



# SHM – NOWE APLIKACJE

IPPT PAN, ADAPTRONICA R&D



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO





## Problemy badawcze rozwiązywane w ramach tematyki SHM w Pracowni Adaptroniki:

- identyfikacja uszkodzeń w elementach konstrukcyjnych o szczególnym znaczeniu dla niezawodności działania obiektów technicznych takich jak:
  - konstrukcje lotnicze i niektóre środki transportu naziemnego, mosty, obiekty przemysłowe (np. rurociągi, platformy wiertnicze i wszelkiego rodzaju obiekty których uszkodzenie wiąże się z zagrożeniem funkcjonowania środowiska)
- rozwój metod opartych na zintegrowanych z materiałem obwodach elektrycznych i sieciach czujników
- rozwój metod RT (real time) szybkiego powiadamiania o powstaniu w konstrukcji uszkodzenia



- ELGRID
- Delam-P
- Delam-T



# Metody identyfikacji uszkodzeń bazujące na analizie odwrotnej:

ELGRID

odpowiedź **konstrukcji** uszkodzonej modelowana metodą IMDW

odpowiedź liniowa **konstrukcji**

człon wirtualny

$$\varepsilon_i(\omega) = \varepsilon_i^L(\omega) + \left( -\mu_i \sum_{\tau=0}^t \sum_j D_{ij} \left( -\tau \overline{\varepsilon}_j^o(\omega) \right) \right)$$

$\varepsilon_i$  - odkształcenie

wskaźnik uszkodzenia

funkcja celu

$$f = f(\mu_A^M, \varepsilon_A, \mu_i)$$

$$f = f(V_A^M, V_A, \mu_i)$$

wskaźnik uszkodzenia

$$V_i(\omega) = V_i^L(\omega) + \left( -\mu_i \sum_{\tau=0}^t \sum_j D_{ij} \left( -\tau \overline{V}_j^o(\omega) \right) \right)$$

$V_i$  - potencjał węzłowy

odpowiedź **obwodu** uszkodzonego modelowana metodą IMDW

odpowiedź liniowa **obwodu**

człon wirtualny

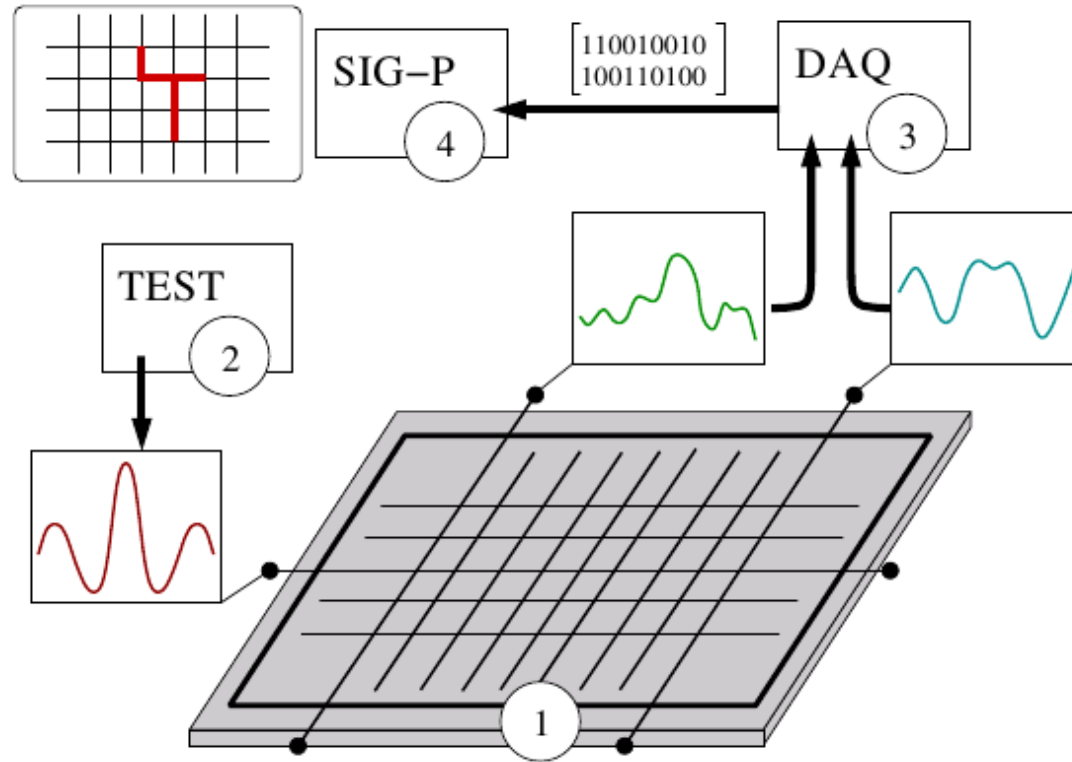


INNOWACYJNA GOSPODARKA  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

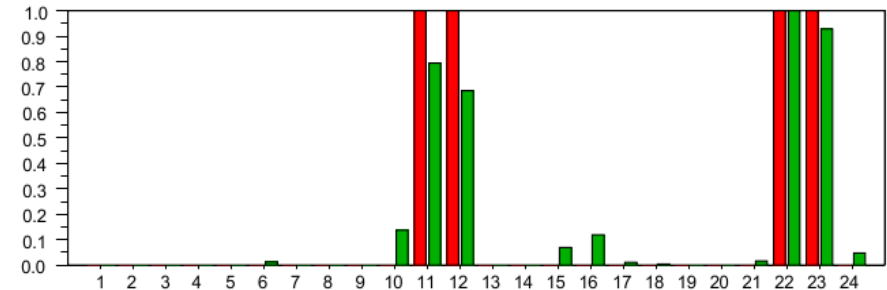
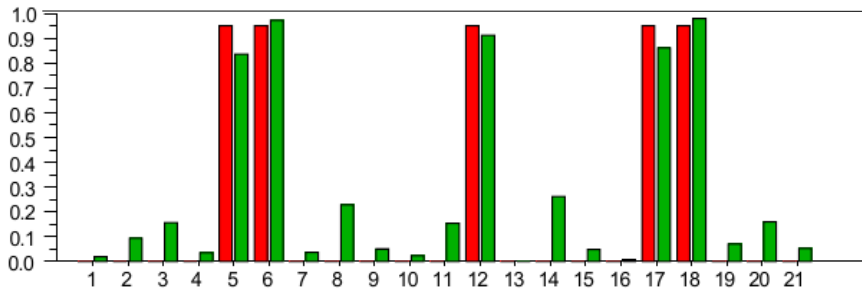
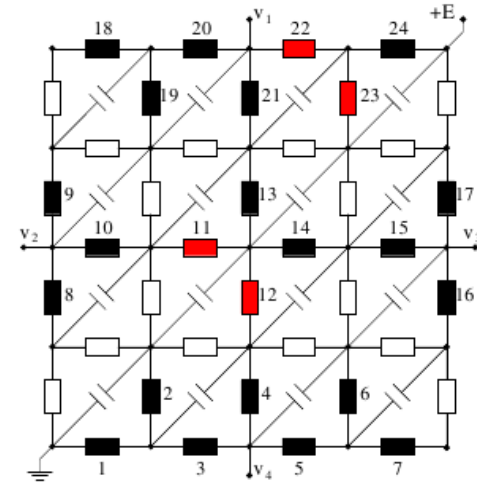
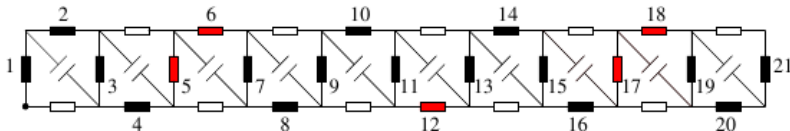


UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO





**Identyfikacja stanu uszkodzeń sieci na podstawie dynamicznej analizy odwrotnej (gradientowa optymalizacja bazująca na algorytmach Metody Dystorsji Wirtualnych)**



## Identyfikacja zmiany parametrów w strukturze jednowymiarowej i w strukturze drzewiastej – wynik symulacji numerycznych

Dane niezbędne do realizacji metody:

- model konstrukcji nieuszkodzonej,
- macierz wpływu,
- odpowiedź rzeczywista konstrukcji uszkodzonej – wybrane punkty

Ograniczenia związane z MIDW:

- duże koszty numeryczne w przypadku modelowania odpowiedzi konstrukcji obciążonej dynamicznie

Zalety wynikające z zastosowania podejścia dystorsyjnego:

- względna prostota modelu
- możliwość analitycznego obliczania gradientu funkcji celu



## Aplikacje SHM bazujące na zintegrowanych układach czujników:

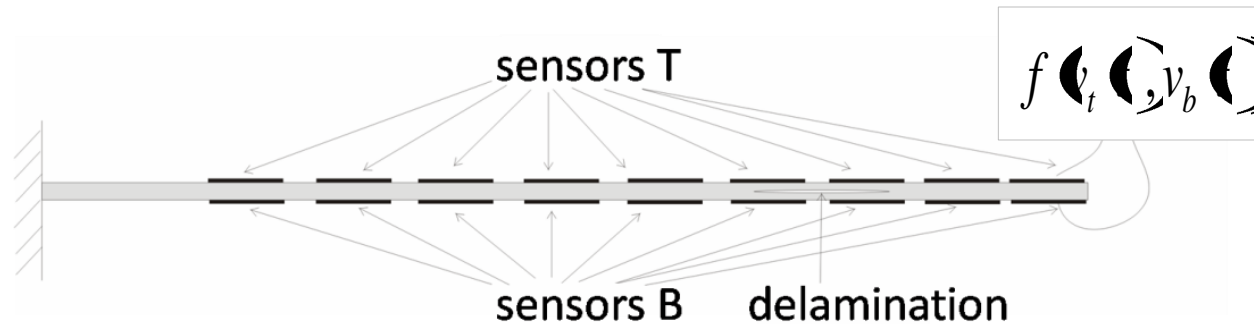
- aplikacje pasywne (układ czujników zintegrowanych rejestrujących np. efekty emisji akustycznej)
- aplikacje aktywne (układ czujników zintegrowanych działających jako aktywatory i sensory, np. rejestracja zmian propagacji sygnału wynikających z obecności defektu)

## Najczęściej stosowane czujniki:

- czujniki piezoelektryczne
- włókna optyczne
- czujniki MEMS
- czujniki tensometryczne



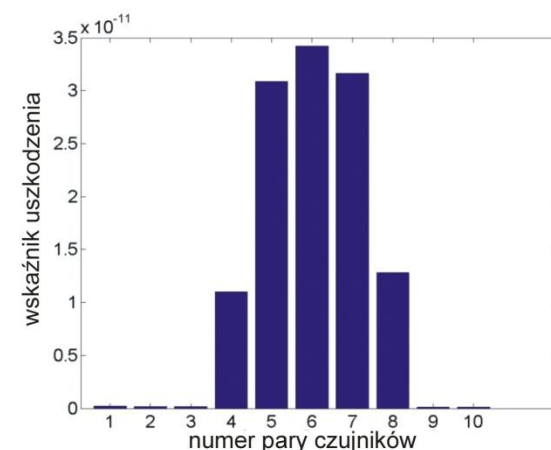
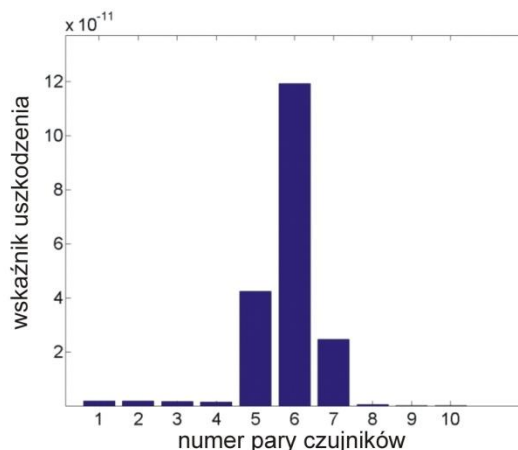
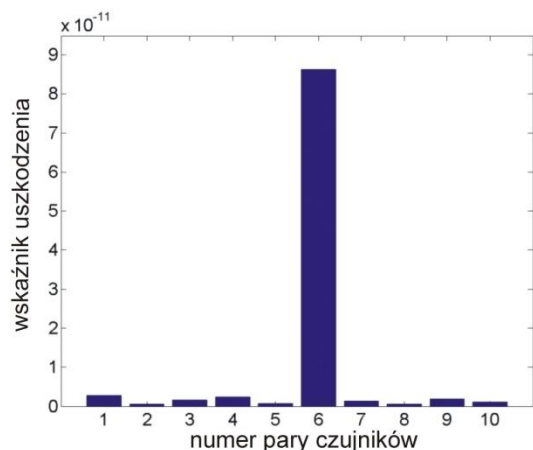
## Technika DelamP\*: identyfikacja delaminacji w czasie rzeczywistym



**WSKAŹNIK USZKODZENIA:**

$$\lambda = f \left( \epsilon_t, \epsilon_b, \nu_b \right)$$



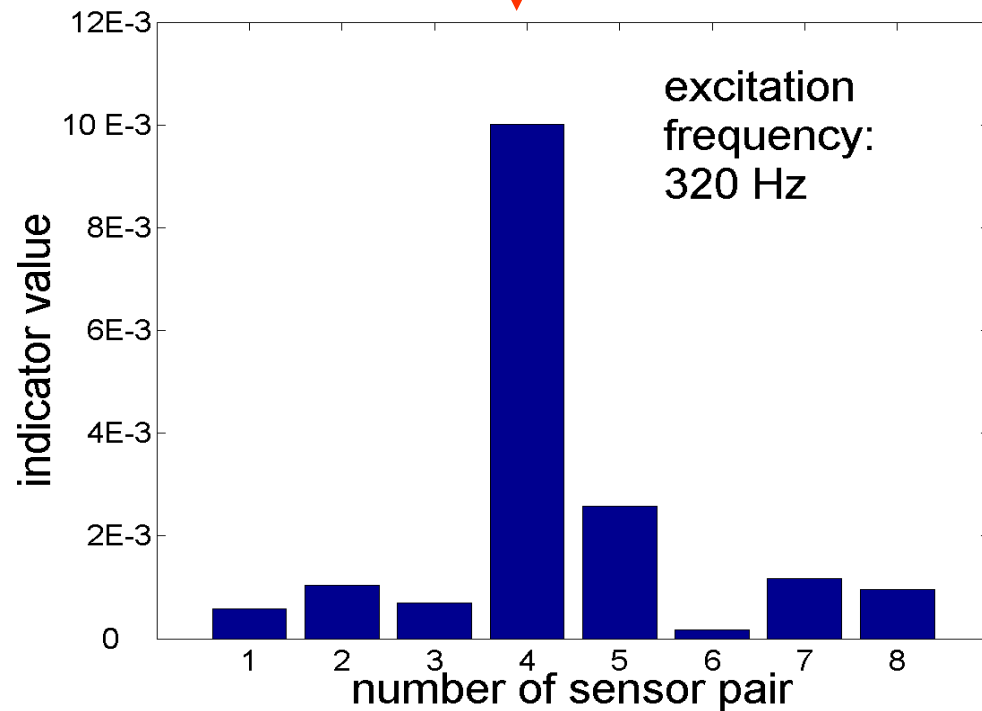
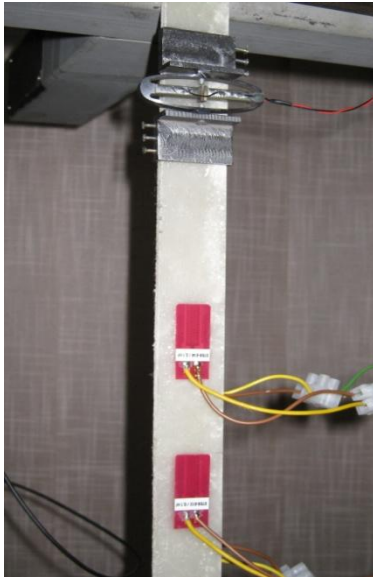
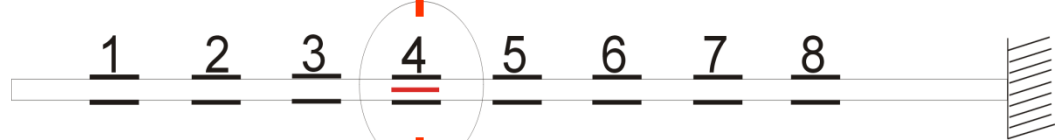
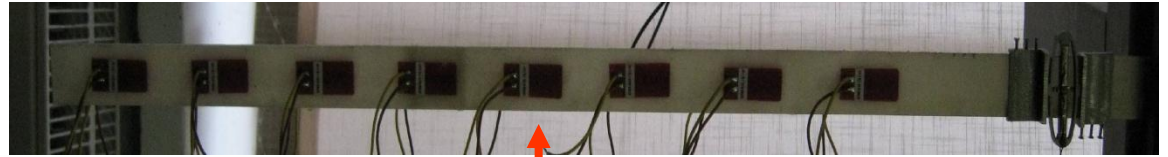


rozległość uszkodzenia:  
5.5 %

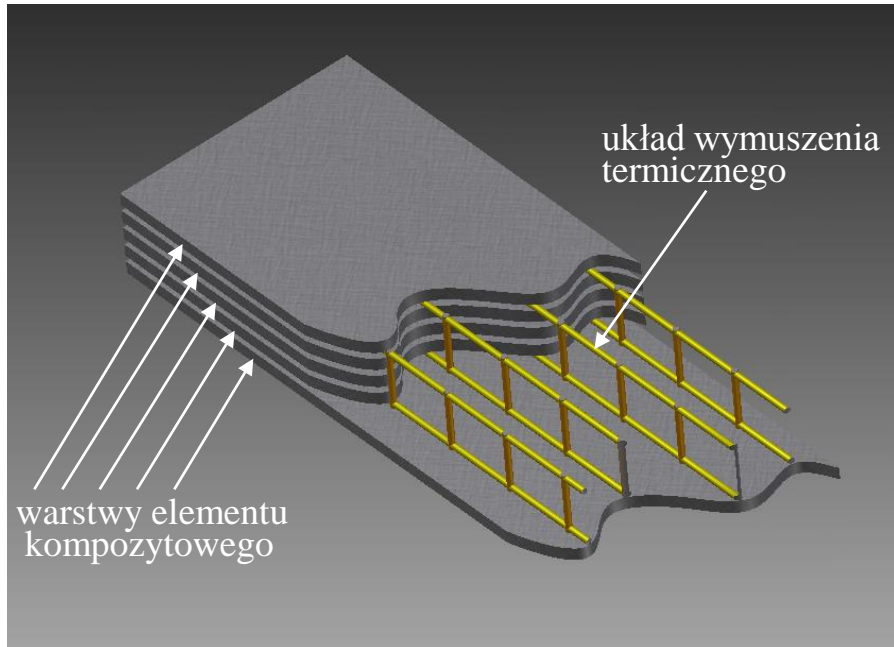
rozległość uszkodzenia:  
25.5 %

rozległość uszkodzenia:  
45.5 %

## Identyfikacja rozwarstwienia w belce utwierdzonej jednostronnie – przykładowe wyniki symulacji numerycznych dla różnych rozmiarów uszkodzenia



**WYNIK BADAŃ  
LABORATORYJNYCH**  
(obszar delaminacji  
odpowiadający 5% długości  
belki)



## Podstawa identyfikacji:

- obserwacja rozkładu temperatury na powierzchni badanego elementu

## Zalety metody:

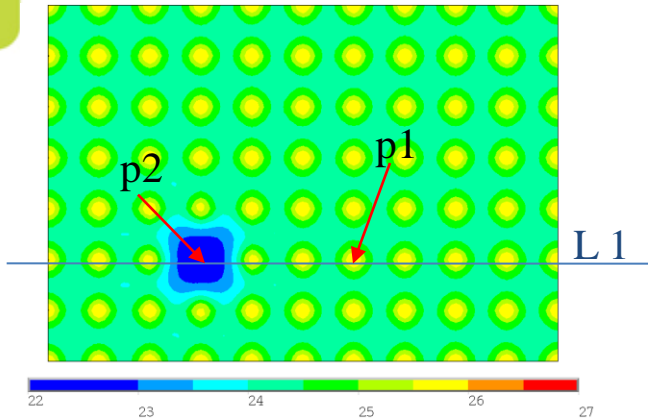
- łatwość interpretacji wyników

## Potencjalne zastosowania:

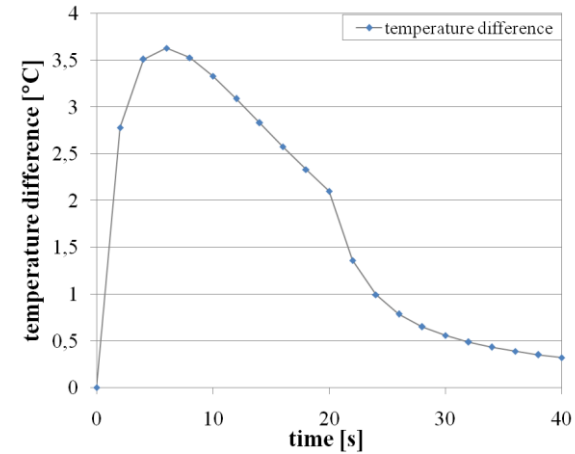
- elementy kompozytowe szczególnie narażone na powstawanie rozwarstwień

Schemat (przykładowy) siatki zintegrowanej z elementem kompozytowym

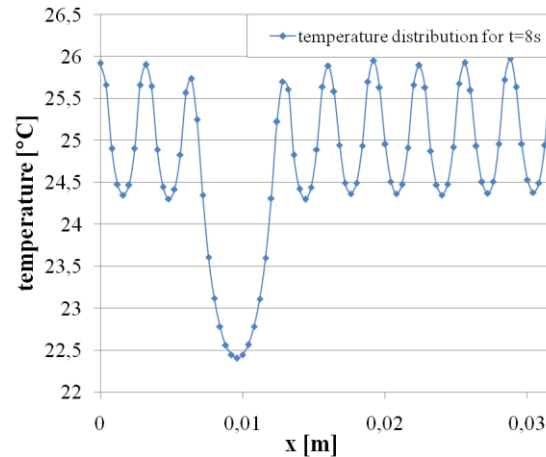
# Wyniki symulacji numerycznych:



Rozkład temperatury na powierzchni elementu kompozytowego

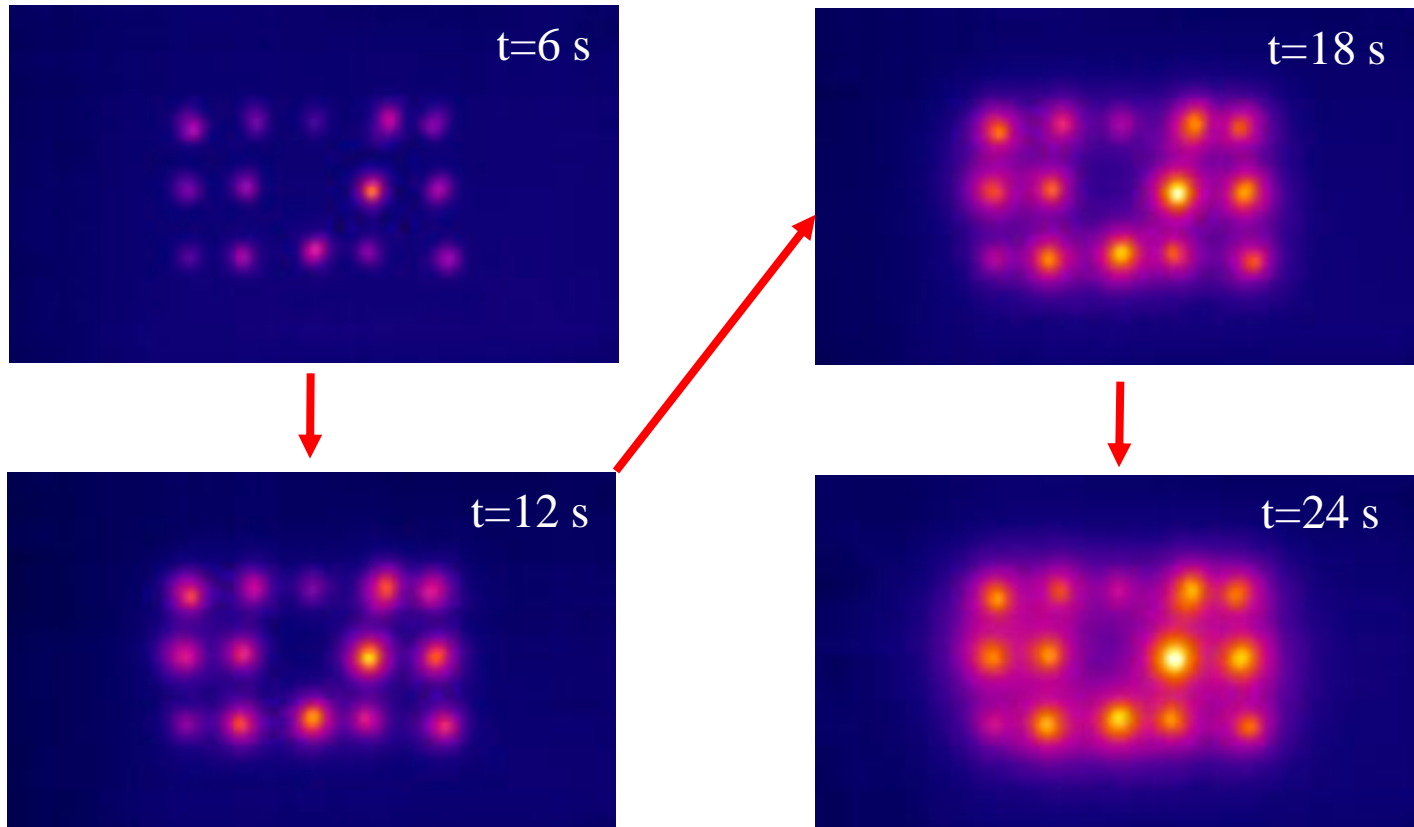


Historia czasowa różnicy temperatur w punktach p1 i p2



Rozkład temperatury wzdłuż linii L1





**Rozkład temperatury na powierzchni elementu kompozytowego ze zintegrowanym obwodem elektrycznym zarejestrowany kamerą termowizyjną**



## Plany działań badawczych prowadzonych w ramach rozwoju technik SHM:

- badanie trójpunktowego zginania belek kompozytowych
- budowa stanowiska do wytwarzania próbek kompozytowych i elementów zintegrowanych metodą infuzji
- budowa demonstratora systemu monitorowania skleiny w krawędzi natarcia skrzydła samolotu CZAJKA (laboratoryjne testy weryfikujące)



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO

