

# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

## Modern material technologies in aerospace industry

### Nowoczesne pokrycia barierowe na krytyczne części silnika.

### Modern barrier covers on critical engine parts

Uniwersytet Rzeszowski, Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska

#### Wyniki badań

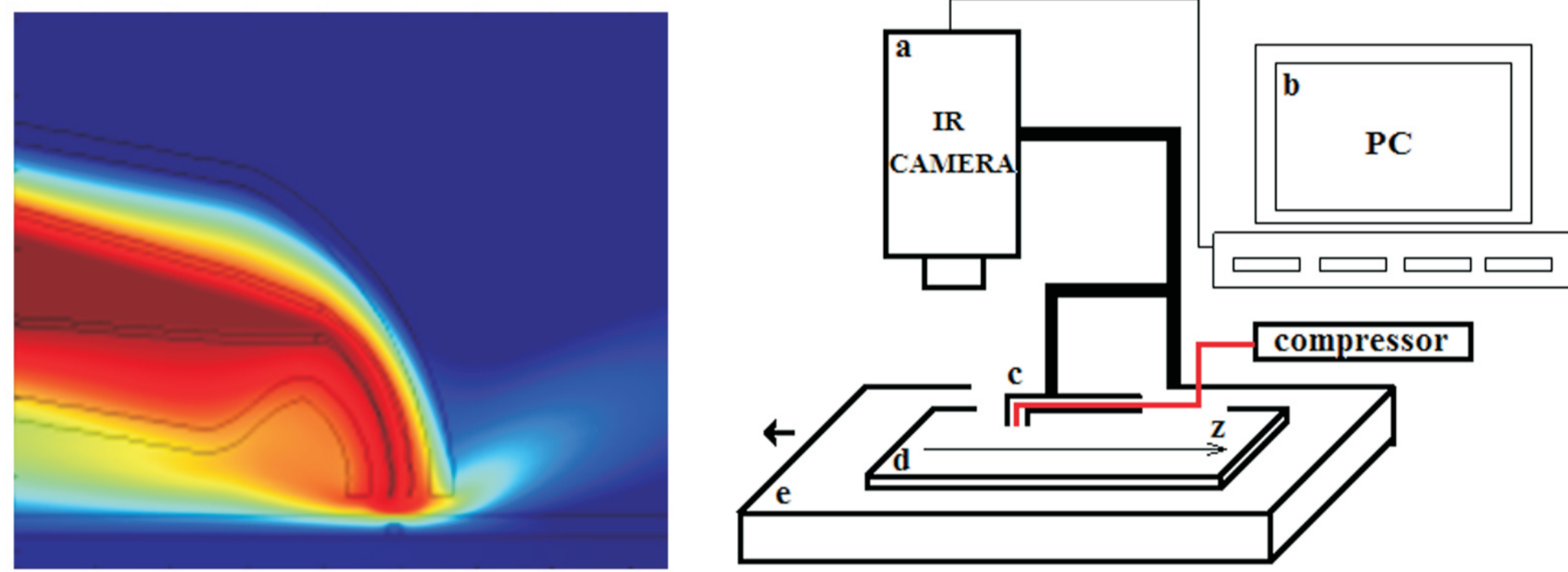
Results

**Wykrywanie i lokalizacja defektów podpowierzchniowych za pomocą specjalnej dyszy gorącego powietrza z odzyskiem ciepła oraz za pomocą lampy ksenonowej.**  
Rejestracja rozkładu temperatury na powierzchni badanej próbki za pomocą kamery termograficznej.

**The detection and location of subsurface defects using a special hot air nozzle and with the heat recovery using the xenon lamp.**  
**The registration of the distribution of temperature on sample surface using a thermographic camera.**

Próbkę o wymiarach 60mm x 20mm x 5mm została wykonana ze stali C45 i zawierała stworzone specjalnie wady w postaci 5 otworów na tylnej stronie próbki o różnej wielkości średnicy: 6mm, 4mm, 5mm, 3mm, 2mm. Głębokość otworów wynosi dwie trzecie grubości. Przednie i tylne strony próbki są pokazane na fig. 2, b. Skala jest pokazany na fig. 2c w celu wskazania położenia otworów na tylnej stronie.

Dysza skanująca zamontowana została na nieruchomej platformie razem z kamerą termowizyjną FLIR SC7000. Próbkę umieszczono na ruchomym stole poruszającym się w kierunku osi Z z prędkością 4,8mm/s. Ciśnienie powietrza wychodzące z dyszy wynosiło 0,2 MPa, natomiast temperatura gorącego powietrza 110 °C.

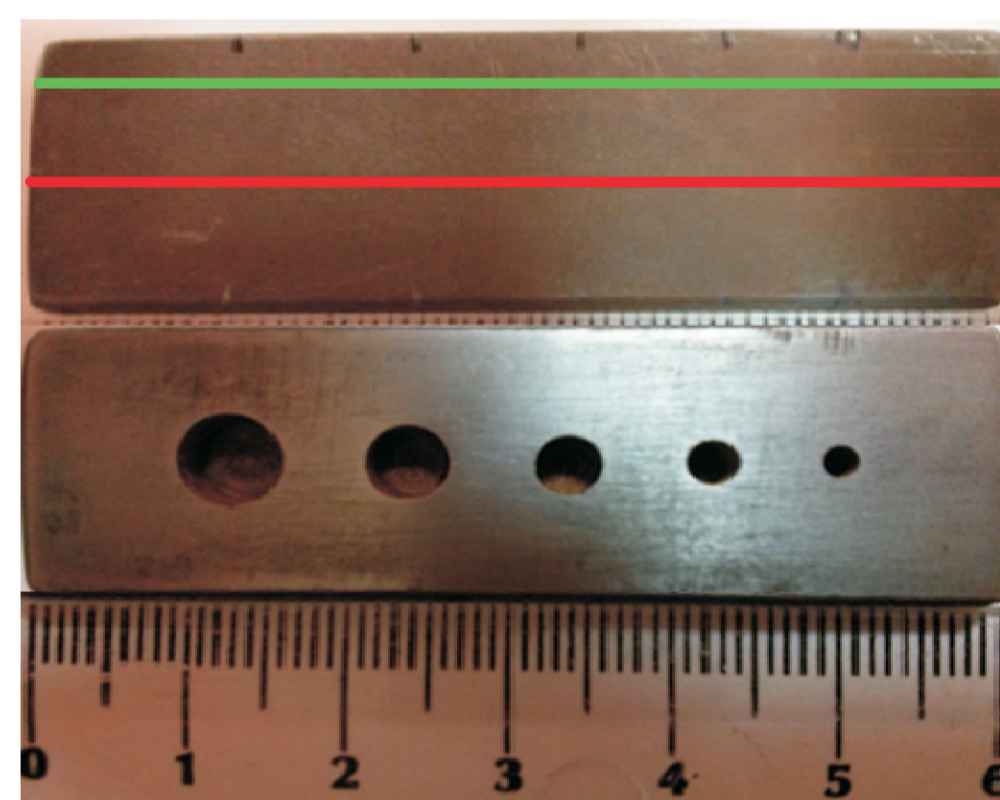


Rys. 1. a) Dysza gorącego powietrza o średnicy 0.4mm; b) Schemat badań  
Fig. 1. a) A hot air nozzle of 0.4 mm diameter; b) Scheme of experiment.

Próbka o wymiarach 60mm x 20mm x 5mm została wykonana ze stali C45 i zawierała specjalnie utworzone wady w postaci 5 otworów na tylnej stronie próbki o różnej wielkości średnicy: 6mm, 5mm, 4mm, 3mm, 2mm. Głębokość otworów wynosiła dwie trzecie grubości.

Pomiar polegał na przeskanowaniu próbki za pomocą dyszy wzdłuż centralnej osi (czerwona linia) w miejscu ukrytych defektów oraz wzdłuż obszaru znajdującego się poza obszarem dziur (zielona linia).

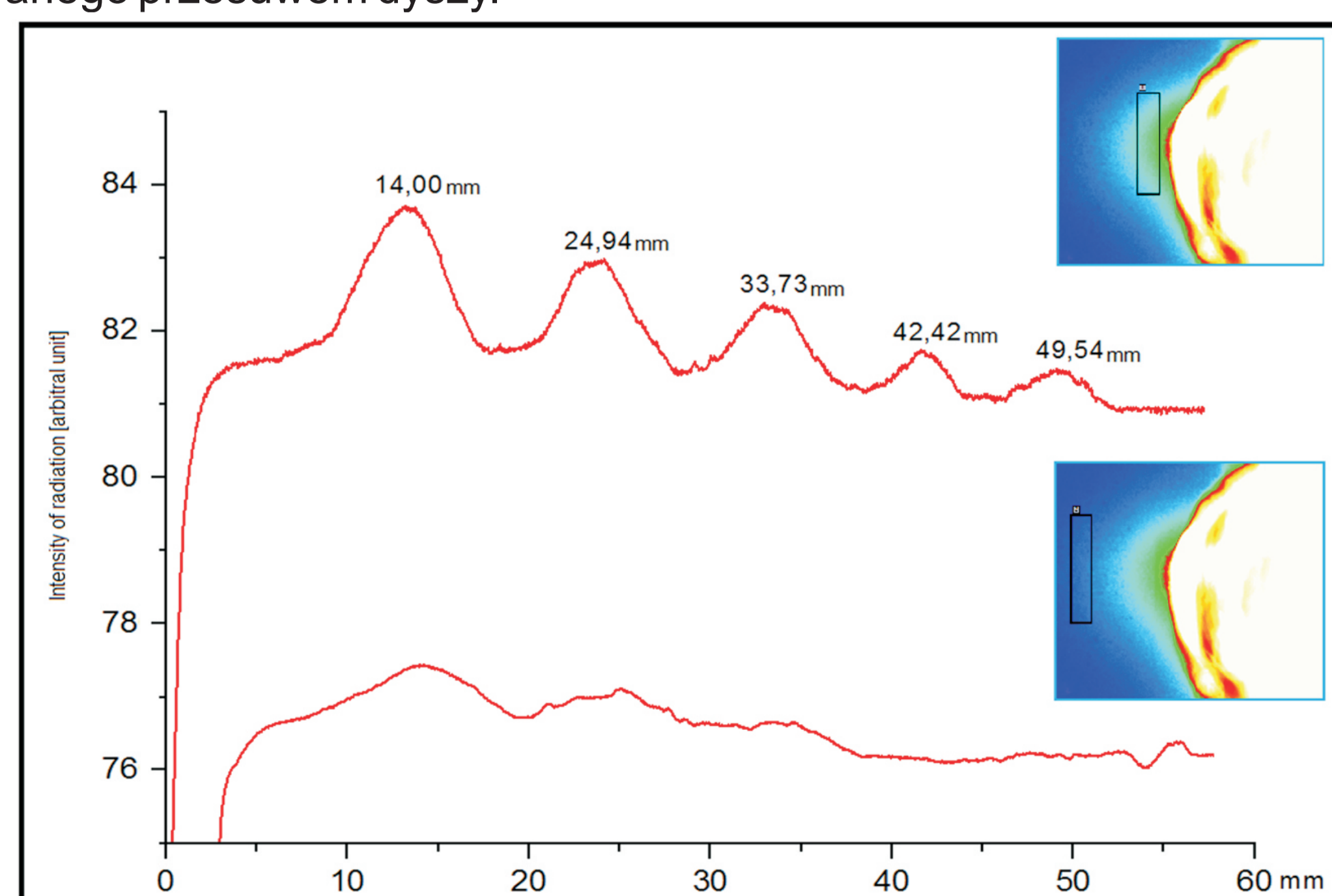
Rys. 2. Badana próbka: a) przód, b) tył, c) skala  
Fig. 2. Picture of the sample: a) front size, b) back size, c) scale



#### Wyniki badań

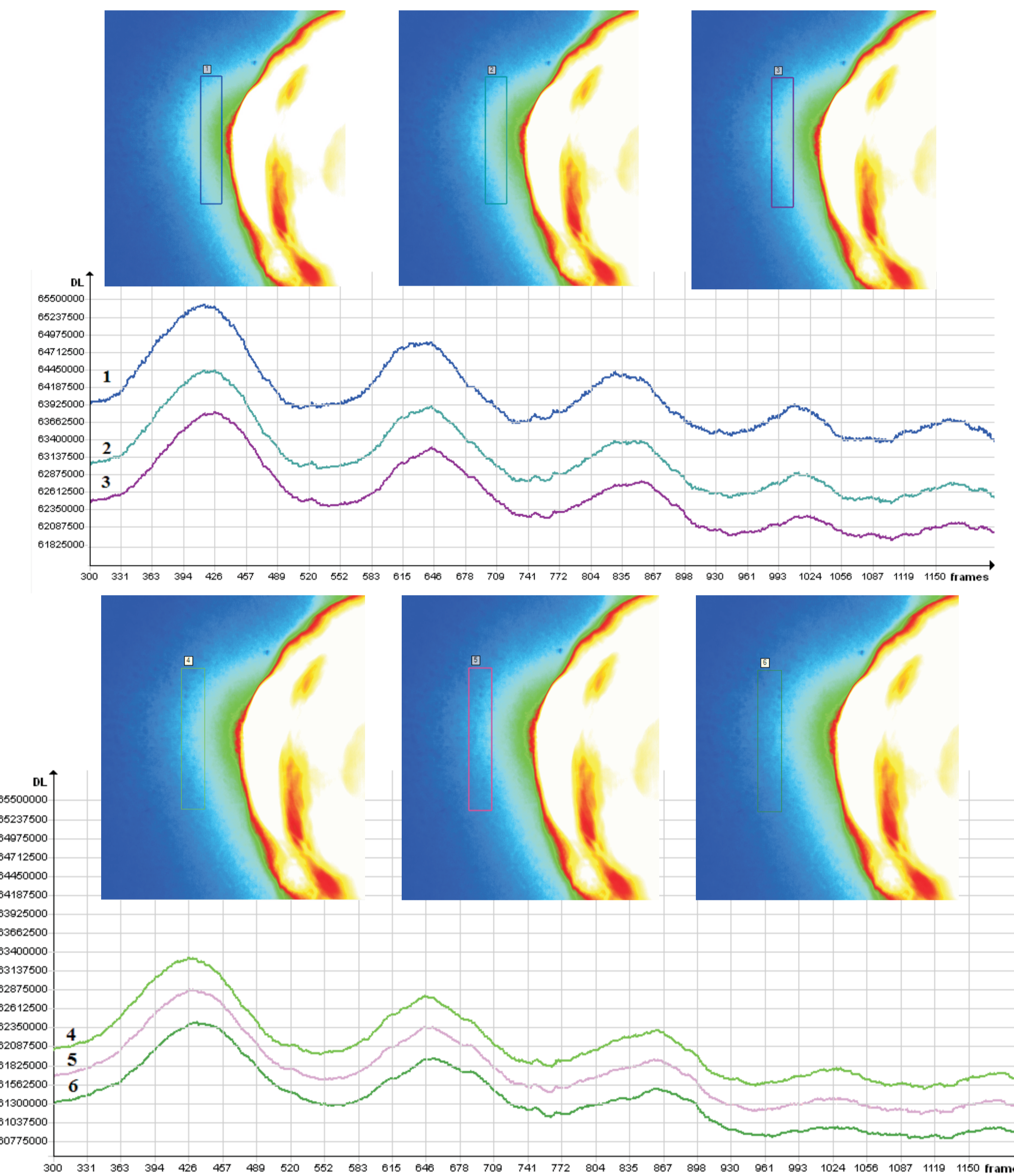
Na Rys. 3 i 5 przedstawiono krzywe doświadczalne I(z) uzyskane w opisanych powyżej warunkach eksperymentalnych. Rysunki 3 a, b przedstawiają krzywe uzyskane podczas skanowania wzdłuż linii czerwonej, gdzie rząd 5 otworów o różnej średnicy umieszczony został na tylnej stronie próbki (patrz Rys. 2a, b). Krzywa na Rys. 3a zarejestrowana została przy użyciu obszaru znajdującego się w miejscu śladu ciepłego. Można zauważyć, że wykazuje ona maksima odpowiadające podwyższonej temperaturze - miejscach występowania defektów (otwory pokazane na Rys. 2b).

W przypadku krzywej uzyskanej za pomocą sygnału IR, gdzie obszar znajdował się poza śladem ciepłym (patrz Rys. 3 b) intensywność maksimum w miejscach największych otworów była znacznie mniejsza i nie zaobserwowano maksima w miejscach ostatnich dwóch otworów. Oznacza to, że wykrywanie ukrytych wad zależy od wybranego obszaru, a mianowicie: obszar ten powinien należeć do śladu ciepłego spowodowanego przesuwem dyszy.



Rys. 3. Krzywe otrzymane po przeskanowaniu próbki wzdłuż czerwonej linii (Rys. 2a); a) w obszarze śladu ciepłego; b) poza obszarem śladu ciepłego.  
Fig. 3 The I(z)-curves obtained at scanning along the red line (see Fig. 2a); a) using the radiation from the region of the heat track, shown in insert; b) using the radiation from the region out of the heat track.

Kamera termograficzna FLIR SC7000 zarejestrowała promieniowanie generowane przez próbkę w miejscach dziur podczas skanowania dyszą gorącego powietrza. Za pomocą oprogramowania Altair wybrany został obszar na powierzchni śladu ciepłego w celu ustalenia natężenia promieniowania ciepłego z tegoż regionu.



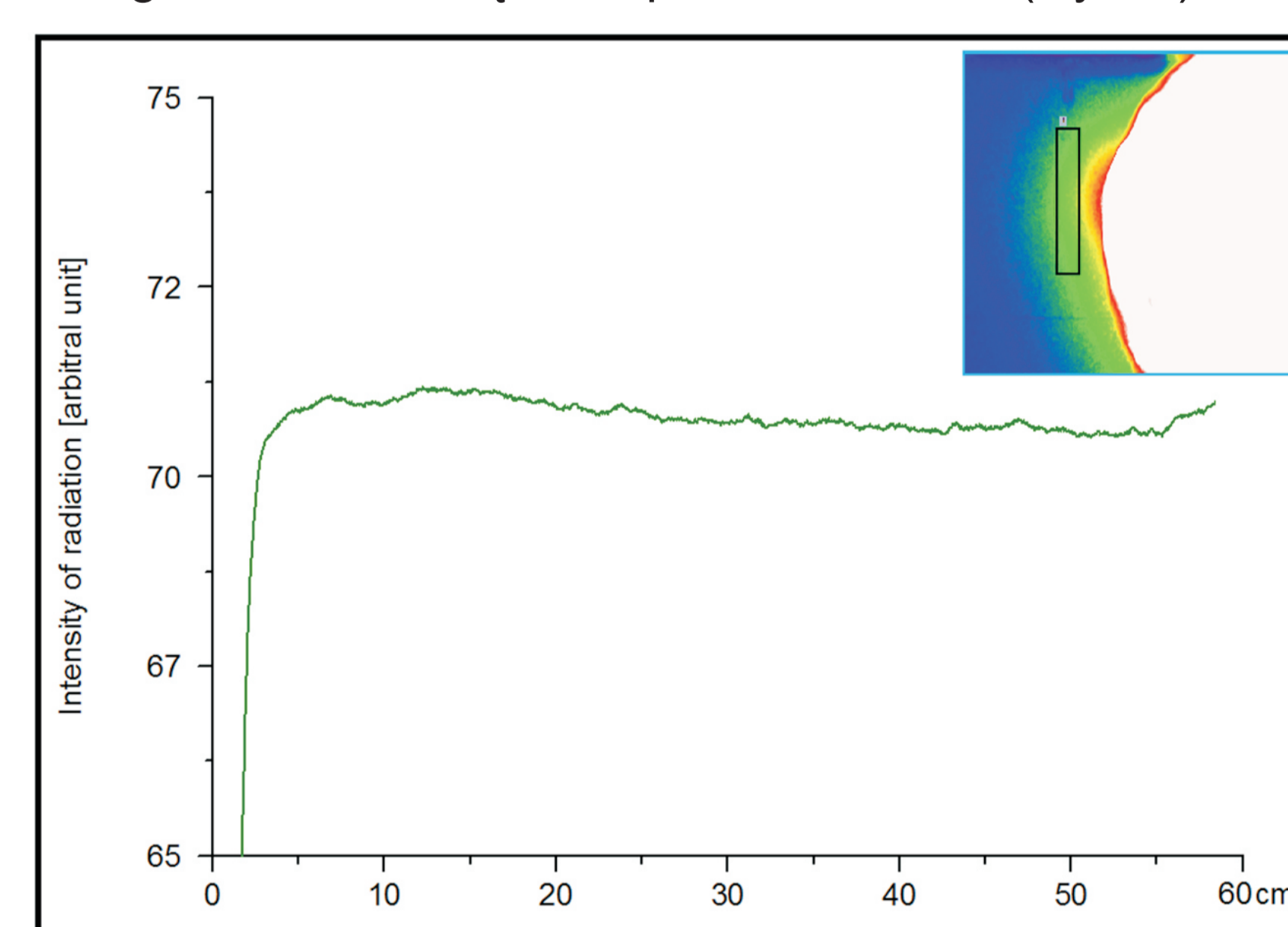
Rys. 4. Krzywe I(z) otrzymane po przeskanowaniu próbki wzdłuż czerwonej linii (Rys. 2a) pokazany na zdjęciu śladu ciepłego (6 różnych obszarów)

Fig. 4 The I(z) curves obtained at scanning the sample along the red line (see Fig. 2a) using the radiation from the region of the heat track (6 different positions)

W trakcie pomiarów zaobserwowano związek między odległością obszaru od śladu ciepłego pochodzącego z dyszy. Tak więc, gdy obszar znajdował się w miejscu śladu ciepłego krzywe natężenia promieniowania były najwyższe (patrz Rys. 3), natomiast gdy obszar został oddalony krzywe natężenia promieniowania okazały się znacznie mniejsze, zwłaszcza dla ostatnich dwóch otworów, gdzie ślad ciepły ostatecznie zanikł (Rys. 3 - dolna krzywa).

Na Rys. 4 pokazano przykłady rejestracji krzywej I(z) dla różnych obszarów śladu ciepłego.

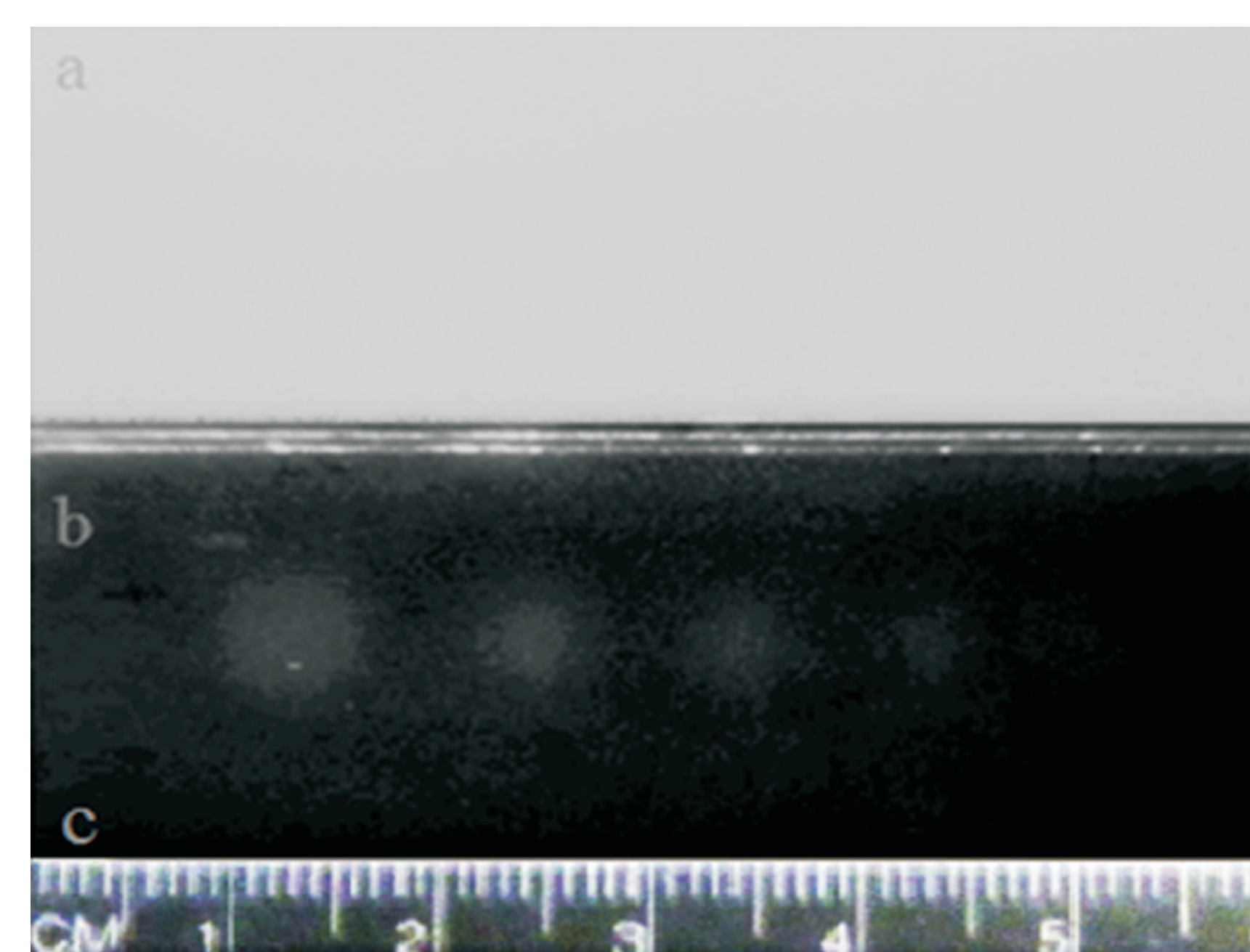
Następnym krokiem było przeskanowanie próbki wzdłuż krawędzi (zielonej linii), w której na tylnej stronie nie było żadnych otworów. Kamera termograficzna nie zarejestrowała żadnego maksima natężenia promieniowania (Rys. 5)



Rys. 5. Krzywa otrzymana po przeskanowaniu próbki wzdłuż zielonej linii (Rys. 2a) z wykorzystaniem promieniowania pochodzącego z obszaru śladu ciepłego.

Fig. 5. The I(z)-curve obtained at scanning along the green line (see Fig. 2a) using the radiation from the region of the heat trace

Aby porównać wyniki uzyskane za pomocą dyszy gorącego powietrza, użyto ksenonowej lampy impulsowej jako źródła wzbudzenia. Wygenerowany impuls energii o mocy 6kJ i czasie 6ms był wystarczający do rejestracji rozkładu temperatury na powierzchni badanej próbki oraz do wizualizacji ukrytych wad za pomocą kamery termograficznej.



Rys. 6 a) Zdjęcie tylnej strony próbki w zakresie widzialnym, b) Termogram tej samej powierzchni otrzymany w podświetleniu ksenonowym.  
Fig. 6 a) Image of the sample back side in the visible region of spectra, b) thermogram of the same surface obtained by the IR-camera after impulse excitation using xenon lamp: three holes are visible

Jak pokazano na Rys. 6. kamera zarejestrowała tylko pierwsze cztery największe otwory. Ostatnia najmniejsza dziura jest niewidoczna przy użyciu lampy ksenonowej. Dlatego też porównując te dwie metody (skanowanie za pomocą dyszy gorącego powietrza oraz wzbudzenie ciepłe za pomocą lampy ksenonowej) można stwierdzić, że skanowanie dyszą gorącego powietrza pozwoliło wykryć wszystkie pięć dziur, których minimalna wielkość wynosiła 2 mm.

#### Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym

Collaboration with aviation industry

Przedstawiony cykl badań termograficznych wykonany został na próbkach, wykonanych na WSK "PZL Rzeszów". Przedstawiona metoda kontroli defektów jest wynikiem współpracy Uniwersytetu Rzeszowskiego i WSK "PZL Rzeszów".

Thermography measurement was performed on the samples were made in WSK "PZL-Rzeszów". The presented method of control defects is the result of co-operation the University of Rzeszow and WSK "PZL-Rzeszow".

#### Wnioski

Conclusions

W celu wykrycia podpowierzchniowych wad materiałowych za pomocą skanowania dyszą gorącego powietrza, przygotowana została próbka wykonana ze stali C45 ze specjalnie utworzonymi otworami (defektami). Zaproponowana metoda bezdotykowej i bezinwazyjnej kontroli ukrytych wad poprzez skanowanie dyszą umożliwiło wykrycie wszystkich 5-ciu istniejących otworów na tylnej stronie próbki o średnicy  $d \leq 2$ mm. Alternatywny sposób kontroli za pomocą impulsowej lampy ksenonowej. Najmniejszy wykryty otwór miał wymiar 3mm. Teoretycznie minimalny rozmiar tego rodzaju ukrytych wad, który jest możliwy do wykrycia z użyciem proponowanego sposobu skanowania dyszą wynosi 0,2mm, co zostanie zweryfikowane w kolejnych badaniach.

The thermography method of the hidden defect controlling using the scanning hot spot is developed. The specimen made of C45 steel with flat-bottom holes was prepared. The proposed method of the noncontact and noninvasive control of hidden defects using the scanning hot air nozzle, enables to detect the holes existing on the back side of the steel plate (actually "a hidden defect") of  $d \leq 2$ mm size. The alternative noncontact and noninvasive method using the xenon flash lamp impulse as a source of excitation enables to detect the holes on the same steel plate with a diameter size of  $d \geq 3,5$ mm. Theoretically, the minimal size of such kind of a hidden defect which is possible to be detected using the proposed method, is 0,2 mm what will be verified in the future.

#### Przykłady zastosowania w lotnictwie

Examples of application in aviation

Zaproponowana metoda termograficzna kontroli jakości spawów może być zastosowana w przemyśle lotniczym jako metoda NDT przy wykrywaniu defektów oraz nieciągłości spawów. Metoda ta może być zastosowana również do analizy jakości połączeń zgrzewanych w poszyciach lotniczych.

Thermographic method inspection quality of welds can be used in the aerospace industry as NDT method for detecting defects and discontinuities. This method can also be used for analysis quality of welded joints in aircraft construction.

#### Wskaźniki realizacji celów projektu

Indicators of the project

#### Referaty

1. K. Maś, M. Woźny, M. Marchewka, D. Ploch and E.M. Sheregii, **Thermal Stresses for Turbine Blades calculated on base of measured Temperature Distributions**, 8th International Conference "Supply on the Wings", Frankfurt/Main, Germany, November 5-7, 2013
2. Maś K., Woźny M., Marchewka M., Ploch D., Bochnowski W. Sheregii E. M. **Thermal stresses in the blades with and without TBC based on the temperature distributions measured using thermal imaging camera**. IX th - International Conference Machines, Technologies, Materials'14, Varna 25-29 September 2014
3. Maś K., Woźny M., Marchewka M., Ploch D., Sheregii E.M., **The thermographic analysis of the welding by TIG**. IX th - International Conference Machines, Technologies, Materials'14, Varna 25-29 September 2014
4. Prokhorenko S., Maś K., Woźny M., Sheregii E.M., **The scanning nozzle hot air system for thermographic detection of the surface incorporated hidden defects**. IX th - International Conference Machines, Technologies, Materials'14, Varna 25-29 September 2014
5. Prokhorenko S., Maś K., Woźny M., Marchewka M., Ploch D., Sheregii E. M., **of defects detecting and thermal stresses calculated of the blades with and without TBC based on the experimentally obtained temperature distributions using the thermal imaging camera**, 9th AIRTEC 2014 International Congress, 28-30 October 2014, Frankfurt/Main, Germany

#### Publikacje w 2014r.

1. Maś K., Woźny M., Marchewka M., Ploch D., Bochnowski W. Sheregii E. M. **Thermal stresses in the blades with and without TBC based on the temperature distributions measured using thermal imaging camera**. MTM - Machines, Technologies, Materials; International virtual journal, issue 11/2014, 2014
2. Maś K., Woźny M., Marchewka M., Ploch D., Sheregii E.M., **The thermographic analysis of the welding by TIG**, MTM - Machines, Technologies, Materials; International virtual journal, issue 11/2014, 2014

3. Prokhorenko S., Maś K., Woźny M., Sheregii E.M., **The scanning nozzle hot air system for thermographic detection of the surface incorporated hidden defects**. MTM - Machines, Technologies, Materials; International virtual journal, issue 11/2014, 2014