

# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

## Modern material technologies in aerospace industry

### Metaliczne materiały kompozytowe w aplikacjach lotniczych (w tym materiały typu Glare)

#### Composite metallic materials in aviation applications (including Glare-type materials)

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

#### Wyniki badań Results

**Demonstrator konstrukcji 'inteligentnej' z wykorzystaniem sieci czujników i autonomicznych metod przetwarzania danych.**

**Demonstrator of 'smart' structure with the use of autonomous sensor networks and data processing methods.**

Wykonano badania na opracowanym demonstratorze pod kątem wykrywania uszkodzeń z wykorzystaniem struktury zintegrowanych czujników PZT. Wykonano badania czułości i stabilności generacji i rejestracji danych w czasie dla zmiennych warunków wymuszeń (w trakcie).

Opracowany demonstrator technologii jest elementem płytowym o wymiarach 900 x 460 x 1.8 mm zawierającym 8 adhezyjnie związanych z powierzchnią kształtowników omegowych. W płaszczyźnie symetrii struktury zabudowano łącznie 32 przetworniki PZT. Pojedynczy przetwornik ma kształt dysku o średnicy 5 mm i grubości 0,4 mm.

1. Demonstrator of 'smart' structure with the use of autonomous sensor networks and data processing methods was developed and manufactured
2. Tests developed on demonstrator for detecting defects using PZT integrated sensors were performed
3. Investigations of sensitivity and stability generation and recording of data in time for the changing conditions of extortion (in progress).

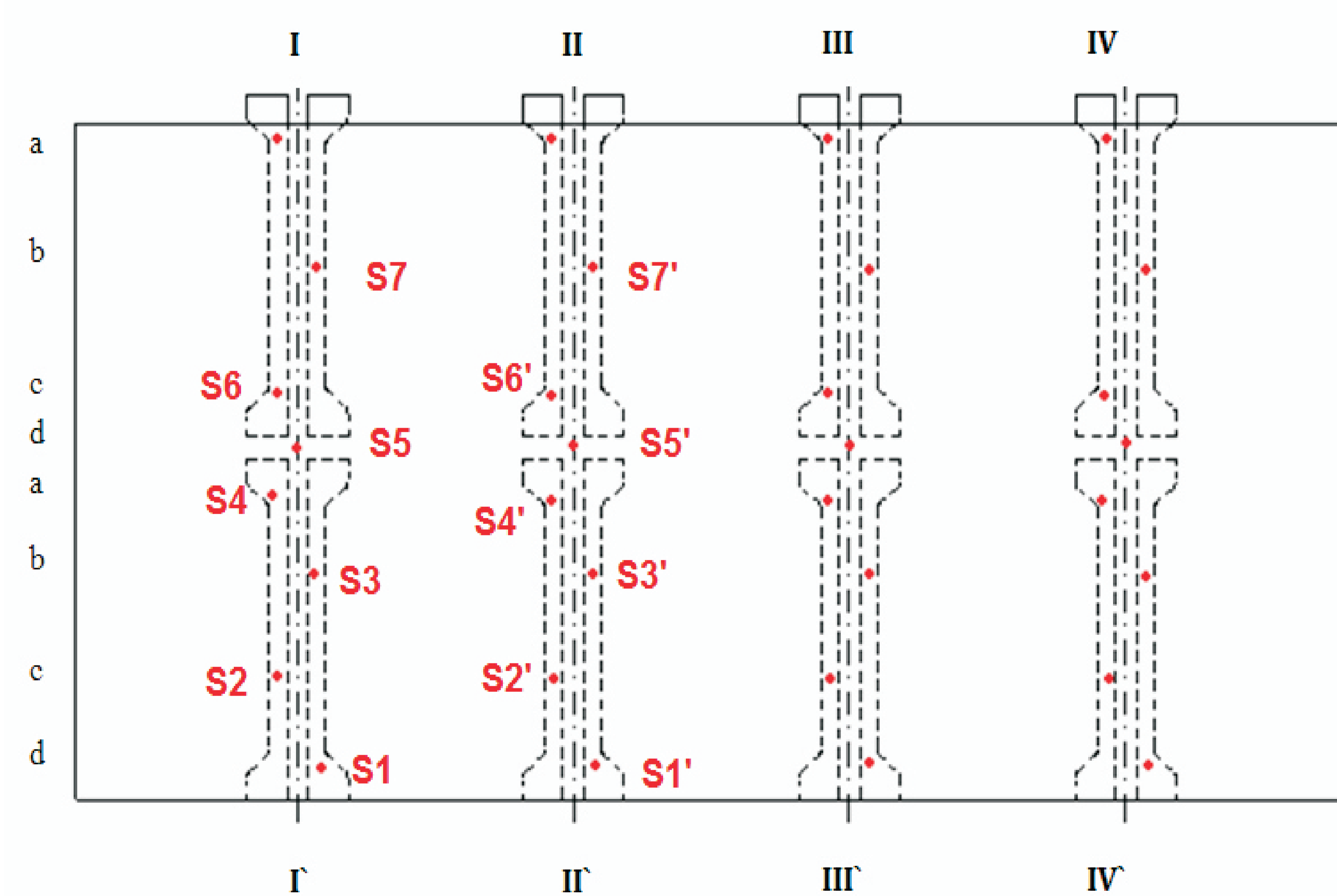
Developed demonstrator of technology is part of a plate with the dimensions 900 x 460 x 1.8 mm containing 8 adhesively connected to the surface sections. In the plane of structure symmetry were built over a total of 32 PZT transducers. A single transmitter has a disk shape with a diameter of 5 mm and a thickness of 0.4 mm.



Rys.1. Sposób rozmieszczenia przetworników PZT w strukturze  
Fig.1. Distribution of the PZT transducers in structure

Element płytowy demonstratora wykonano z 16 warstw prepregu epoksydowo-szklanego firmy Heatcon, HCS2401-015 o splocie satynowym. Element płytowy z rozmieszczonymi przetwornikami PZT poddany został obróbce ciśnieniowo – cieplnej w autoklawie.

Demonstrator element is made of 16 layers of glass epoxy prepreg (Heatcon, HCS2401-015 satin weave). The plate element with spaced PZT transducers was made in an autoclave.



Rys.2. Schemat demonstratora technologii z numeracją wykorzystanych w doświadczeniu przetworników  
Fig.2. Technology demonstrator scheme with Transmitters numbering used in the experiment

Demonstrator poddano testom uderowym. W strefie zrzutu zamontowano na powierzchni demonstratora sieć 8 wielowarstwowych przetworników PZT. Sygnały generowano za pomocą sieci czujników PZT bezpośrednio przed każdym uderzeniem oraz tuż po nim. Po przeprowadzeniu pomiarów wykonano badania nieniszczące (NDT) w celu zobrazowania uszkodzeń oraz określenia ich rozmiaru. Badania NDT zostały wykonane z wykorzystaniem następujących metod:

- metoda termografii impulsowej (TT);
- metoda ultradźwiękowa (UT).

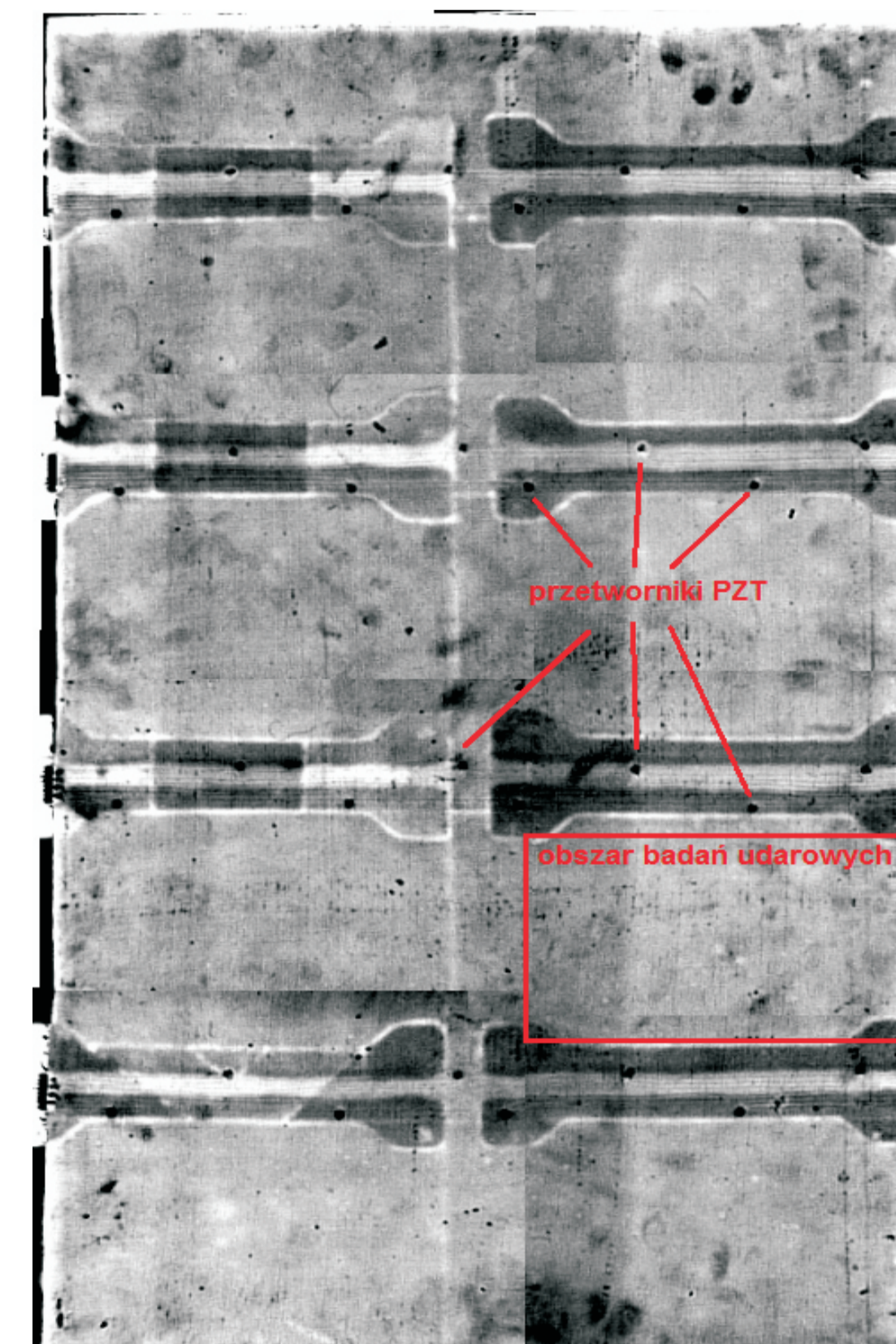
Demonstrator was subjected to impact. In the drop zone on the surface of a demonstrator network of 8 multi-layer PZT transducers was installed. The signals generated using the PZT sensor networks immediately before each stroke and immediately after it. After the measurements non-destructive testing (NDT) were performed in order to illustrate the damage and determine their size. NDT were made using the following methods:

- pulsed thermography (TT);
- ultrasonic method (UT).

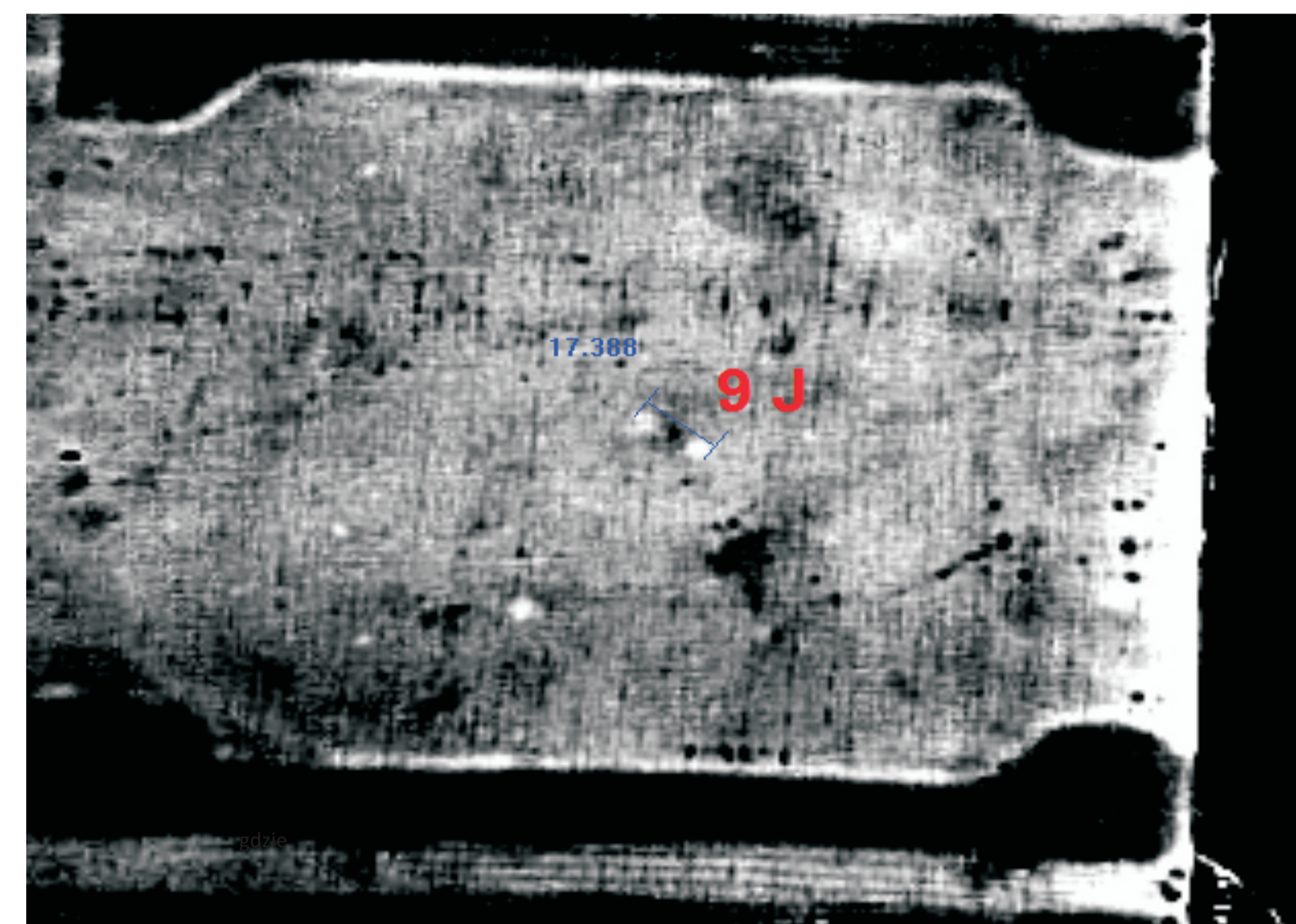
#### Wyniki badań Results



Rys.3. Widok demonstratora technologii z zaznaczeniem lokalizacji uderzeń oraz przetworników obu sieci (kolor zielony – przetworniki wbudowane w strukturę kompozytu, kolor czerwony – przetworniki umocowane na powierzchni demonstratora)  
Fig.3. Demonstrator with impact localization and PZT (green - embedded in structure, red - mounted on the surface)



Rys.4. Termogram demonstratora technologii  
Fig.4. Thermography testing of demonstrator

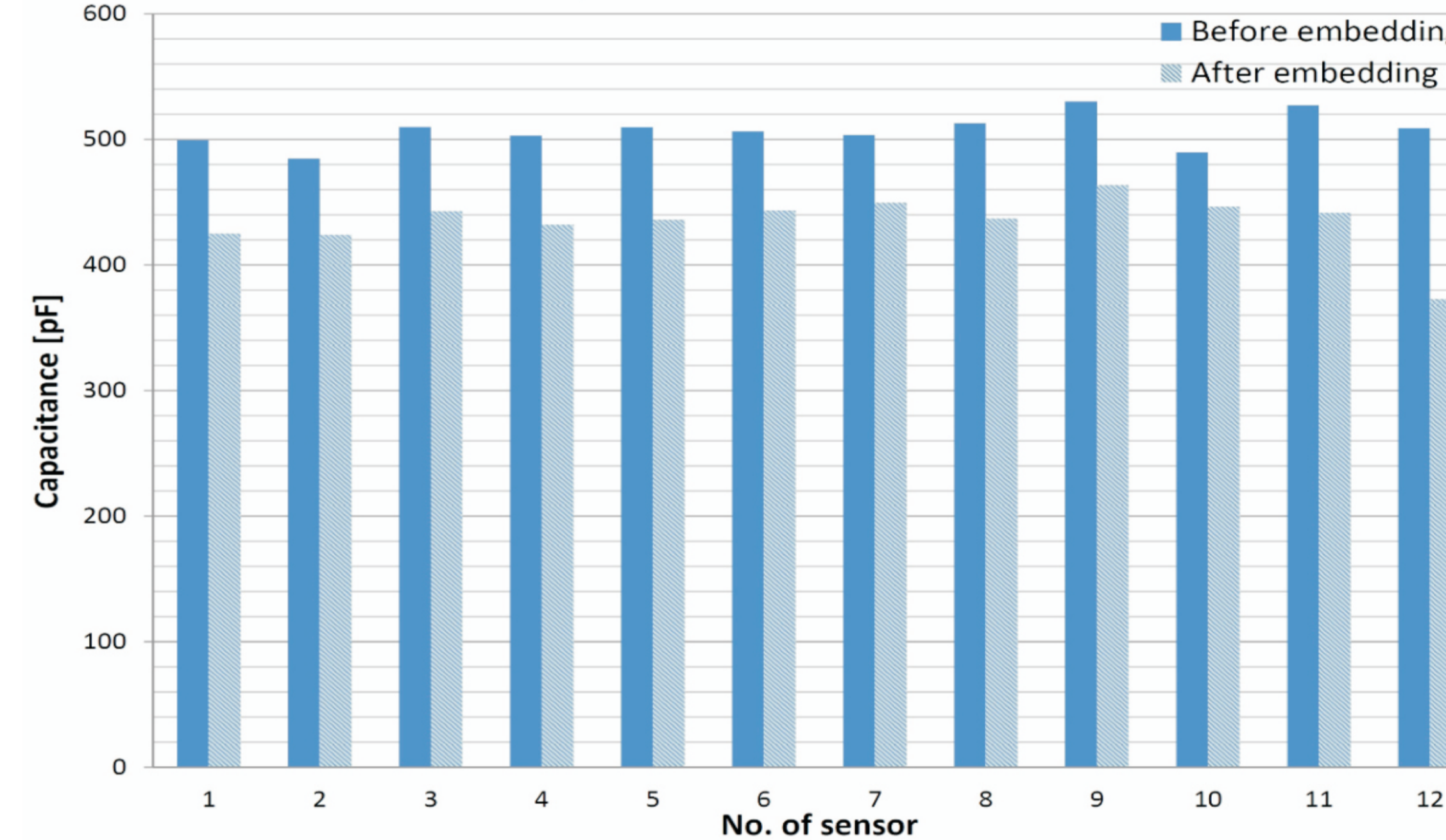


Rys.5. Powiększenie termogramu w obszarze badań uderowych z zaznaczeniem rozmiaru i lokalizacji uszkodzenia pochodzącego od uderzenia o energii 9 J (wymiaru podane w milimetrach)  
Fig.5. Enlarged thermogram in the area of 9J impact indicating the size and location of the damage (dimensions in millimeters)

W ramach przeprowadzonych prac, zbadano wpływ procesu wytwarzania inteligentnych struktur kompozytowych na wybrane parametry przetworników PZT. Jednym z analizowanych parametrów jest pojemność elektryczna przetworników.

As part of the work, the effect of manufacturing process of composite intelligent structures on selected parameters of PZT transducers was investigated. One of the parameters analyzed is the electrical capacitance transmitters.

#### Static capacitance of PZT sensors

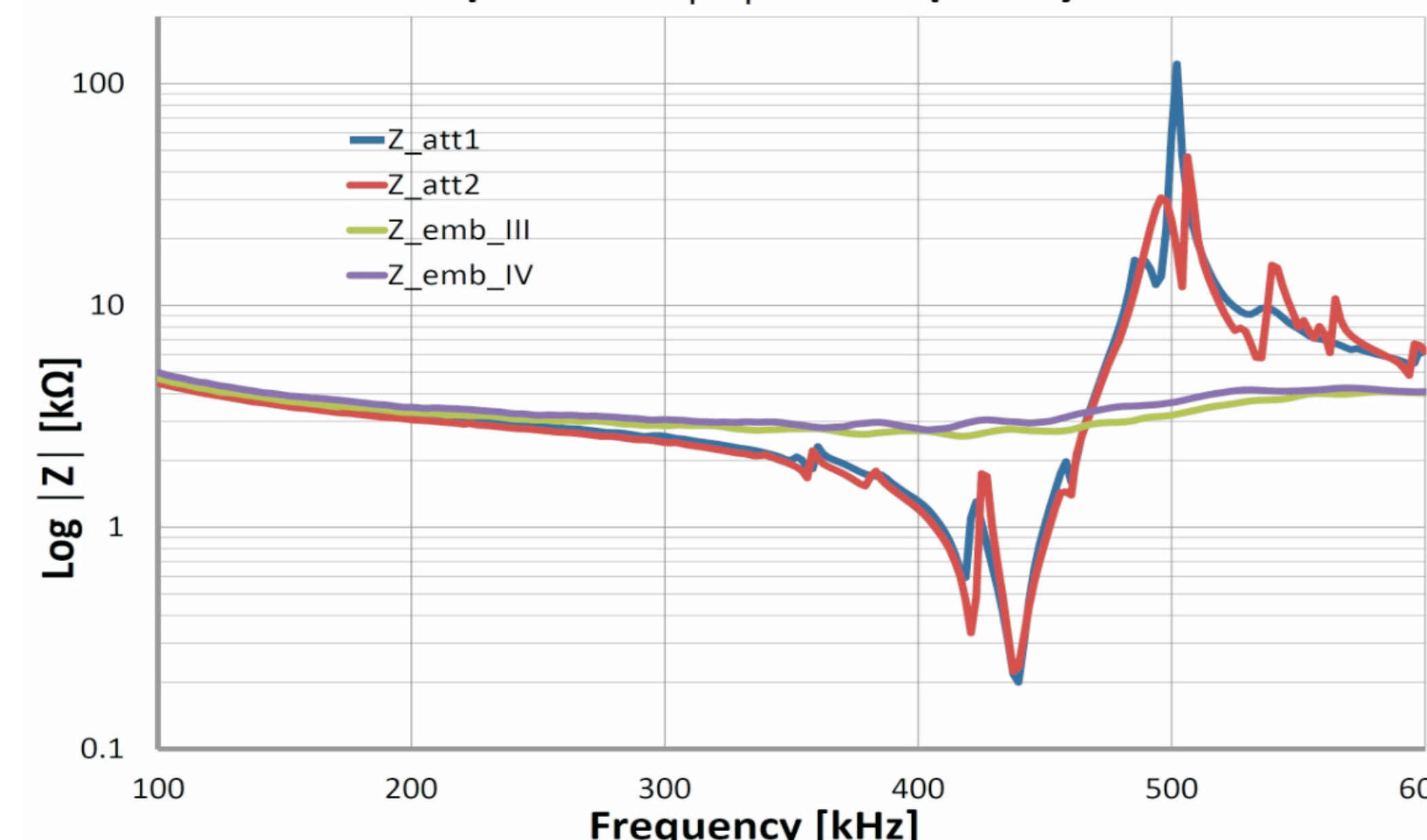


Rys.6. Pojemność elektryczna przetworników PZT  
Fig.6. Electrical capacitance of PZT transducers

Odnotowano spadek pojemności rzędu 10 – 14 % w trakcie tego procesu. Zmiana pojemności może być spowodowana ekspozycją materiału piezoelektrycznego na wysokie temperatury i ciśnienie, zmianą geometrii przetwornika lub wpływem innych czynników związanych z wbudowaniem przetworników w strukturę laminatu. Wykonano również pomiary spektralne impedancji w szerokim zakresie częstotliwości.

There has been a decrease in capacity of 10 - 14% during this process. The capacitance change may be caused by exposure of the piezoelectric material to high temperatures and pressure, transducer geometry change or influence of other factors associated with embedding sensors in a composite structure. Spectral measurements of impedance in a wide frequency range were also performed.

#### Impedance |Z| vs Frequency



Rys.7. Spektrum impedancji przetworników PZT przed i po procesie wytwarzania struktury  
Fig.7. Impedance spectrum of PZT transducers before and after the process of manufacturing a structure

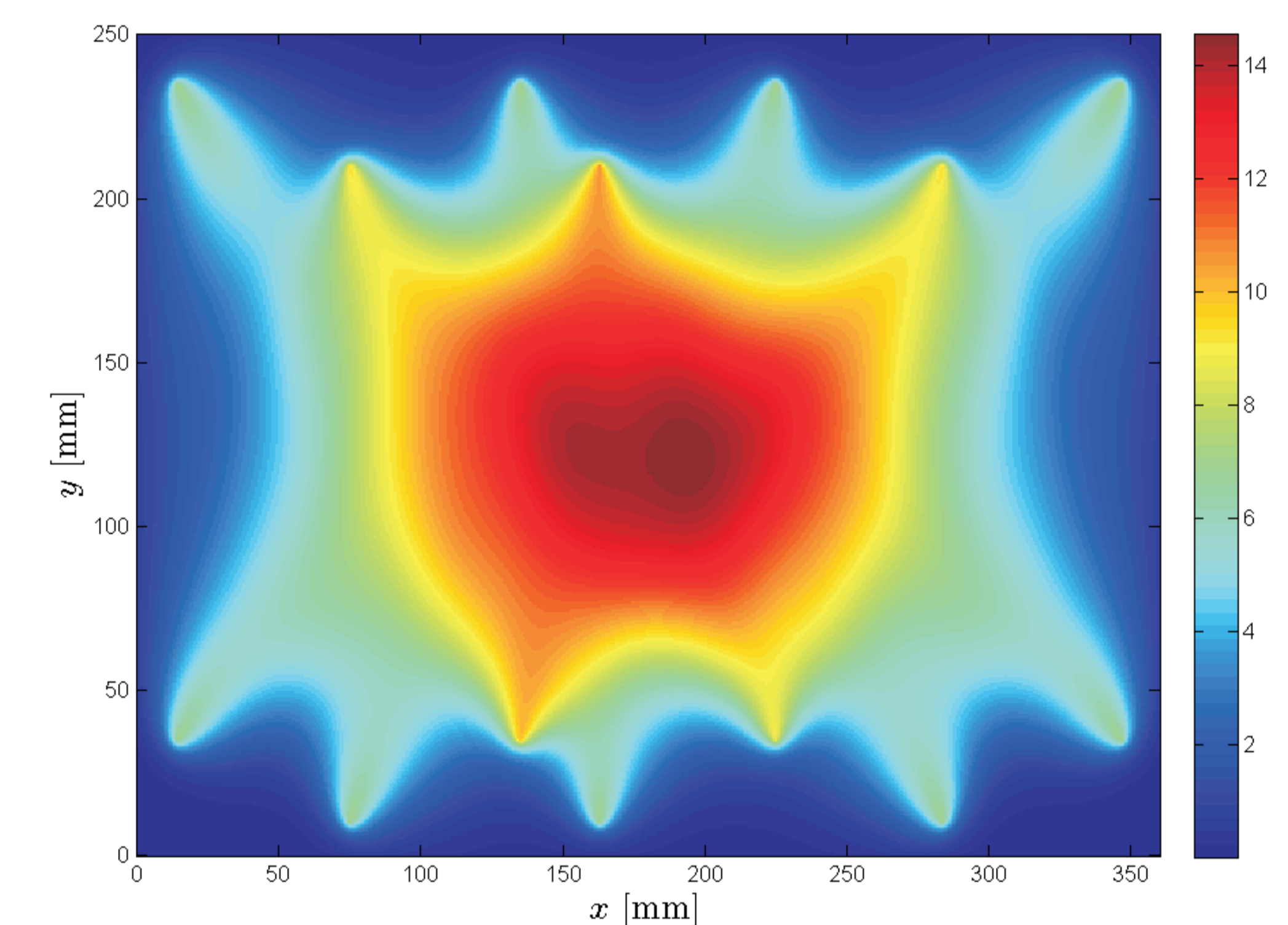
#### Wyniki badań Results

W ramach badań przeprowadzonych w roku 2014 zaproponowano znormalizowaną postać funkcji intensywności uszkodzeń:

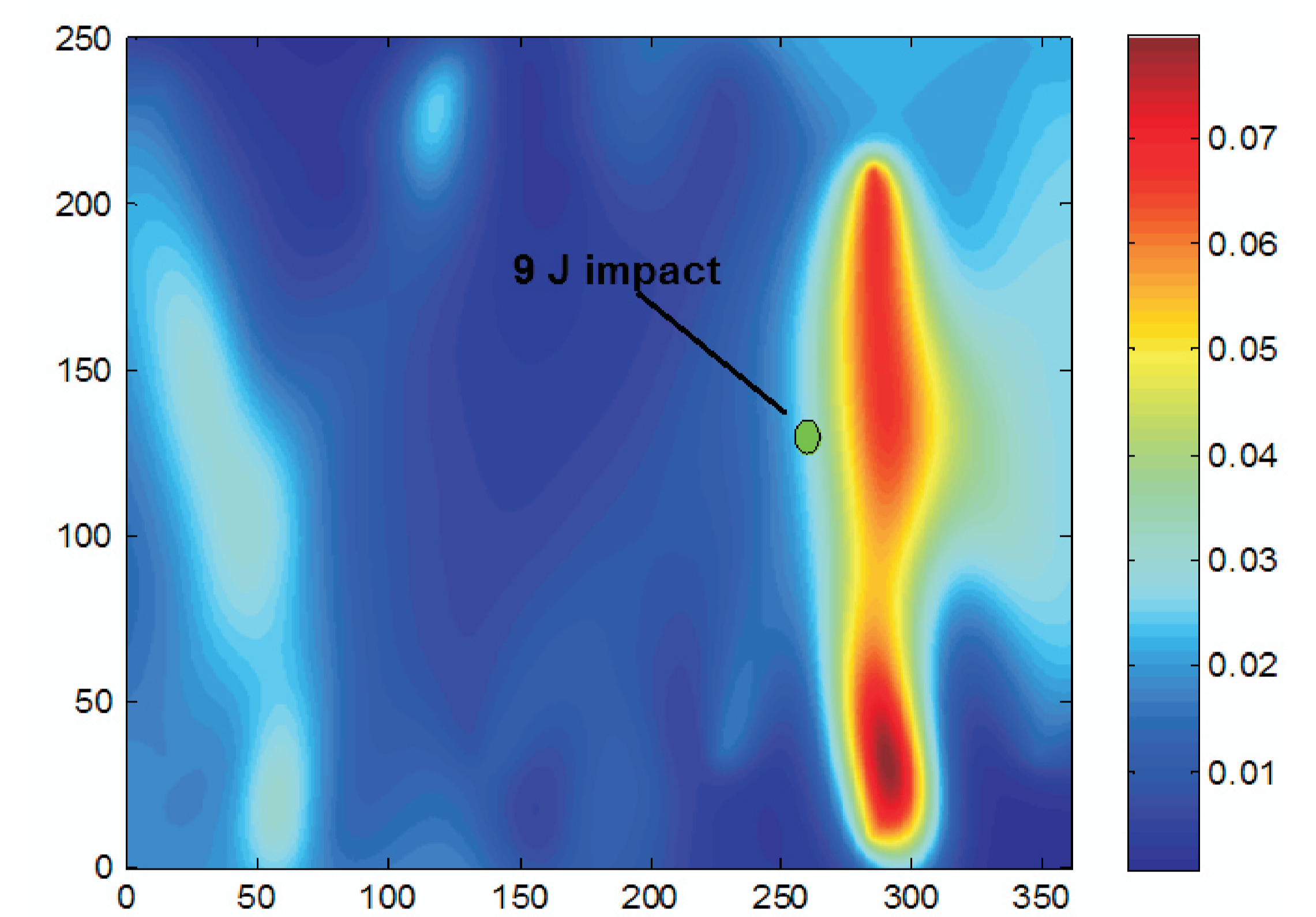
$$I(p) = \frac{1}{N(p)} \sum_{g \rightarrow s} DI(g, s) R_{gs}(p)$$

gdzie  
where

$$N(p) = \sum_{g \rightarrow s} R_{gs}(p)$$



Rys.8. Funkcja normalizacyjna N dla sieci PZT wbudowanej w strukturę demonstratora  
Fig.8. The standardization function N for the network of PZT embedded into the structure of demonstrator



Rys.9. Znormalizowana mapa intensywności uszkodzeń po uderzeniu o energii 9 J dla 8-okresowego sygnału wymuszenia o częstotliwości 250 kHz  
Fig.9. The normalized intensity map of damage after impact with an energy of 9 J for 8-periodic signal with a 250 kHz frequency

#### Wnioski Conclusions

1. Opracowano technologię wytwarzania kompozytowych struktur „inteligentnych” z wbudowanymi przetwornikami PZT.
2. Parametry fizyczne przetworników PZT mogą ulec zmianie w trakcie procesu wytwarzania. W sprawozdaniu przedstawiono zmiany wybranych parametrów.
3. Przedstawiono zweryfikowane, autonomiczne metody lokalizacji uszkodzeń uderowych.
4. Zaproponowany algorytm lokalizacji poprawnie identyfikuje położenie niskoenergetycznych uszkodzeń uderowych.
5. Geometria sieci nie obciąża wskazań zaproponowanych algorytmów lokalizacji uszkodzeń, wobec czego wskazane jest ich stosowanie w przypadku sieci o charakterystyce równoległej (zastosowanej w wykonanym demonstratorze konstrukcji).
6. Dzięki opracowanym algorytmom wizualizacji i kompensacji wskaźników uszkodzeń możliwe jest wskazanie obszaru, w którym znajdują się uderowe uszkodzenia struktury.
7. Rozdzielczość systemu – dokładność wskazania współrzędnych uszkodzenia – względem danej osi, zależy od liczby przetworników rozmieszczonych wzdłuż zadanego przez nią kierunku.
8. Dokładność lokalizacji uszkodzeń zależy od parametrów sygnału wzbudzenia przetworników PZT. Dla przetworników wbudowanych w strukturę najlepsze wyniki uzyskano dla 8-mio okresowego sygnału wymuszenia o częstotliwości 250 kHz.

1. Technology of composite smart structures with embedded PZT sensors Has been developed.
2. Physical parameters of PZT transducers may change during the embedding process.
3. Methods of BVID localization with PZT transducers were proposed and verified.
4. The developed algorithm localize properly low energy impact damage.
5. PZT network geometry does not affect the damage localization thus the method can be universally applied for network with different geometries.
6. Using the developed algorithms it is possible to indicate precisely BVID localization of large structures.
7. The system resolution depends on the number of transducers used.
8. Properties of the method depends on parameters of PZT excitation. The best results were achieved 8 periods signal using 250 kHz frequency.

#### Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

#### Referaty

1. Dziendzikowski M., Dragan K., Kurnyta A., Salaciński M., Latoszek A., Komar Ł., Zabłocka M., Kruszewski P., Klysz S., Leski A., **Composite structures with embedded PZT sensors, 8 Conference „Fatigue of Aircraft Structures”,** Warszawa, 15 – 16.01.2015

#### Publikacje

1. Katunin A., Dragan K., Dziendzikowski M., **Damage identification in aircraft composite structures: A case study using various non-destructive testing techniques,** Composite Structures 127(2015), 1-9or D.