzegowych na częstotliwości i kształty kolejnych postaci drgań własnych rozpatrywanej struktury oraz efekty sprzężenia elektromechanicznego z układem sterowania poprzez elementy piezoelektryczne.

Główne wyniki zrealizowanych prac badawczych

Opracowanie koncepcji wybranych algorytmów kontroli i sterowania dla układów wibroakustycznych

W ramach badań użyteczności wybranych kontrolerów przeprowadzono symulacje numeryczne ich działania, symulacje sprzętowe na zaprojektowanej w tym celu platformie sprzętowej oraz testy doświadczalne na stanowisku laboratoryjnym wykorzystując płytę aluminiową z przytwierdzonymi na jej powierzchni elementami piezoelektrycznymi.



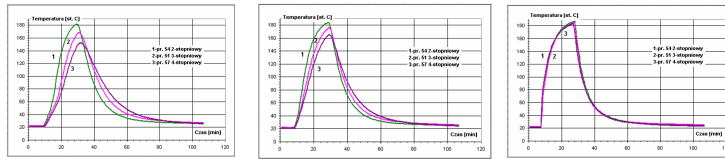
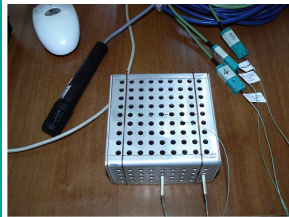
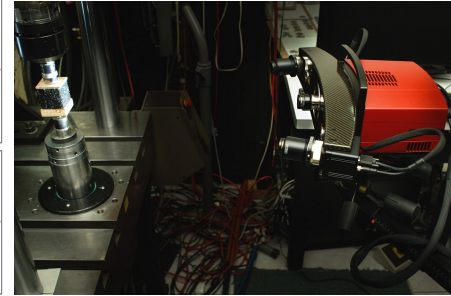
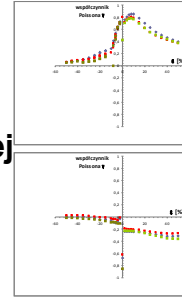


Wytwarzanie i badanie elastycznej pianki poliuretanowej o ujemnym współczynniku Poissona

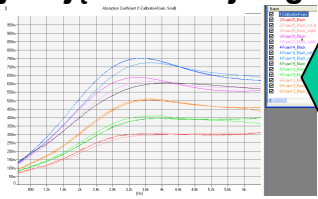


Badanie parametrów termicznych procesu technologicznego pianek auksetycznych

Badanie wpływu stopnia kompresji objętościowej pianki auksetycznej na współczynnik Poissona



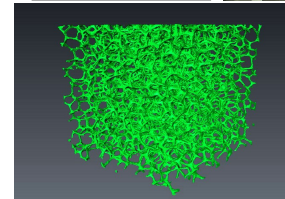
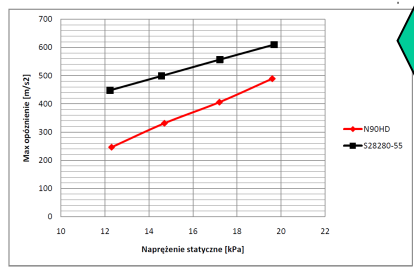
Przebieg temperatury w próbkach o różnym stopniu kompresji objętościowej nagrzewanych do 190 st. C



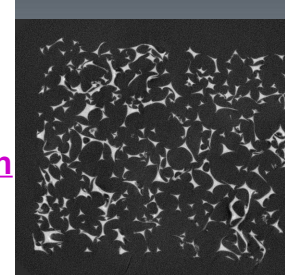
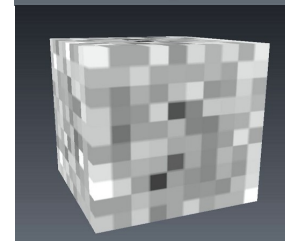
Wstępne badanie wibroakustyczne

Wstępne badanie tłumienności dynamicznej

Wykonawca:
Instytut Podstawowych Problemów Techniki
Warszawa

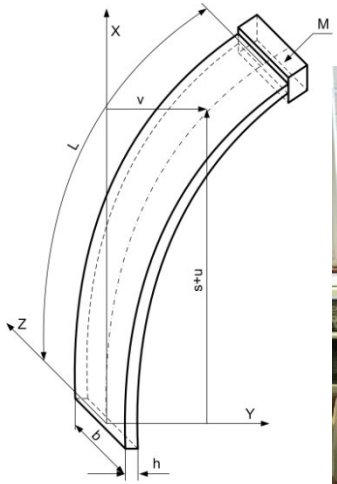


Wstępne badania mikrotomograficzne
Wykonawca:
Instytut Nafty i Gazu
Kraków

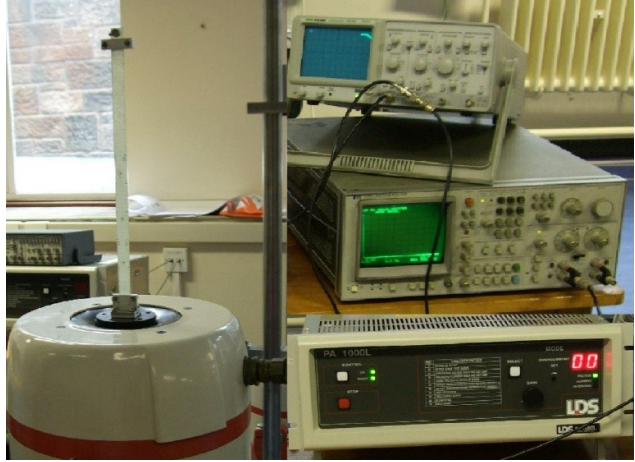


Główne wyniki zrealizowanych prac badawczych

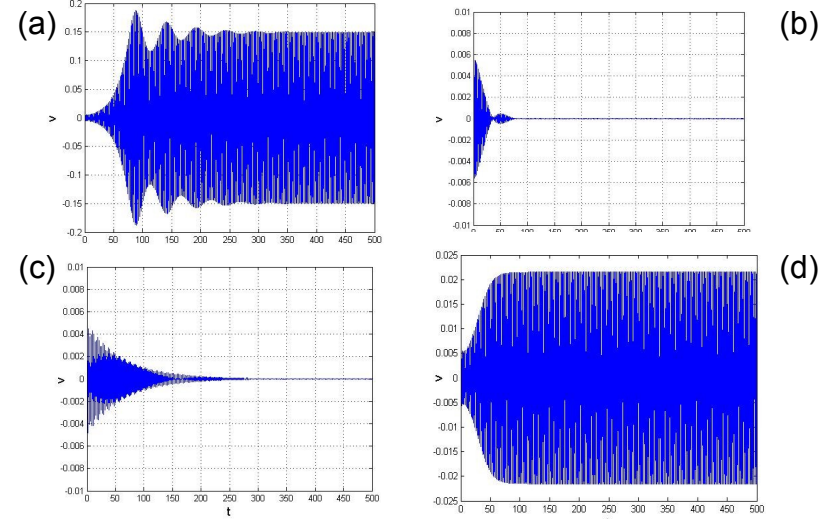
Dobór i optymalizacja algorytmów sterowania do redukcji drgań struktury belkowej ze wzbudzeniem parametrycznym



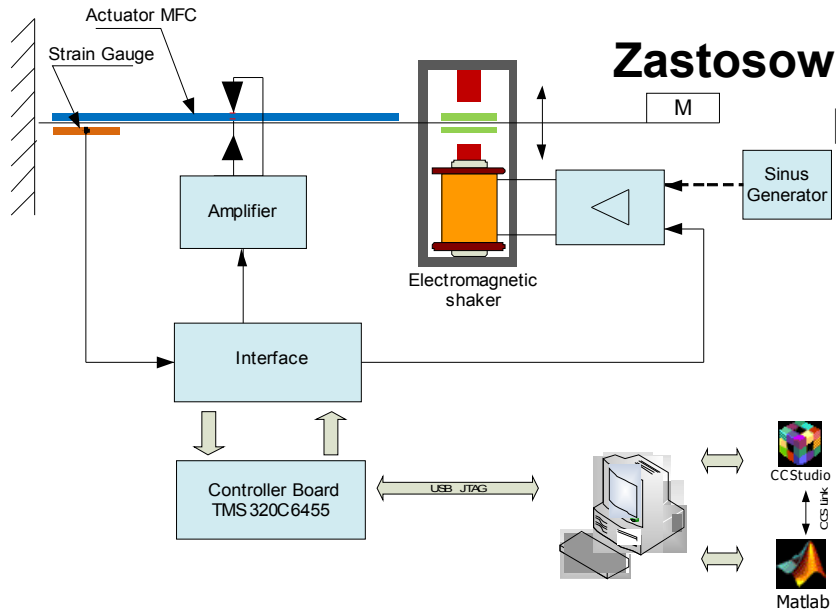
Model układu



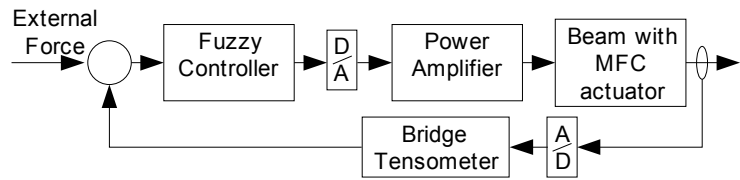
Stanowisko do badań eksperymentalnych



Odpowiedzi układu: (a) bez kontrolera, (b) algorytm PPF, (c) algorytm P, (d) sprzężenie poprzez 3cią potęgę prędkości



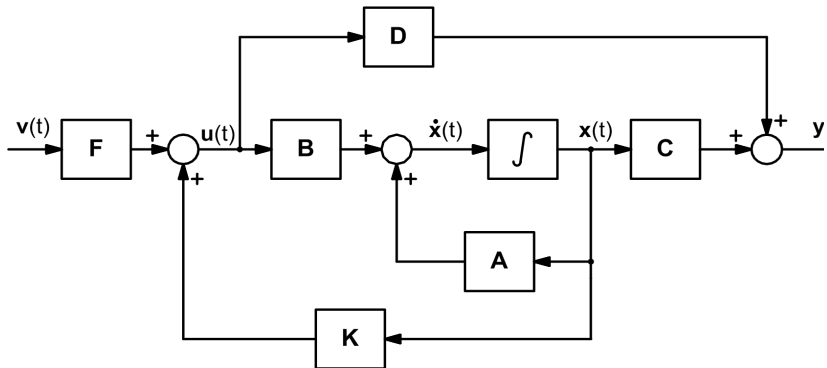
Zastosowanie sterowania rozmytego PI do regulacji piezoelektrycznej struktury kompozytowej



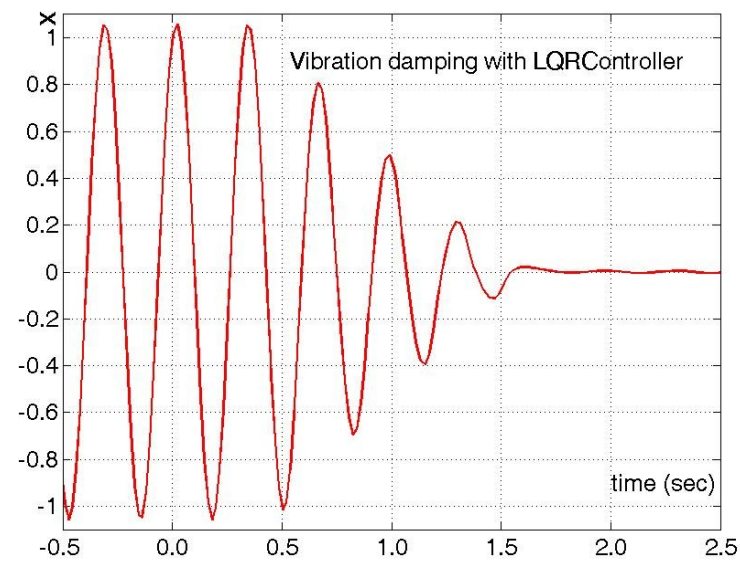
Schematy stanowiska laboratoryjnego

Główne wyniki zrealizowanych prac badawczych

Zastosowanie regulatora LQR (liniowo-kwadratowego) do tłumienia drgań układu belkowego

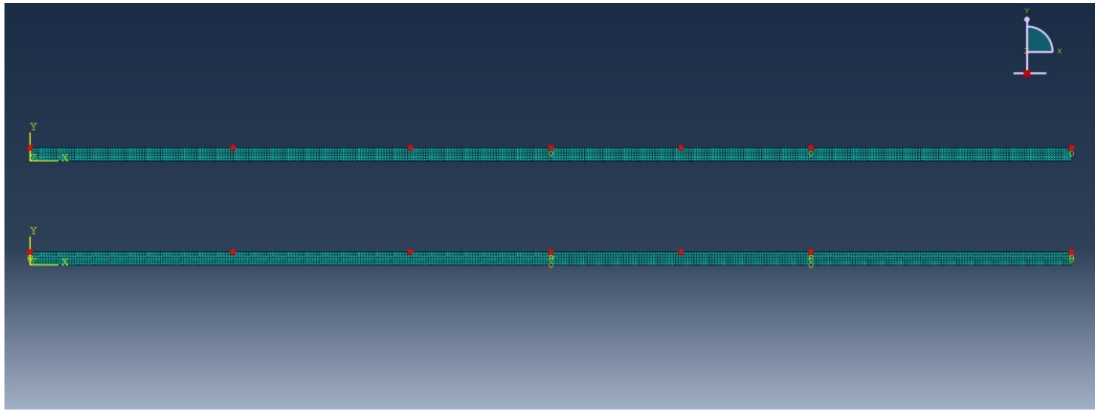
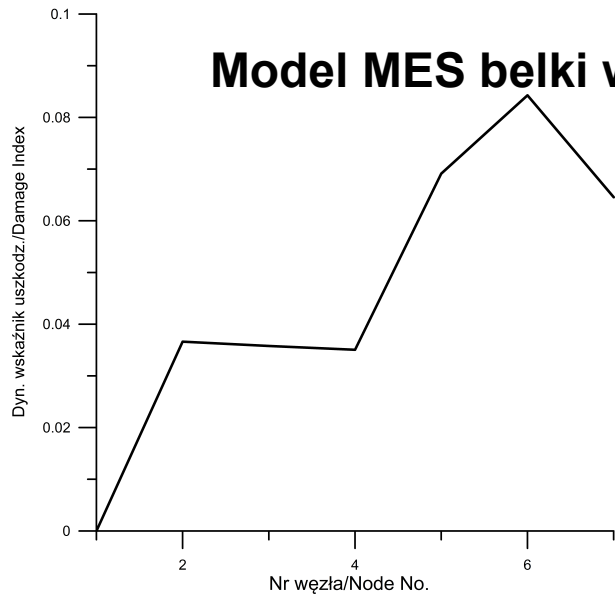


Schemat blokowy układu wykorzystującego algorytm LQRA



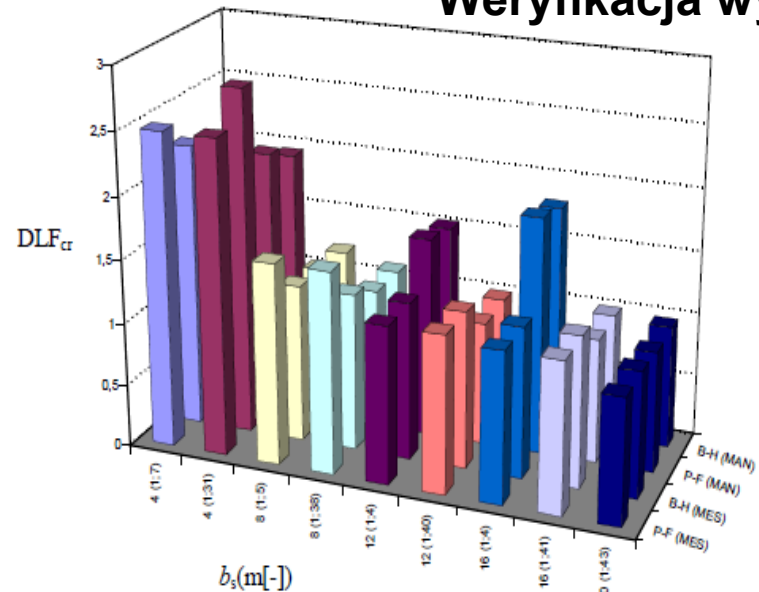
Przebieg czasowy odpowiedzi belki z zastosowaniem algorytmu LQR

Model MES belki wspornikowej z rozwarstwieniem



Model MES belki z uszkodzeniem

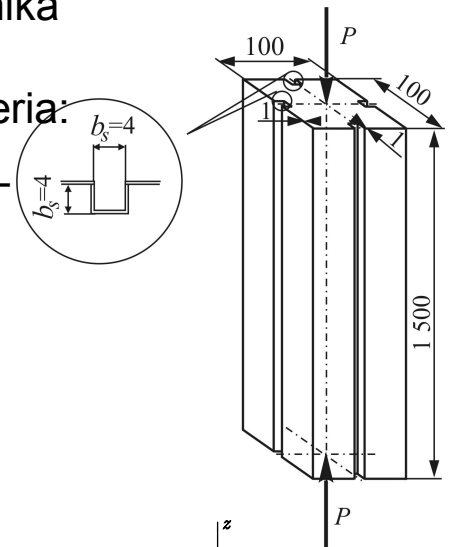
Weryfikacja wybranych kryteriów stateczności dynamicznej



Porównanie wartości DLF wyznaczonych zgodnie z kryteriami B-H oraz P-F stosując MAN oraz MES

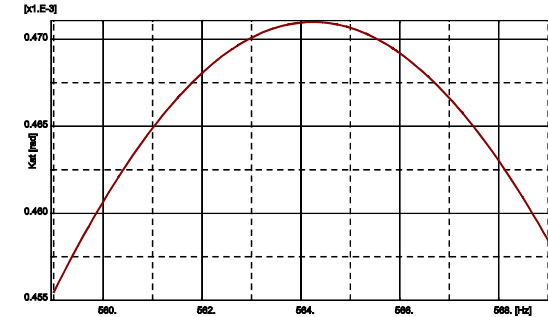
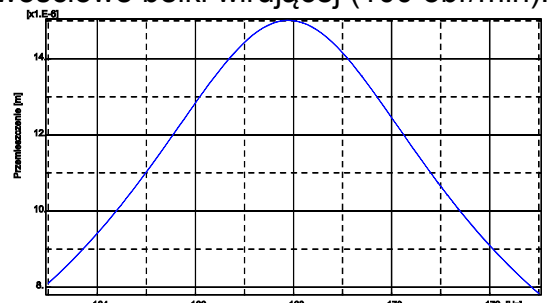
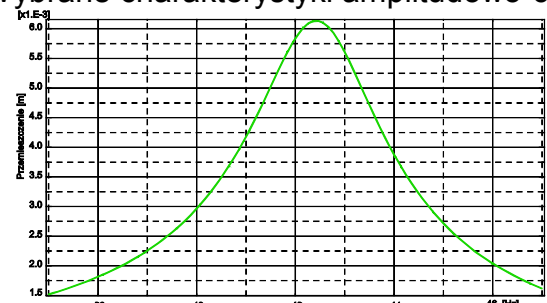
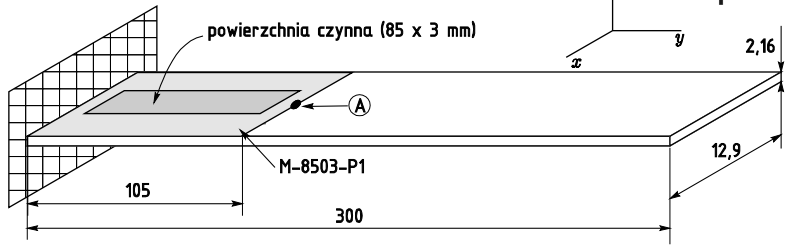
Krytyczne wartości współczynnika obciążeń dynamicznych określano stosując różne kryteria:

- ✦ Budiansky'ego-Hutchinsona-Rotha,
- ✦ quasi-bifurkacyjne kryterium Kleibera-Kotuli-Sarana z modyfikacjami,
- ✦ portretów fazowych.



Badanie ustalonych drgań wymuszonych belek kompozytowych z elementami aktywnymi typu MFC

Wybrane charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe belki wirującej (100 obr/min):



(a) pierwsza postać zginania w płaszczyźnie xz, (b) pierwsza postać zginania w płaszczyźnie xy, (c) pierwsza postać skrętna.



Dane do wskaźników realizacji celów projektu

Monografia:

- J. Warmiński: *Nieliniowe postacie drgań. Układy dyskretne*, PWN 2011.

Publikacje w czasopismach:

- *Latałski J.: Modelowanie w systemie {ABAQUS} piezoelementów aktywnych typu MFC. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* **52(4)**;2011:72-78.
- *Warmiński J., Bocheński M., Jarzyna W., Filipek P., Augustyniak M.: Active suppression of nonlinear composite beam vibrations by selected control algorithms, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, **16(5)**;2011:486-508.

Referaty konferencyjne:

- *7th European Nonlinear Dynamics Conference, A. Mitura, J. Warmiński, M. Bocheński, T. Kaźmir, M. Augustyniak, W. Jarzyna, Optimization of NSC controller in two-dimensional parameters space, ENOC 2011, 24- 29 July 2011, Rome, Italy*
- *7th International Conference: New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation, W. Jarzyna, M. Augustyniak, A. Wójcik, Application of a fuzzy PI controller in regulation of active piezoelectric composite structure. 28 June – 1 July 2011, Zakopane, Poland.*
- *II Kongres Mechaniki Polskiej, J. Warmiński, A. Mitura, M. Bocheński, W. Jarzyna, M. Augustyniak, P. Filipek, Aktywne tłumienie drgań lekkich struktur kompozytowych z zastosowaniem elementów aktywnych oraz nieliniowego sterowania, 28-31 sierpień 2011, Poznań, Polska.*



Dane do wskaźników realizacji celów projektu

Referaty konferencyjne - cd.:

- *19th French-Polish Seminar of Mechanics, J. Warmiński, A. Mitura, M. Bocheński, T. Kaźmir, W. Jarzyna, M. Augustyniak, P. Filipek, Analysis of active vibration suppression by application of macro fiber composite, 8-11 June 2011, Perpignan, France.*
- *7th International Conference "Electromagnetic Devices and Processes in Environment Protection" ELMECO-7, W. Jarzyna, M. Augustyniak, PD and LQR controllers applied to vibration damping of an active composite beam. 28 – 30 September 2011, Nałęczów, Poland.*
- *3rd International Conference on Computer, Communication, Control and Automation (3CA 2011), W. Jarzyna, M. Augustyniak, J. Warmiński, M. Bocheński, Evaluation of Suppression Methods used for Reduction of Vibrations of the Active Composite Beam. 19 – 20 November 2011, Zhuhai, China.*
- *II Kongres Mechaniki Polskiej, Latałski J., Georgiadis F., Warmiński J.: Dynamic analysis of a rotating beam with an active piezoelectric element. Poznań 28-32 sierpnia 2011.*
- *Techniki Komputerowe w Inżynierii, Dębski H., Latałski J. Numeryczna analiza struktur kompozytowych z piezoelektrycznymi elementami aktywnymi., 18-21 października 2011, Skok k. Bełchatowa, Poland.*
- *VIII Krajowe Forum Wiroplątowe, Latałski J., Georgiades F., Warmiński J.: Mode shapes variation of a composite beam with piezoelectric patches., 18 czerwca 2011, Warszawa.*
- *Suwała G., Jankowski Ł., A benchmark for identification of structural modifications and inelastic impacts: the structure, test data and an example solution, 5th ECCOMAS Thematic Conf. on Smart Structures and Materials (SMART 2011), 6-8 July 2011, Saarbrücken, Germany*
- *Nowak Ł., Zieliński T.G.: Wybrane aspekty aktywnej kontroli wibroakustycznej na przykładzie struktury płytowej. 58 Otwarte Seminarium z Akustyki, Jurata, 13 -16 września 2011.*



Dane do wskaźników realizacji celów projektu

Referaty konferencyjne - cd.:

- *Sekuła K., Graczykowski C., Holnicki-Szulc J., Real-Time Identification of Impact Load Parameters, 5th ECCOMAS Thematic Conf. on Smart Structures and Materials (SMART 2011), 6-8 July 2011, Saarbrücken, Germany.*
- *Pawłowski P., Holnicki-Szulc J., Wołęjsza Z., Motylewski J., Adaptacyjny system dyssypacji do absorpcji energii obciążeń uderowych z zastosowaniem cieczy magentoreologicznych, XXXVIII Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn, Wisła 2011*
- *Wiszowaty R., Biczok J., Graczykowski C., Mikułowski G., Method of impact energy dissipation by the use of the pneumatic impact absorber with a piezo-valve, 5th ECCOMAS Thematic Conf. on Smart Structures and Materials (SMART 2011), 6-8 July 2011, Saarbrücken, Germany.*
- *Graczykowski C., Mikułowski G., Holnicki-Szulc J., Adaptive impact absorption - a benchmark and an example absorber, 5th ECCOMAS Thematic Conf. on Smart Structures and Materials (SMART 2011), 6-8 July 2011, Saarbrücken, Germany.*
- *Grzędziński J., Mróz A., Sala D., Gust load reduction concept in wind turbines – experimental verification in wind tunnel, 5th ECCOMAS Thematic Conf. on Smart Structures and Materials (SMART 2011), 6-8 July 2011, Saarbrücken, Germany.*
- *Ostrowski M., Holnicki-Szulc J., High performance valve for adaptive inflatable impact absorbers, 5th ECCOMAS Thematic Conf. on Smart Structures and Materials (SMART 2011), 6-8 July 2011, Saarbrücken, Germany.*
- *Holnicki-Szulc J., Graczykowski C., Mikułowski G., Mróz A., Ostrowski M., Wiszowaty R., Adaptive Impact Absorption for Safety Engineering, Proceedings of the 9th International Conference on Shock and Impact Loads on Structures, Fukuoka, Japonia, 16-18 November 2011.*



Dane do wskaźników realizacji celów projektu

Prace doktorskie

- *Tytuł: Damage identification in electrical network for structural health monitoring, Autor: mgr inż. Marek Kokot. Promotor: prof. dr hab. inż. Jan Holnicki-Szulc. Status: praca po obronie*
- *Tytuł: Real-Time Dynamic Load Identification, Autor: mgr inż. Krzysztof Sekuła. Promotor: prof. dr hab. inż. Jan Holnicki-Szulc. Status: praca po obronie*
- *Tytuł: Systemy adaptacyjnej absorpcji obciążeń uderowych, Autor: mgr inż. Piotr Pawłowski. Promotor: prof. dr hab. inż. Jan Holnicki-Szulc. Status: praca po obronie*

Prace magisterskie:

- *Mateusz Zasada, Estymatory Kalmana w napędzie elektrycznym i mechatronicznym, opiekun: dr hab. inż. Wojciech Jarzyna, prof. PL, obrona 26 czerwca 2011.*
- *Adam Wójcik, Badanie regulatorów rozmytych w układzie mechatronicznym, opiekun: dr hab. inż. Wojciech Jarzyna, prof. PL, obrona 13 lipca 2011.*
- *Jarosław Dziura, Układy zasilania kompozytów piezoelektrycznych w lotnictwie, opiekun: dr hab. inż. Wojciech Jarzyna, prof. PL, obrona 24 października 2011.*

Inne prace związane z projektem:

- A. Mitura, J. Warminski, M. Bochenski, T. Kazmir, M. Augustyniak and W. Jarzyna *Optimization of NSC controller in two-dimensional parameters space*, dokument elektroniczny, http://w3.uniroma1.it/dsg/dbs/public/Mitura_et_al.pdf



Stan współpracy z przedsiębiorstwami Doliny Lotniczej

POLITECHNIKA LUBELSKA

We współpracy z Agusta Westland PZL Świdnik S.A. przygotowano do badań laboratoryjnych model łopaty wirnika nośnego śmigłowca. Dodatkowo współpraca dotyczy technologii wytwarzania kompozytowych struktur lotniczych metodą autoklawową z wtopionymi elementami aktywnymi.



IPPT

We współpracy z firmami Aerokros Krosno i Adaptronica przygotowywane są demonstratory technologii do systemów wykrywania uszkodzeń kompozytów ELGRID



Wnioski (PL)

- Spośród badanych algorytmów sterowania najskuteczniejszy okazał się algorytm PPF. Wymaga jednak przeprowadzenia dwukrotnego całkowania sygnału. Algorytm ten zapewnił zarówno skuteczne wyeliminowanie drgań belki jak i szybkie osiągnięcie stanu ustalonego.
- Sterownik NSC umożliwił ograniczenie stanu ustalonego drgań płyty kompozytowej. Poziom minimalizacji drgań ustalonych zależy od przyjętych parametrów algorytmu sterowania.
- Algorytm NSC wymaga zadania odpowiednich wartości początkowych w celu optymalizacji okresu przejściowego.
- Testowana metoda identyfikacji uszkodzenia za pomocą map Poincaré pozwala na skuteczne wykrywanie i lokalizowanie uszkodzenia w elementach konstrukcyjnych.
- W przypadku cienkościennych struktur ściskanych np. słupów o przekrojach zamkniętych stwierdzono występowanie niebezpiecznej interakcji postaci globalnej z dwiema postaciami lokalnymi, odpowiadającymi drugiemu minimum.



Wnioski (IPPT)

- Układy wibroakustyczne

Przeprowadzone symulacje numeryczne oraz badania doświadczalne pozwoliły na skonkretyzowanie wymagań dotyczących rozwijanych algorytmów kontroli wibroakustycznej oraz dopracowanie ich koncepcji. Wprowadzenie pośredniego etapu symulacji sprzętowych pozwala na sprawne znalezienie i usunięcie niepożądanych efektów wnoszonych przez układy elektroniczne.

- Identyfikacja wymuszeń dynamicznych i uszkodzeń

Zaproponowano metodę, która optymalizuje jedynie współczynniki parametryczne uszkodzeń, pomimo że nieznane są zarówno uszkodzenia, jak i obciążenia. Metoda została zweryfikowana eksperymentalnie przy użyciu smukłej belki wspornikowej.

- Sterownik sprzętowy do sieci ELGRID

Przeprowadzone badania prototypu sterownika pozwoliły zweryfikować poprawność projektu. Dalsze prace mają na celu integrację modułów w jednym układzie.

- Systemy SHM do wykrywania delaminacji

Przygotowano stanowisko pomiarowe bazujące na systemie MTS oraz równoległym systemie rejestracji danych, umożliwiające porównywanie odporności próbek o standardowym układzie warstw oraz próbek z systemami zintegrowanymi SES.



Wnioski (ITWL)

- Na podstawie uzyskanych wstępnych wyników badań dynamicznych wyznaczono właściwości tłumiących pianek auksetycznych.
- Z przeprowadzonych badań termicznych wynika, że w celu ustabilizowania struktury pianki w całej objętości próbki należy zastosować odpowiedni czas i temperaturę w zależności od wielkości i stopnia kompresji próbki.
- Wartość współczynnika Poissona zależy od stopnia kompresji próbek i uzyskuje największą wartość dla średniego stopnia kompresji. Ze wstępnych badań mikrotomograficznych wynika możliwe będzie określenie rozkładu zagęszczenia pianki w próbce auksetycznej i określanie w ten sposób stopnia jednorodności próbki.
- Na podstawie uzyskanych wstępnych wyników badań dynamicznych właściwości tłumiących pianek auksetycznych można stwierdzić, że nie uzyskano minimum wartości tłumienia uderzenia w zależności od naprężenia statycznego co wynika z zbyt małej powierzchni próbki lub zbyt dużego minimalnego obciążenia, które jest możliwe do zastosowania na stanowisku w IPPT.