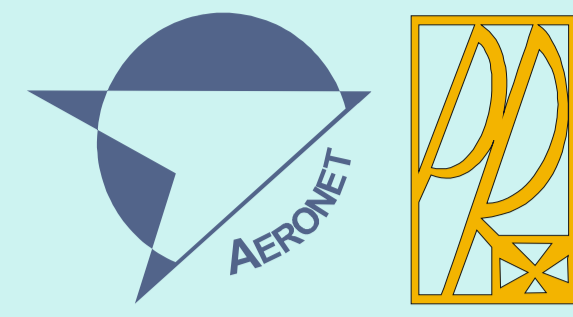


Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry



Konferencja Rady Partnerów RP CZT AERONET
i Konferencja Podsumowująca Projekt PKAERO
30 Listopada- 1 Grudnia 2015

ZB14

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

Tytuł rozwiązania Innowacyjnego
Title of the innovative solution

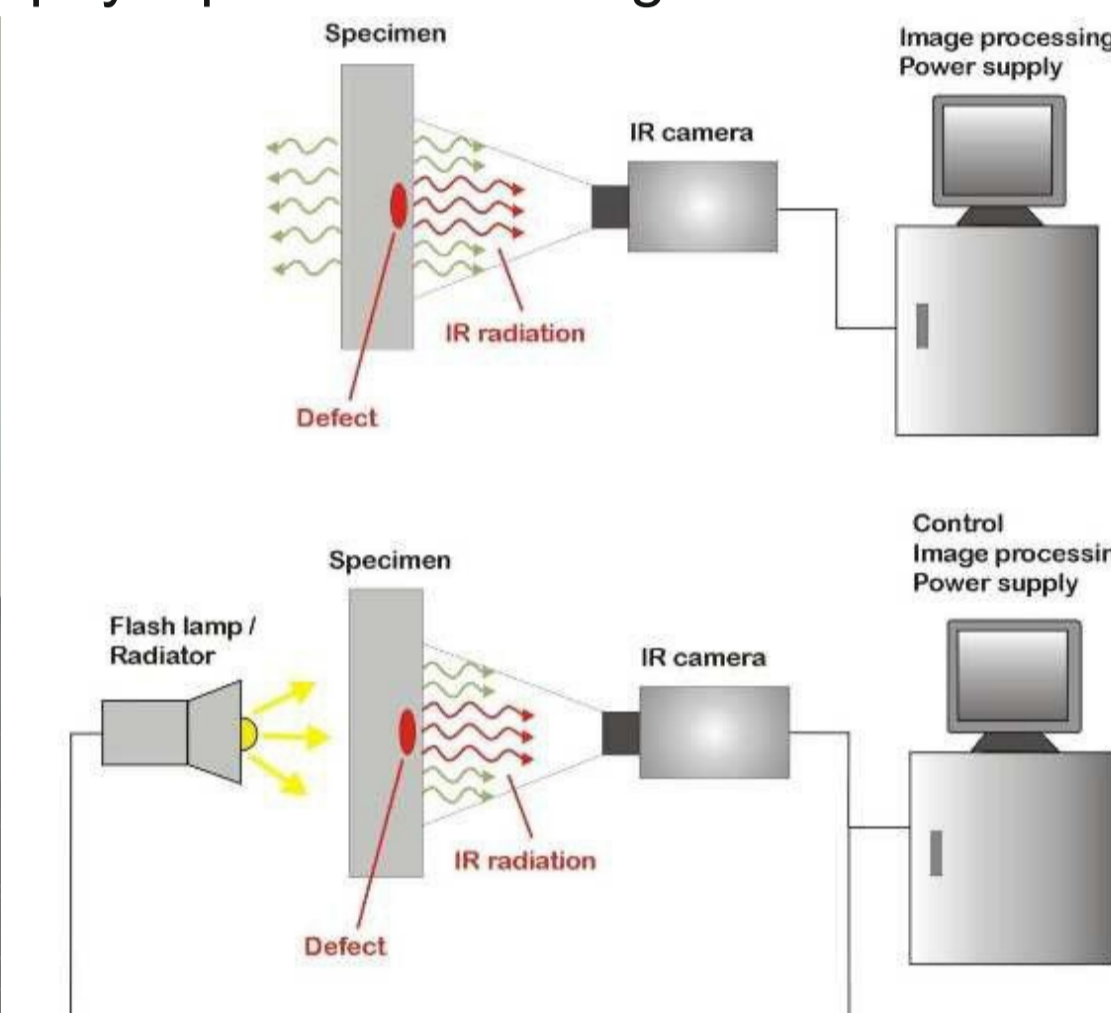
Badania niszczące lotniczych struktur kompozytowych
Non-destructive testing of composite aircraft's structures

Krótki opis rozwiązania
Brief description of the solution

System aktywnej termografii do badań niszczących
Active thermography system for non-destructive testing

W prezentowanej metodzie badań niszczących lotniczych struktur kompozytowych zastosowany został system do aktywnej termografii (Rys. 1) wyposażony w kamerę termowizyjną FLIR SC 6540 oraz zestaw wzбудzeń: generator flash z lampą błyskową o energii błysku 3000J, zestaw lamp halogenowych o mocy 5.2 kW, lampa halogenowa o mocy 2.5 kW, system wzbudzenia ultradźwiękowego (15-25 kHz), wzbudzenie laserowe (CW 32 W, 808 nm), generator prądów wirowych. Idea aktywnej termografii przedstawiona została na Rys. 2.

Presented non-destructive testing method utilizes active thermography system (Fig. 1). The thermography system is equipped with: flash generator (3000J), set of halogen lamps (power 5.2 kW), halogen lamp (power 2.5 kW), ultrasonic excitation module (15-25 kHz), laser excitation module (CW 32 W, 808 nm). An idea of active thermography is presented on Fig. 2.



Rys. 1. System aktywnej termografii do badań niszczących
Fig. 1. Active thermography system for non-destructive testing

Rys. 2. Idea termografii pasywnej i aktywnej
Fig. 2. An idea of passive and active thermography

Wykrywanie uszkodzeń z wykorzystaniem zjawiska propagacji fal sprężystych
Fault detection using elastic wave propagation phenomenon

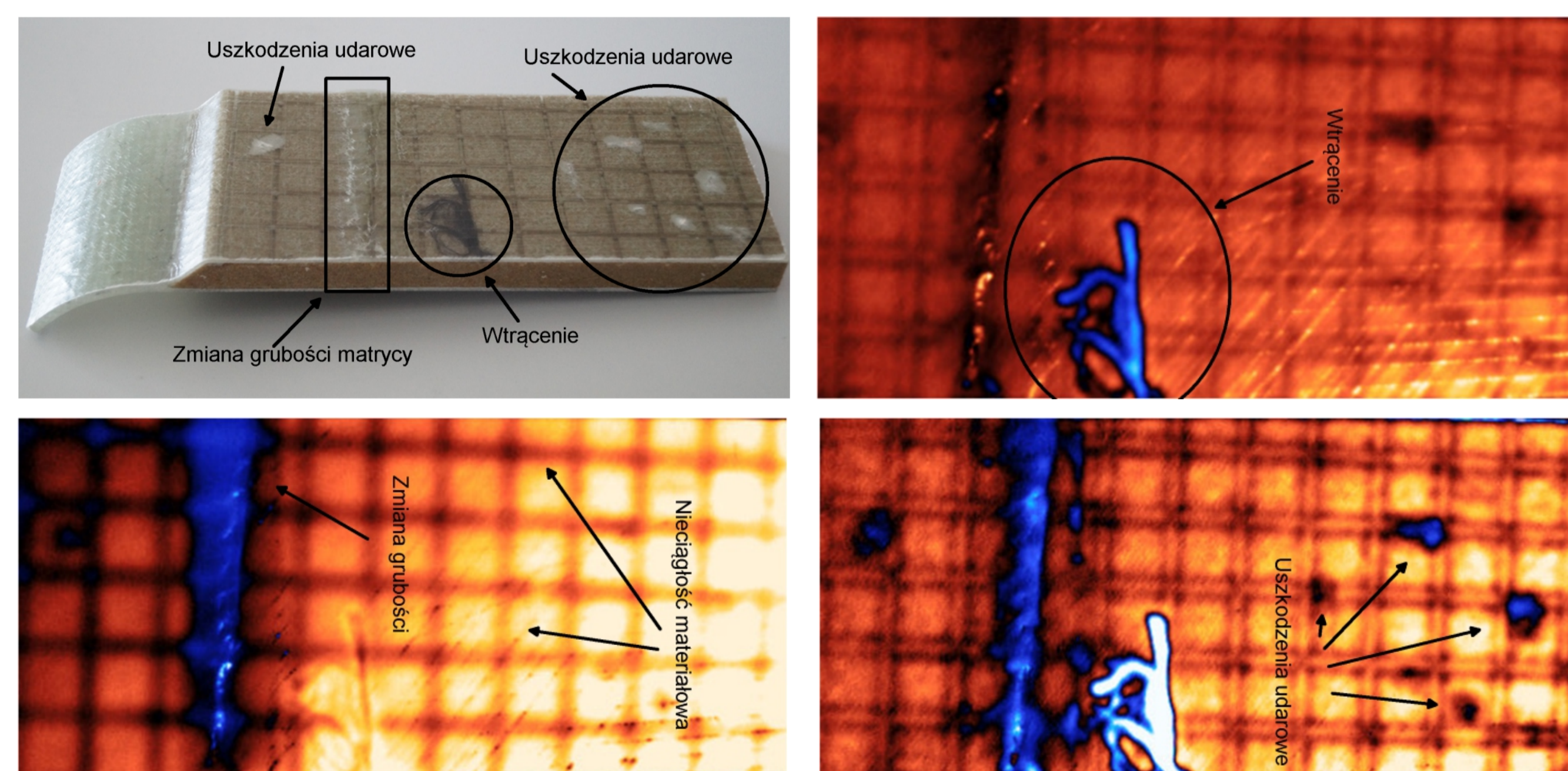
W pomiarach zjawiska propagacji fal sprężystych wykorzystywano dwa podejścia: bezkontaktowy pomiar za pomocą wibrometrii laserowej oraz pomiar za pomocą sieci przetworników piezoelektrycznych zintegrowanych z badanym obiektem (do rejestracji sygnałów wykorzystywano różne systemy akwizycji danych, tj. PAQ 16000D oraz oscyloskop cyfrowy LeCroy). W każdym przypadku testy wymagały wprowadzania wymuszenia w postaci paczki fal. Wykorzystywano w tym celu przetworniki piezoelektryczne Noliac zamocowane do badanego obiektu.

There are two main techniques used for the purpose of elastic wave propagation measurements: non-contact measurements using laser vibrometry and an integrated network of piezoelectric transducers (time signals were captured by two different systems - PAQ 16000D and LeCroy digital oscilloscope). In both cases introduction of excitation wave package was required. Piezoelectric transducers Noliac were used for this purpose.

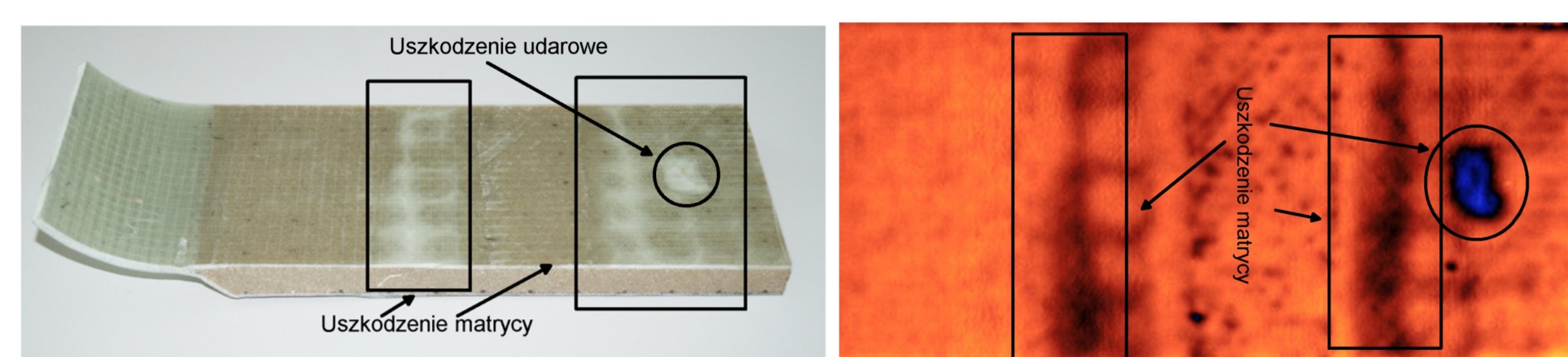


Rys. 3. Aparatura umożliwiająca pomiary propagacji fal sprężystych: a) wibrometr laserowy, b) system PAQ 16000D, c) zestaw z oscyloskopem cyfrowym LeCroy
Fig. 3. Equipment that enable measurement of elastic wave propagation: a) LDV, b) Phased array acquisition system PAQ 16000D, c) digital oscilloscope LeCroy.

Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego
Visualization of the innovative solution

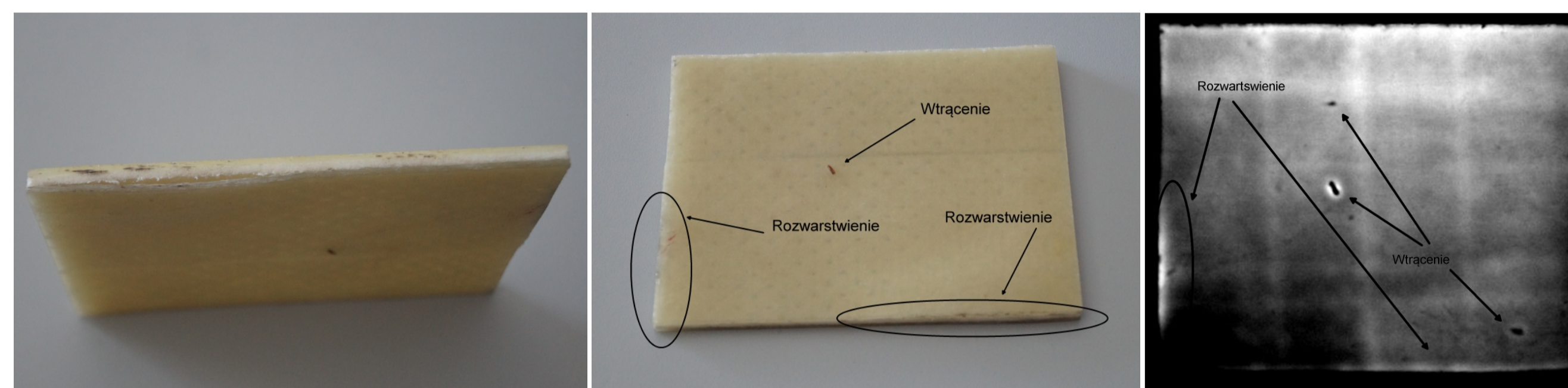


Rys. 4. Kompozyt przekładkowy z uszkodzeniami udarowymi i nieciągłościami oraz wyniki rejestracji i analizy metodą transient.
Fig. 4. Sandwich composite with impact damages and discontinuities and results of transient method measurement and analysis.

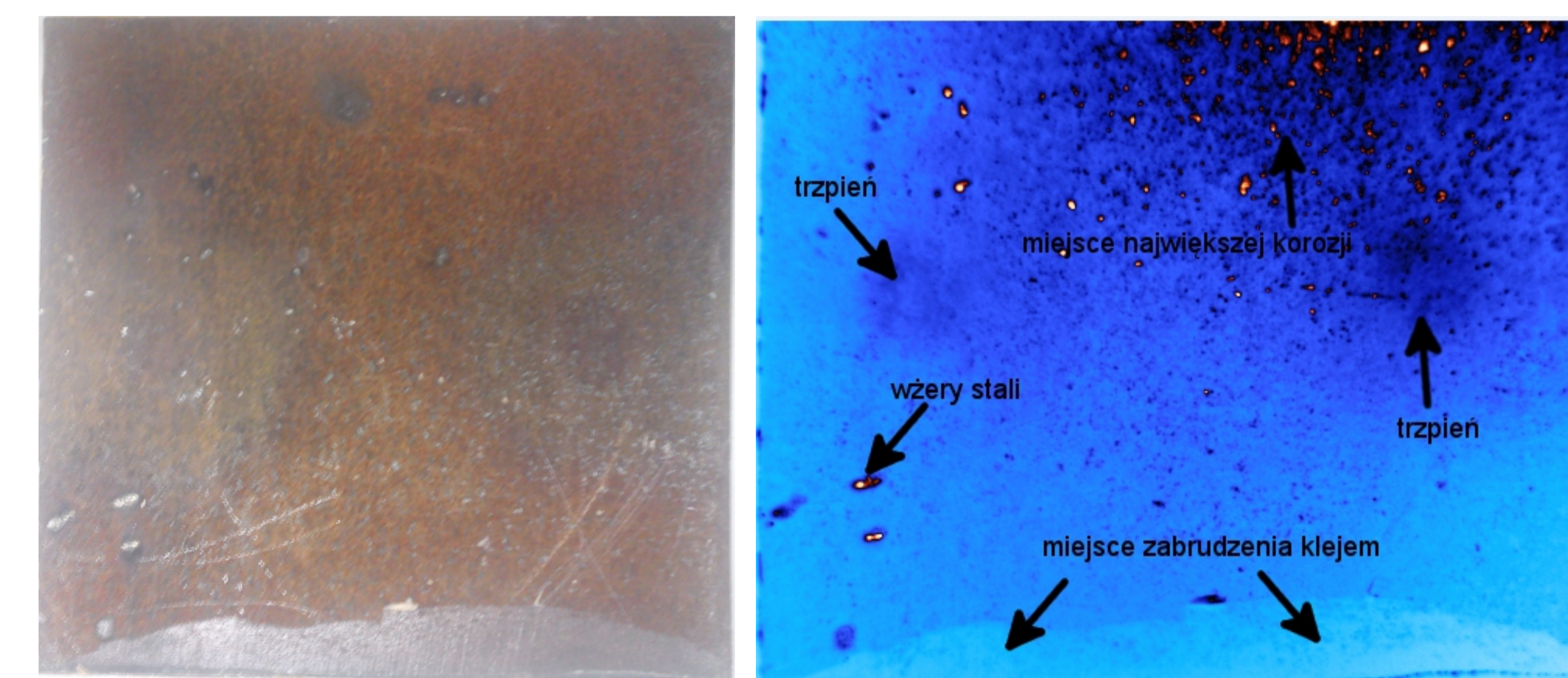


Rys. 5. Kompozyt przekładkowy z uszkodzeniami (matrycy, udarowe) oraz wyniki rejestracji i analizy metodą transient.
Fig. 5. Sandwich composite with impact and matrix damages and results of transient method measurement and analysis

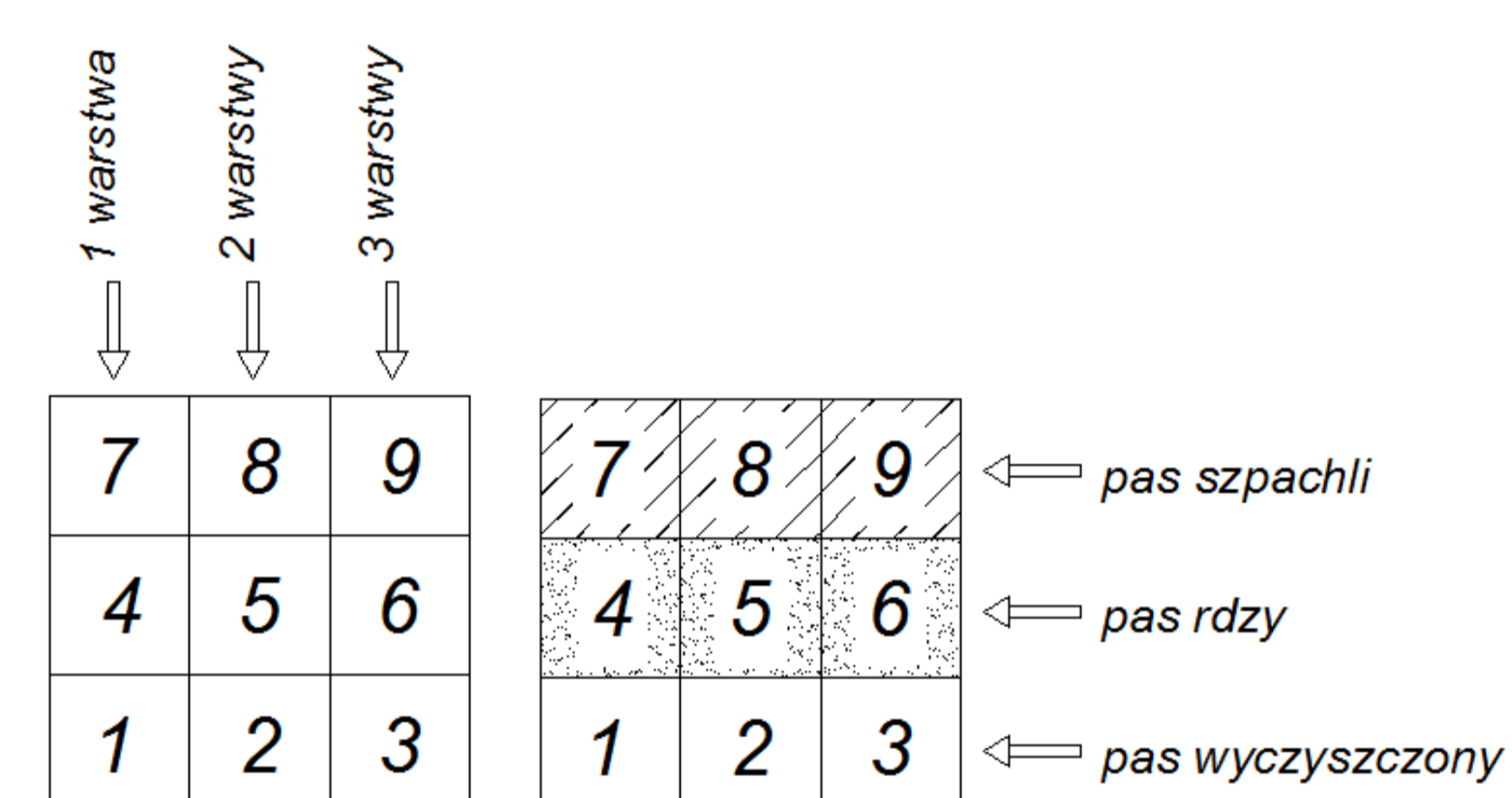
Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego
Visualization of the innovative solution



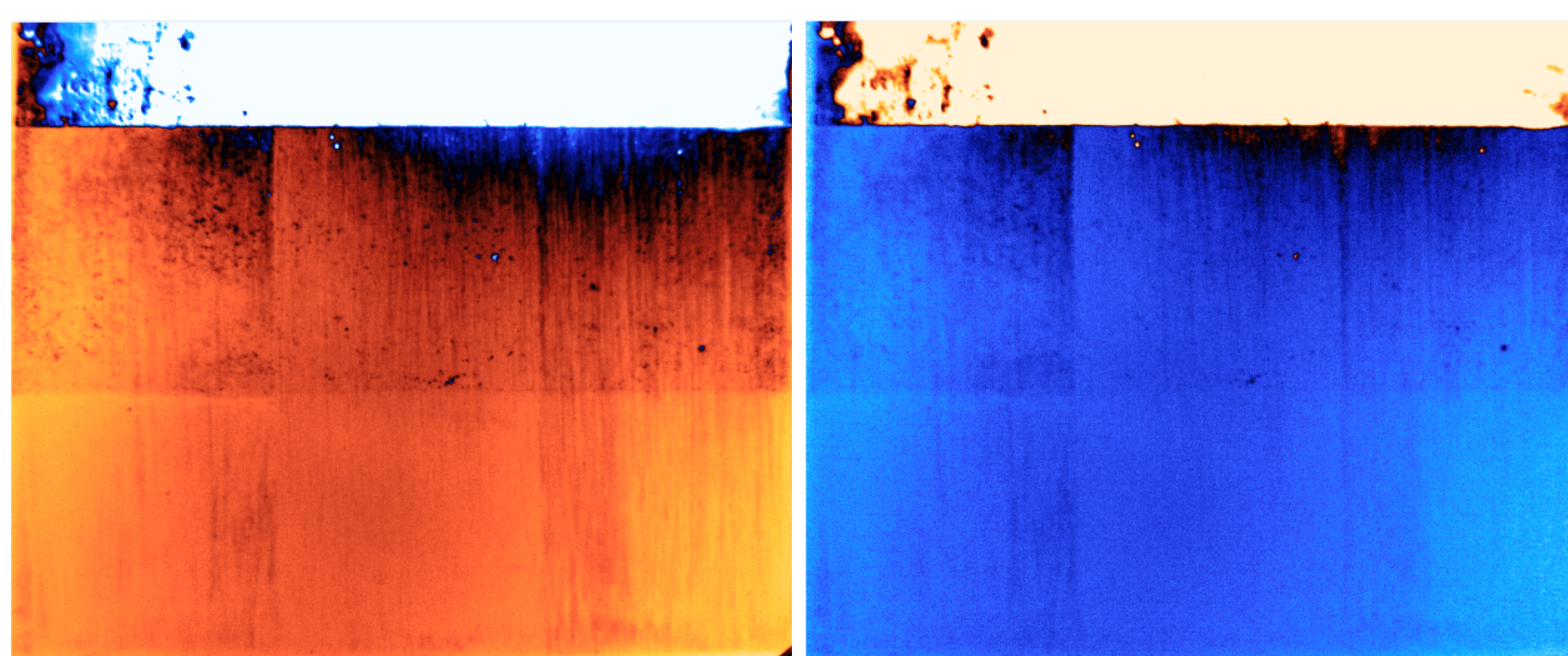
Rys. 6. Kompozyt przekładkowy z rozwarstwieniami i wtrąceniem oraz wynik rejestracji i analizy metodą lock-in
Fig. 6. Sandwich composite with delamination and inclusion and the result of lock-in method measurement and analysis



Rys. 7. Płyta stalowa z korozją oraz wynik rejestracji i analizy metodą pulsed-phase
Fig. 7. Steel plate with corrosion and results of pulsed-phase measurement and analysis

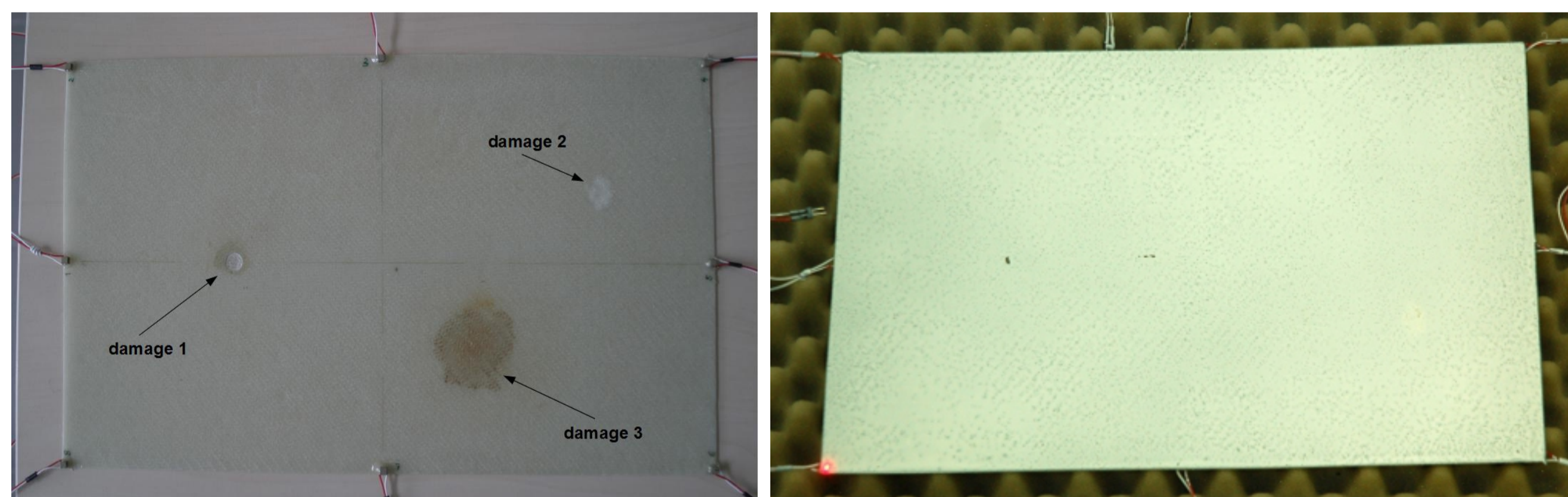


Rys. 8. Próbkę blachy stalowej o zróżnicowanej powłoce powierzchni zewnętrznej (schemat)
Fig. 8. Steel sheet specimen with various surface coating

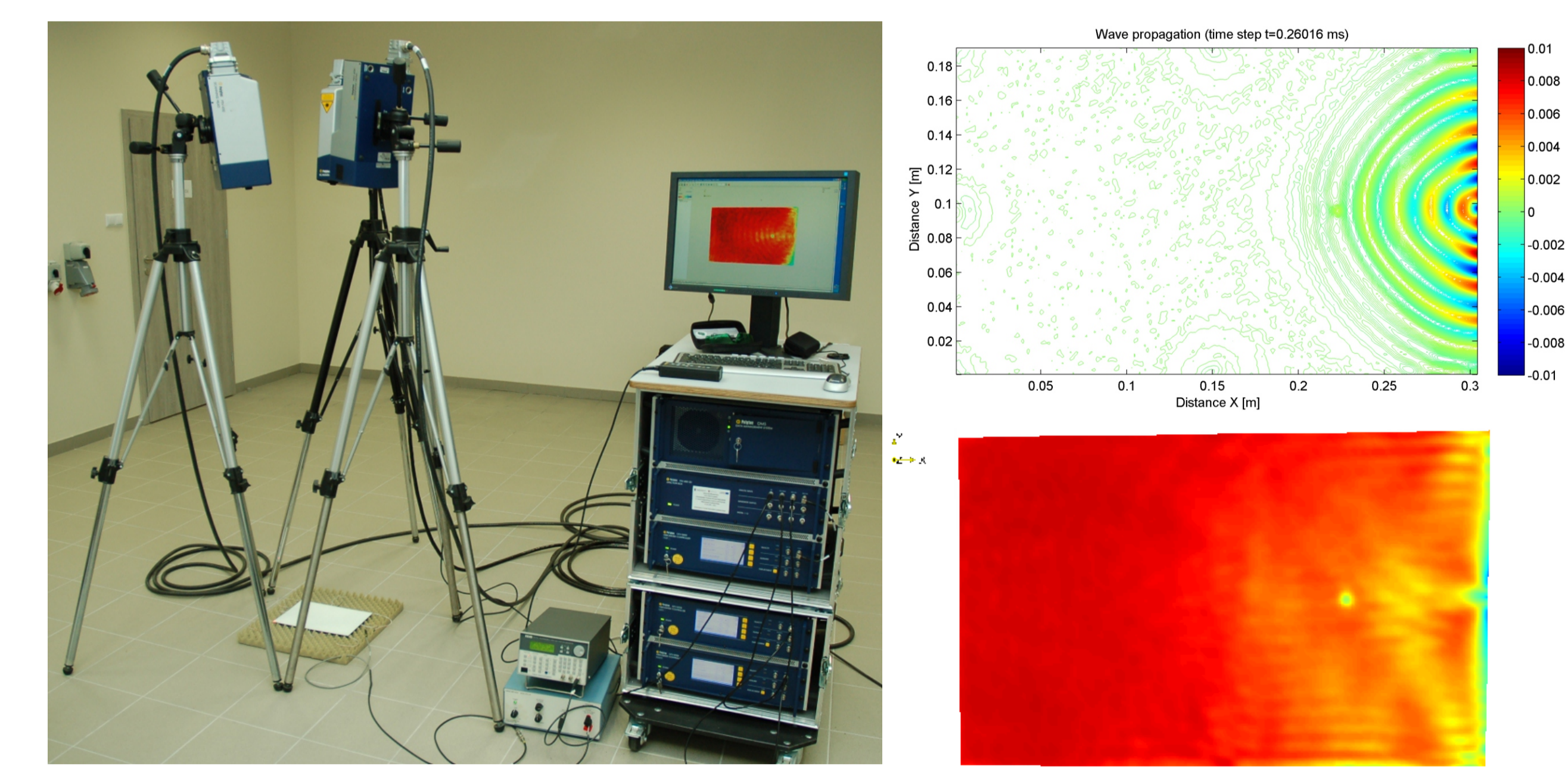


Rys. 9. Wynik rejestracji i przetwarzania metodą transient
Fig. 9. Results of transient method measurement and analysis

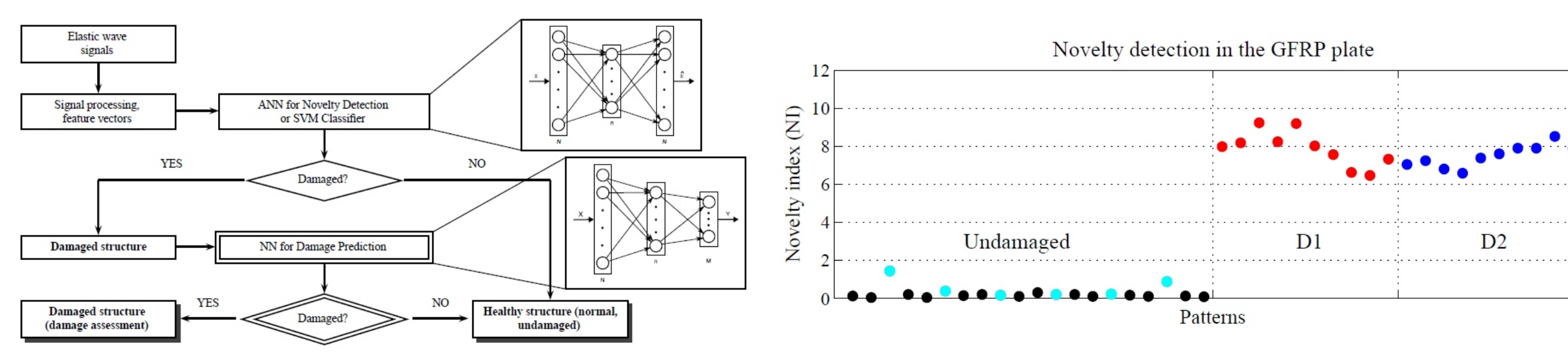
Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego
Visualization of the innovative solution



Rys. 10. Arkusz kompozytu GFRP z uszkodzeniami (przód i tył): 1 - korozja chemiczna - zmiana grubości materiału, 2 - uszkodzenie udarowe - delaminacja, 3 - korozja chemiczna - uszkodzenie powierzchniowe
Fig. 10. GFRP composite sheet with damages (front and back): 1 - chemical corrosion - change of the material thickness, 2 - impact damage - delamination, 3 - chemical corrosion - surface damage



Rys. 11. Laserowy system 3D do bezkontaktowego pomiaru fal sprężystych (Polytec PSV-400-3D), wybrana chwila czasowa oraz mapa wartości skutecznej zarejestrowanych sygnałów fal sprężystych (RMS).
Fig. 11. 3D laser system for the contactless measurement of elastic waves propagation (Polytec PSV-400-3D), selected time step and map of the effective value of the recorded signals of elastic waves (RMS).



Rys. 12. Schemat działania systemu diagnostycznego oraz obliczone wartości indeksu uszkodzenia w płycie GFRP.
Fig. 12. Scheme of damage detection and evaluation system and novelty index (NI) calculated for the patterns considered in the GFRP plate.

Zalety i ograniczenia rozwiązania innowacyjnego
Advantages and restrictions of innovative solution

Przydatności aktywnej termografii została potwierdzona w następujących zadaniach:

- detekcja i lokalizacja typowych uszkodzeń w materiałach kompozytowych (dalaminacje, rozwarstwienia, uszkodzenia udarowe, termiczne),
- ocena jakości materiałów kompozytowych (wykrywanie nieciągłości, wtrąceń w postaci pęcherzy powietrza, wody),
- ocena stanu powierzchni metalowych (lokalizacja ognisk korozji, uszkodzeń powłok zabezpieczających).

Zastosowanie metody wymaga:

- przygotowania powierzchni anizowanego elementu (wylimowanie odbić, ujednolicenie emisyjności rozpatrywanej powierzchni),
- doświadczenia w zakresie doboru metody rejestracji i przetwarzania oraz parametrów sygnałów wymuszenia.

The suitability of active thermography was proved in case of:

- detection and localization typical for composite material damages (delaminations, separation, impact damage, thermal damage),
- quality evaluation of produced composite materials (detection of voids, discontinuities, inclusions),
- evaluation of metallic surface state (localization of corrosion centres, damages of painting coatings).

Application of active thermography method requires:

- surface preparation of analysed element (elimination of reflections, unification of surface emissivity),
- experience in selection of measurement and processing method and specification of parameters of excitation signals.

Wibrometria laserowa oraz zjawisko propagacji fal sprężystych:

- umożliwia wykrywanie uszkodzeń we wczesnym ich stadium,
- wymaga zwykle modelu referencyjnego konstrukcji bez uszkodzenia,
- w zadaniach identyfikacji uszkodzeń (jego położenia, typu i wielkości) wymaga przygotowania odpowiedniej bazy wzorców do trenowania systemu diagnostycznego,
- pozwała przeprowadzać diagnostykę konstrukcji okresowo lub w czasie rzeczywistym.

Zastosowanie skanujących wibrometrów laserowych pozwala ponadto na przeprowadzenie pomiarów bezdotykowych oraz wizualizację zachodzących w obiekcie zjawisk. W badaniach tych należy zadbać o dobrą jakość wiązki lasera odbitej od badanego obiektu, co wymagać może zastosowania papieru odbłaskowego, lakierów lub mikrogranulek szklanych.

Laser Doppler Vibrometry and phenomenon of elastic wave propagation:

- allow detection of damages at their incipient stage,
- it usually requires a reference model of structure without damage,
- damage identification task (its location, type and size) requires the preparation of pattern database in order to train diagnostic system,
- allow to perform diagnostics structures both periodically and in real time.

The application of scanning laser vibrometer allows performing non-contact measurement and visualization of phenomena occurring in the object under investigation. In these studies, the need to ensure good quality of the laser beam reflected from the object may require the use of reflective paper, painting coatings or glass microbeads.

Możliwe zastosowania w lotnictwie i innych gałęziach gospodarki
Examples of application in aviation and other branches

Zastosowania systemu aktywnej termografii:

- Ocena stanu kompozytowych elementów konstrukcyjnych.
- Ocena stanu kompozytowego poszycia samolotów.
- Ocena stanu powierzchni elementów metalowych.
- Kontrola jakości wytwarzanych materiałów kompozytowych.

Active thermography system application:

- Evaluation of composite structural elements state.
- Evaluation of composite sheathing.
- Evaluation of surface of metallic elements.
- Quality evaluation of newly produced composite materials.

Zastosowania wibrometrii laserowej oraz zjawiska propagacji fal sprężystych:

- Monitorowanie stanu elementów konstrukcji oraz poszycia samolotów.
- Wykrywanie oraz identyfikacja uszkodzeń (pęknięć, dalaminacji, udarowych, itp.).
- Wizualizacja i analiza drgań konstrukcji (amplituda, częstotliwość, forma).
- Diagnostyka maszyn i urządzeń.
- Testy jakościowe w procesach produkcji.

Laser Doppler Vibrometry and phenomenon of elastic wave propagation applications:

- Structural Health Monitoring of structures and airplane sheathing.
- Novelty detection and damage identification (cracks, delaminations, impacts, etc.).
- Visualization and analysis of structural vibrations (amplitude, frequency, form).
- Diagnostics of machines and equipment.
- Qualitative tests in production processes.

Oferta dla przemysłu
The offer for industry

- Pomiary i analiza drgań konstrukcji za pomocą czujników przyspieszeń (jedno i trójosiowych) oraz metod bezkontaktowych (wibrometrem laserowym 1D lub 3D) z wykorzystaniem wzбудnika drgań.
- Badania zmęczeniowe.
- Ocena szkodliwości drań.
- Badania doświadczalne wspomagane symulacjami numerycznymi (MES) z zastosowaniem profesjonalnego oprogramowania.
- Badania elementów, w tym kompozytowych, pozwalające określić ich stan oraz ewentualne uszkodzenia, nieciągłości, wtrącenia i różnego rodzaju wady wykorzystując różne metody (w tym m. in. metody termografii aktywnej i pasywnej oraz zaawansowaną analizę obrazu).
- Rejestracja i analiza zjawisk zachodzących w badanych elementach podczas pracy pod obciążeniem oraz przed, w trakcie i po ich zniszczeniu. Możliwość rejestracji zarówno powolnych jak i bardzo szybkich zmian pola odczłateń w badanym elemencie i ilościowego opisu procesów zachodzące w badanych elementach.

- Measurement and analysis of structural vibration using acceleration sensors (one directional and thraxial) and non-contact methods (laser vibrometer 1D and 3D) with a vibration shaker.
- Fatigue tests.
- Evaluation of the vibration harmfulness.
- Experimental studies supported by numerical simulations (FEM) using professional software.
- Investigation of elements, including composites, allowing determination of their state and possible damages, discontinuities, inclusions and various types of defects using different methods (including methods of active and passive thermography and advanced image analysis).
- Recording and analysis of phenomena occurring in the studied elements working under load and before, during and after their destruction. It is possible to register both slow and very rapid changes in the field of deformation of element tested and a quantitative description of processes occurring in the studied elements.