

# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

## Modern material technologies in aerospace industry

## Nowoczesne powłoki barierowe na krytyczne części silnika

### Modern barrier covers on critical engine parts

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

#### Wyniki badań

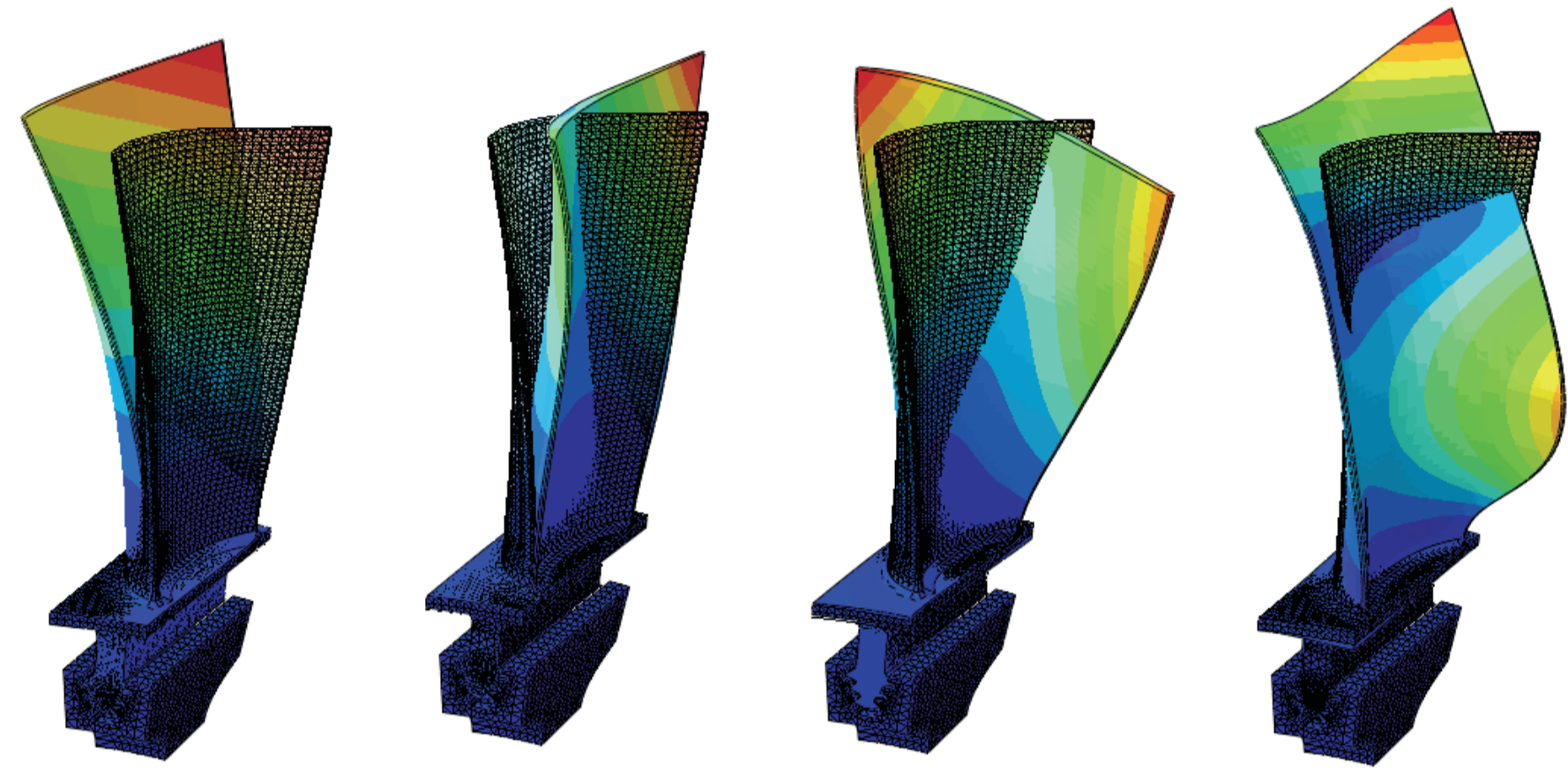
Results

Wyznaczanie częstości drgań własnych łopatkę silnika PZL-10W metodą numeryczną w programie Abaqus.

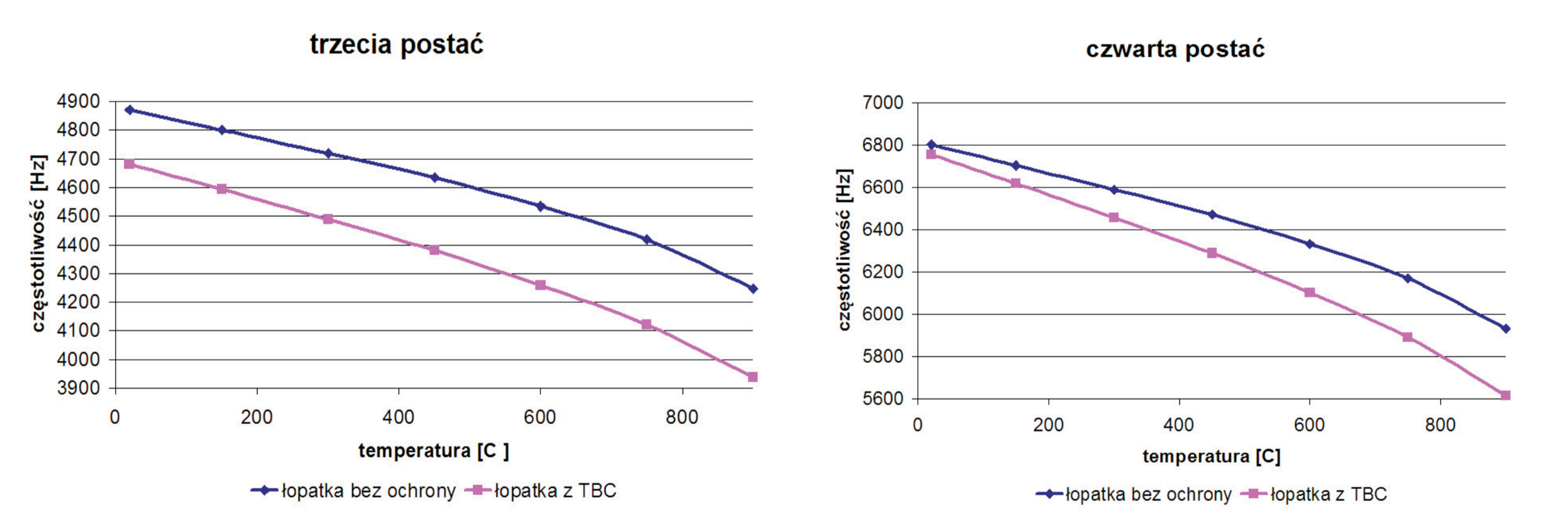
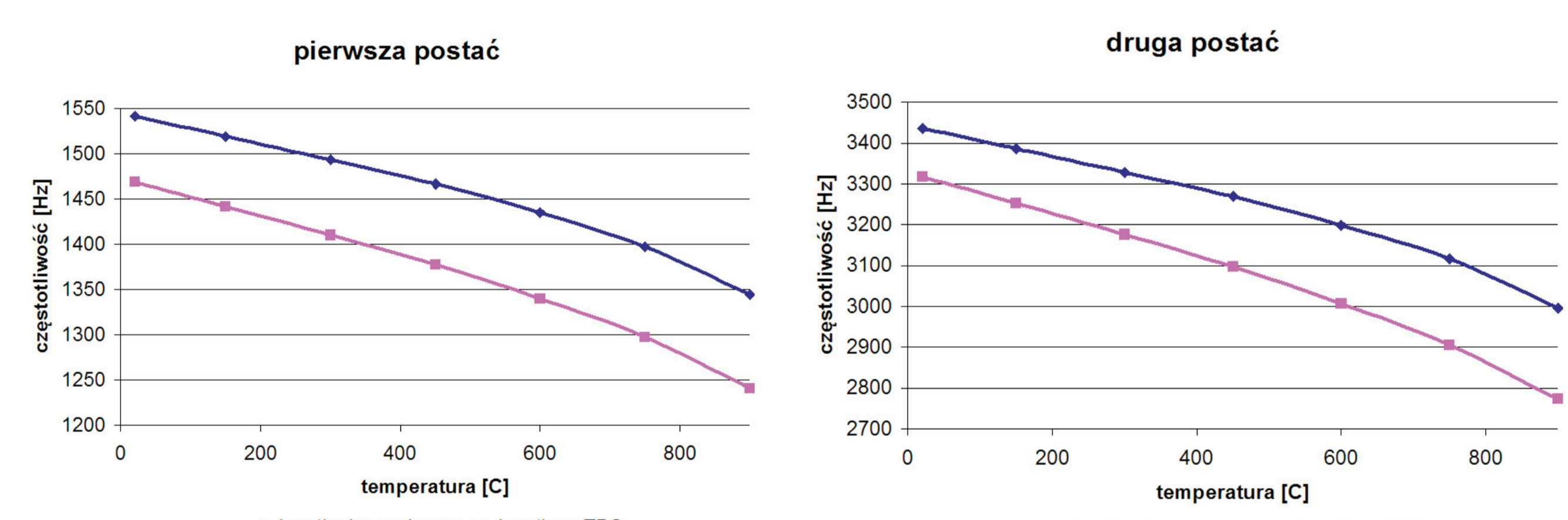
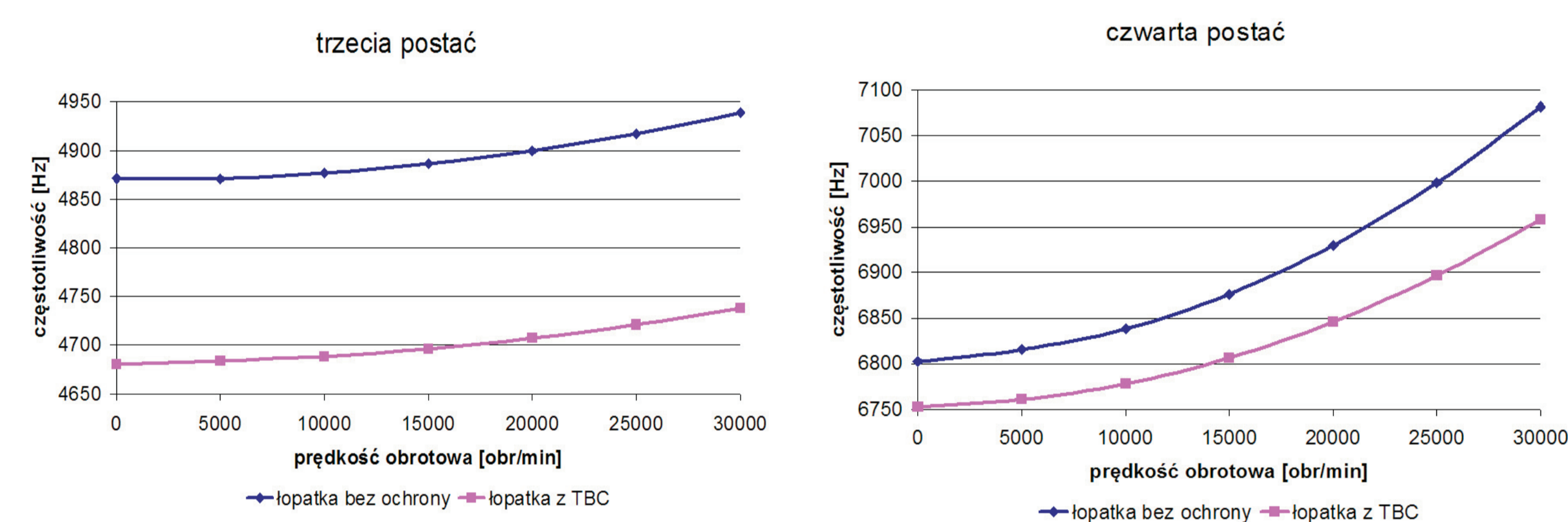
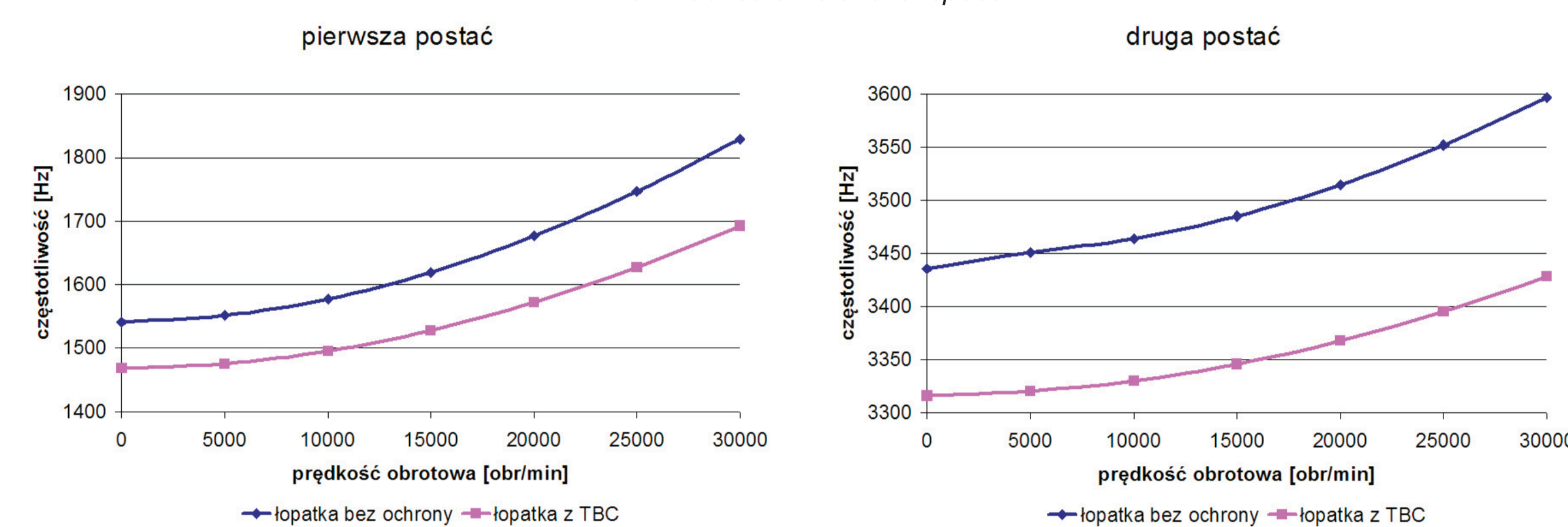
Determining the frequency of natural vibrations for blades of PZL-10W turbine engine by numerical method in Abaqus program.

Badaniem poddano zarówno łopatkę bez powłoki jak i z wykonanym systemem TBC o grubości 0,4mm. Analizowano wpływ różnych zakresów prędkości obrotowej łopatki oraz stopnia nagrzania na częstość drgań własnych. Poniżej przedstawiono cztery pierwsze postaci drgań.

The study included both the blade without covering and with TBC system of 0,4mm thick. The influence of different ranges of rotational speed and the different temperatures on vibration frequency were analyzed. Below are the first four modes of vibration.



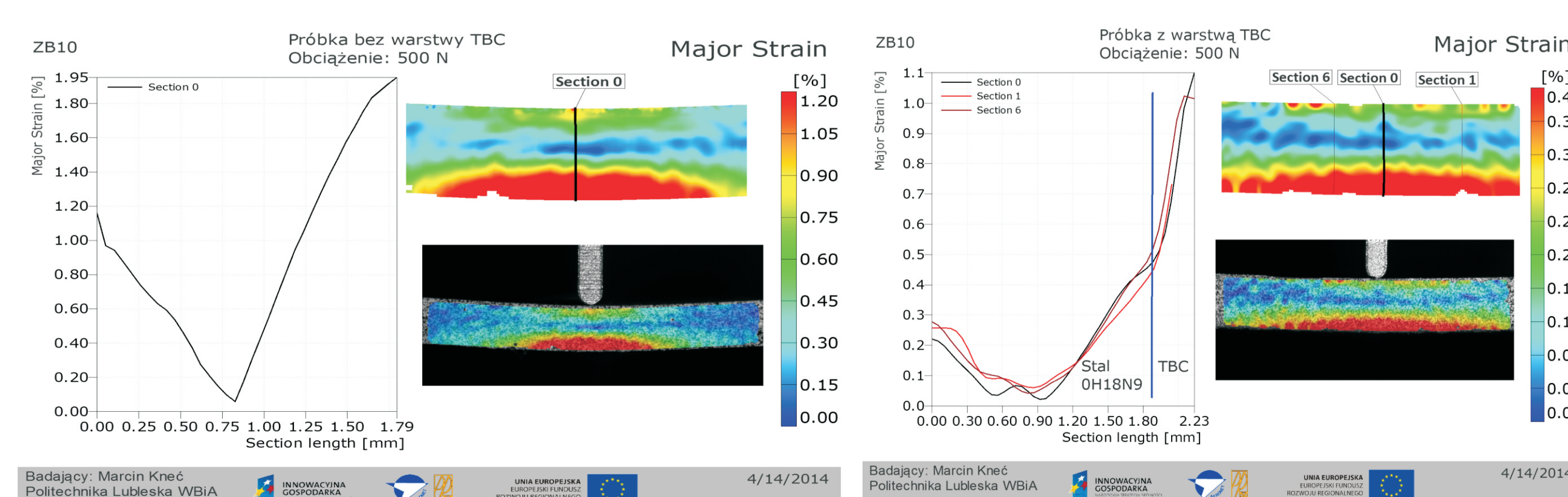
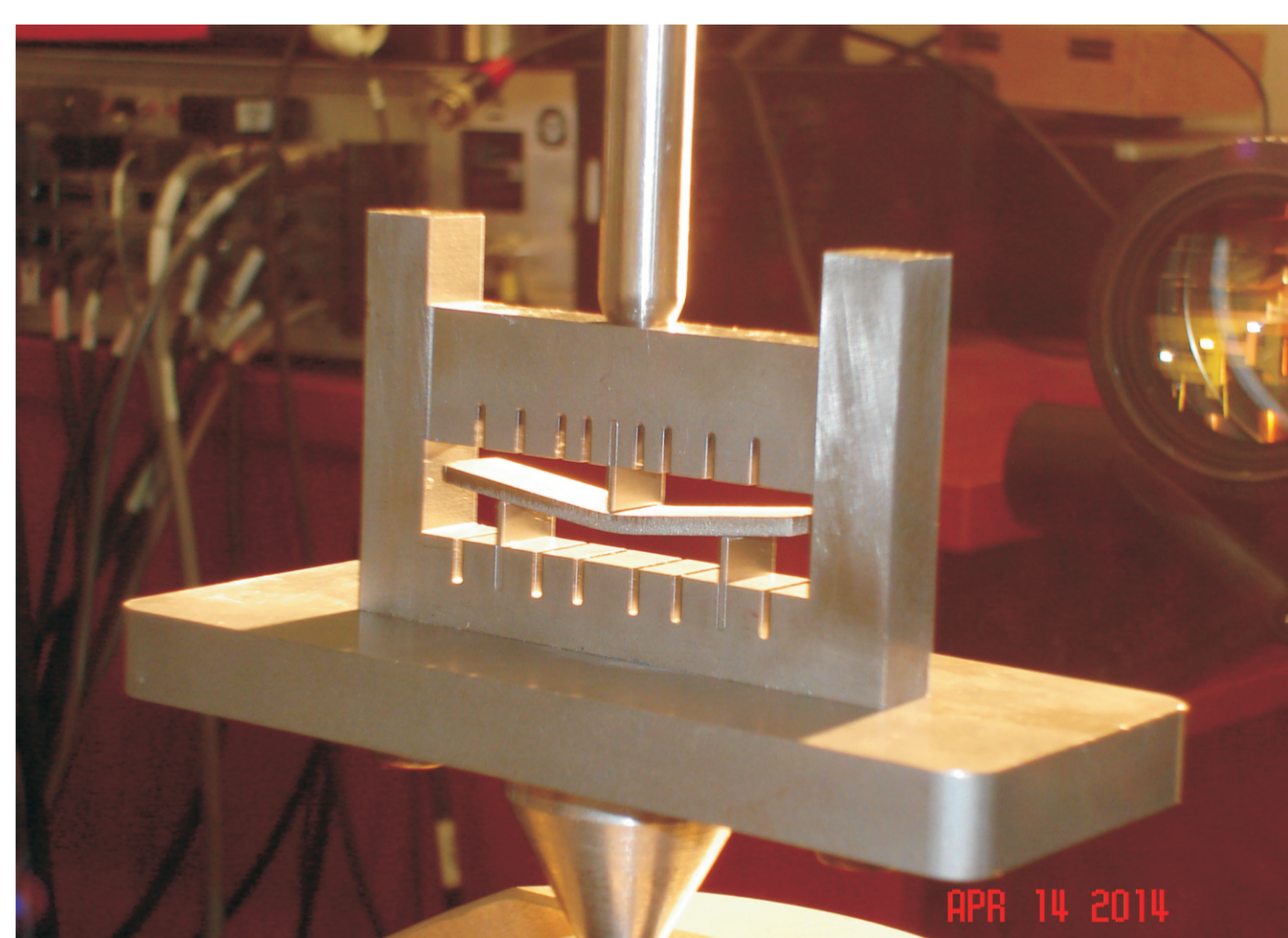
Wpływ prędkości obrotowej  
The influence of rotational speed



Wpływ temperatury  
The influence of rotational speed

Badania doświadczalne dotyczyły wyznaczania odkształceń w próbkach zginanych przy użyciu systemu Aramis.

Experimental studies focused on determining the bending strain in the samples using the Aramis system.



#### Wnioski

Conclusions

- Ocena częstotliwości drgań własnych łopatek jest bardzo trudna ze względu na ich skomplikowany kształt i charakter obciążeń, którym podlegają.
- Wyznaczone częstości drgań własnych dla łopatek z powłokami TBC są istotne z punktu widzenia dalszej analizy wpływu zakresu pracy silnika i warunków jego eksploatacji na pojawienie się uszkodzeń.
- Wyznaczenie odkształceń przy użyciu optycznego systemu Aramis jest możliwe także dla próbek z powłokami TBC o grubości 0,4mm naniesionych na podkład o grubości 2mm. Wyniki badań pozwalają na zbudowanie dokładniejszego modelu MES systemu TBC.
- Próbka z warstwą TBC doznaje innych odkształceń niż próbka bez warstwy: niższe odkształcenia i koncentracje. Inne pochylenie zbroca na wykresie odkształceń próbki z warstwą ewidentnie pokazuje zmianę właściwości

- Evaluation of the natural vibration frequency of the blades is difficult due to their complex shape and nature of the stresses to which they are subject.
- Determined natural frequencies for TBC coated blades are important from the point of view of further analysis of the impact of operating conditions for the appearance of damage.
- Using Digital Image Correlation system — Aramis — makes determination of strain also possible for samples with 0,4mm thick TBC applied on the 2mm thick substrate.
- Specimen with TBC experiencing different strains than specimen without this layer and also smaller strain concentrations. Different slope of strain curve for TBC proves different material properties.

#### Wyniki badań

Results

#### Badania powłok barierowych na krytyczne części silnika

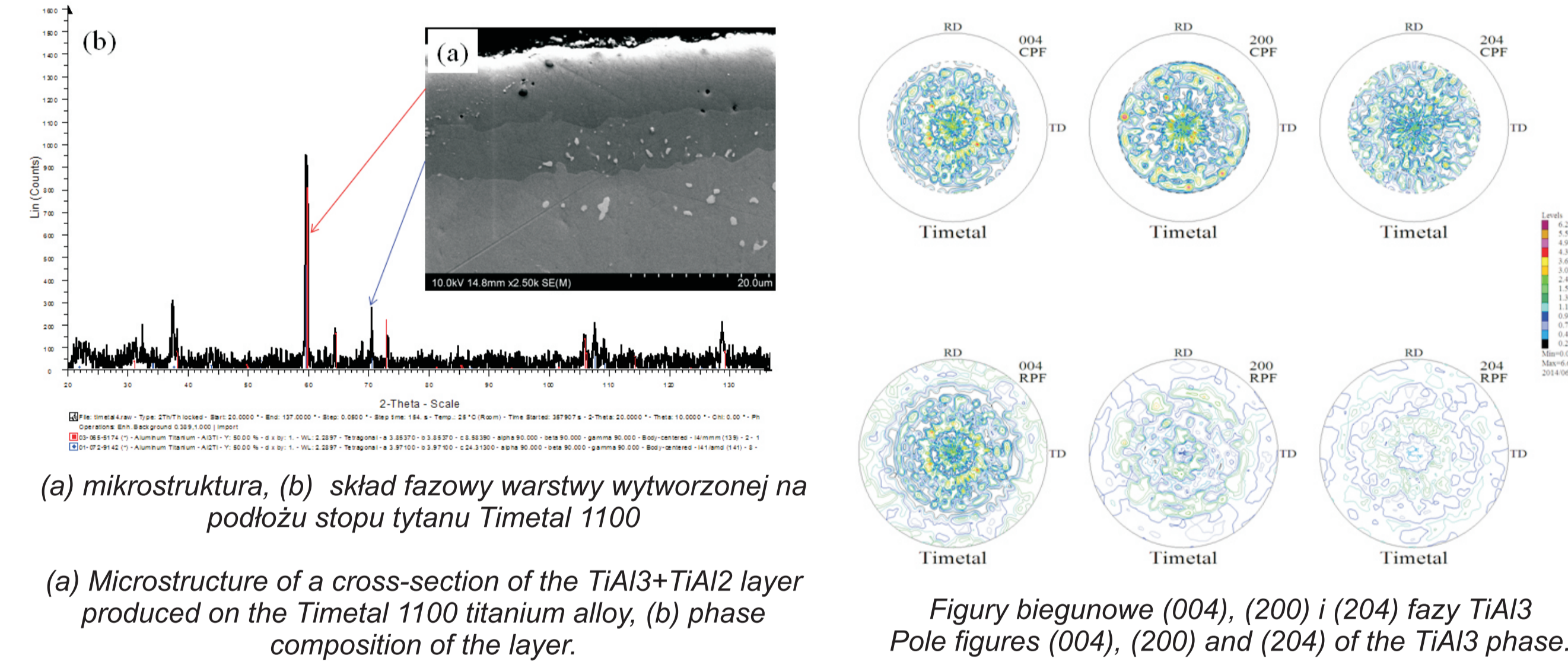
#### Researches of thermal barrier coatings for the critical aircraft engine parts

Badania dotyczyły:

- mikrostruktury dyfuzyjnych warstw powierzchniowych zawierających fazy międzymetaliczne z układu Ti-Al metodą kontaktową gazową na podłożu stopu tytanu Timetal 1100;
- składu fazowego;
- tekstury warstwy TiAl<sub>3</sub>;
- odporności korozyjnej metodą potencjodynamiczną stopu tytanu Timetal 1100 w stanie wyjściowym oraz z warstwą międzymetaliczną z układu Ti-Al w roztworze 0,1M NaCl.
- odporności na zmęczenie stopu tytanu Timetal 1100 w stanie wyjściowym oraz z wytworzoną warstwą międzymetaliczną z układu Ti-Al.
- mikrostruktury bariery cieplnej ZrO<sub>2</sub>+8%Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> wytworzonej metodą LPPS (Low Pressure Plasma Spraying) na dyfuzyjnej warstwie międzymetalicznej z układu Ti-Al.

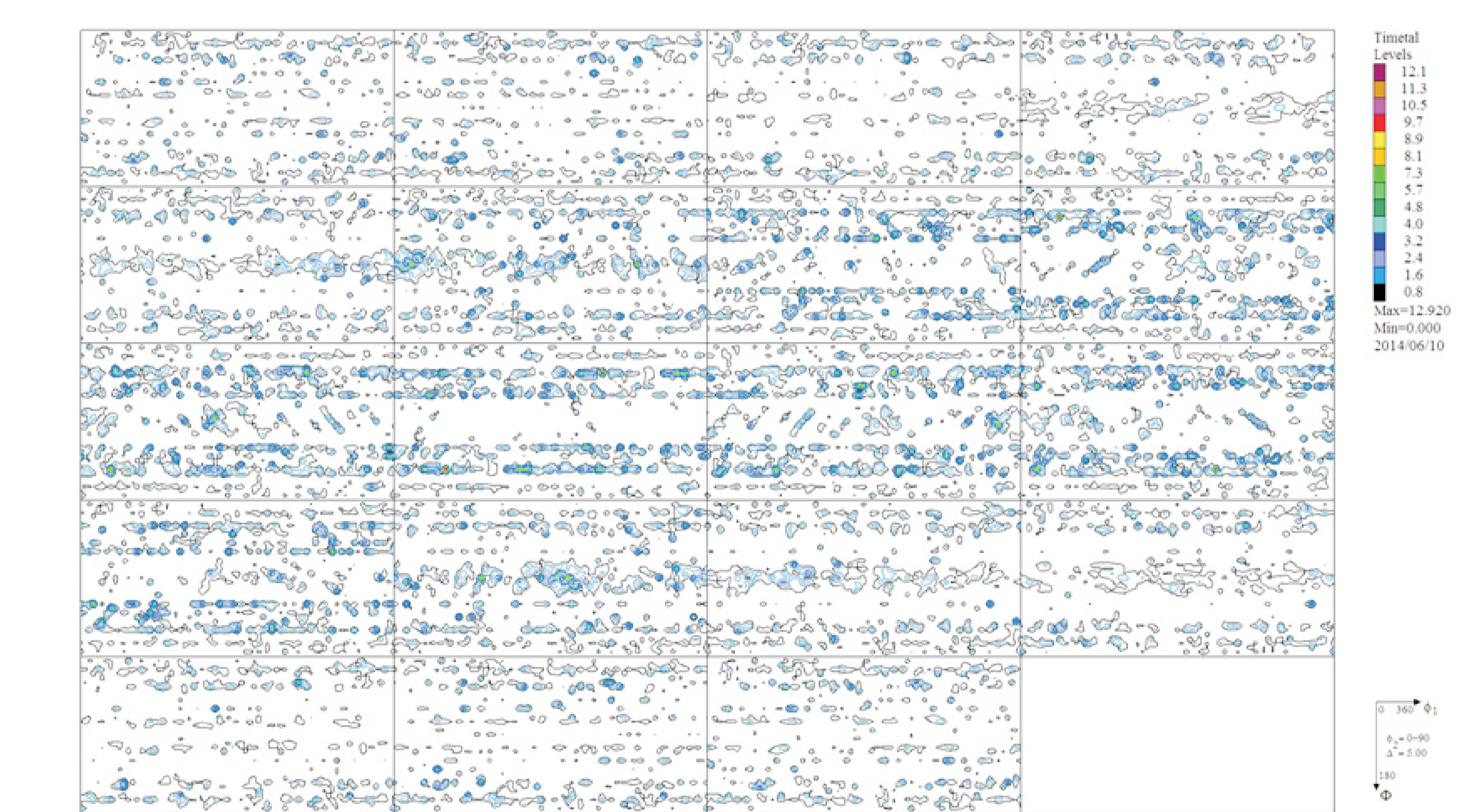
Scope

- Obtainment of the diffusion layer containing the Ti-Al intermetallic phase on the Timetal 1100 titanium alloy by the pack cementation method.
- Examinations of the layer properties:
  - phase composition and texture;
  - corrosion resistance of the Timetal 1100 titanium alloy, in the initial state (untreated) and coated with the Ti-Al layer, examined in a 0.1M NaCl solution by the potentiodynamic method;
  - fatigue strength of the Timetal 1100 titanium alloy at the initial state and coated with the Ti-Al intermetallic layer;
  - TEM images of the ZrO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thermal barrier coatings produced on the Ti-Al intermetallic layers by the LPPS method.

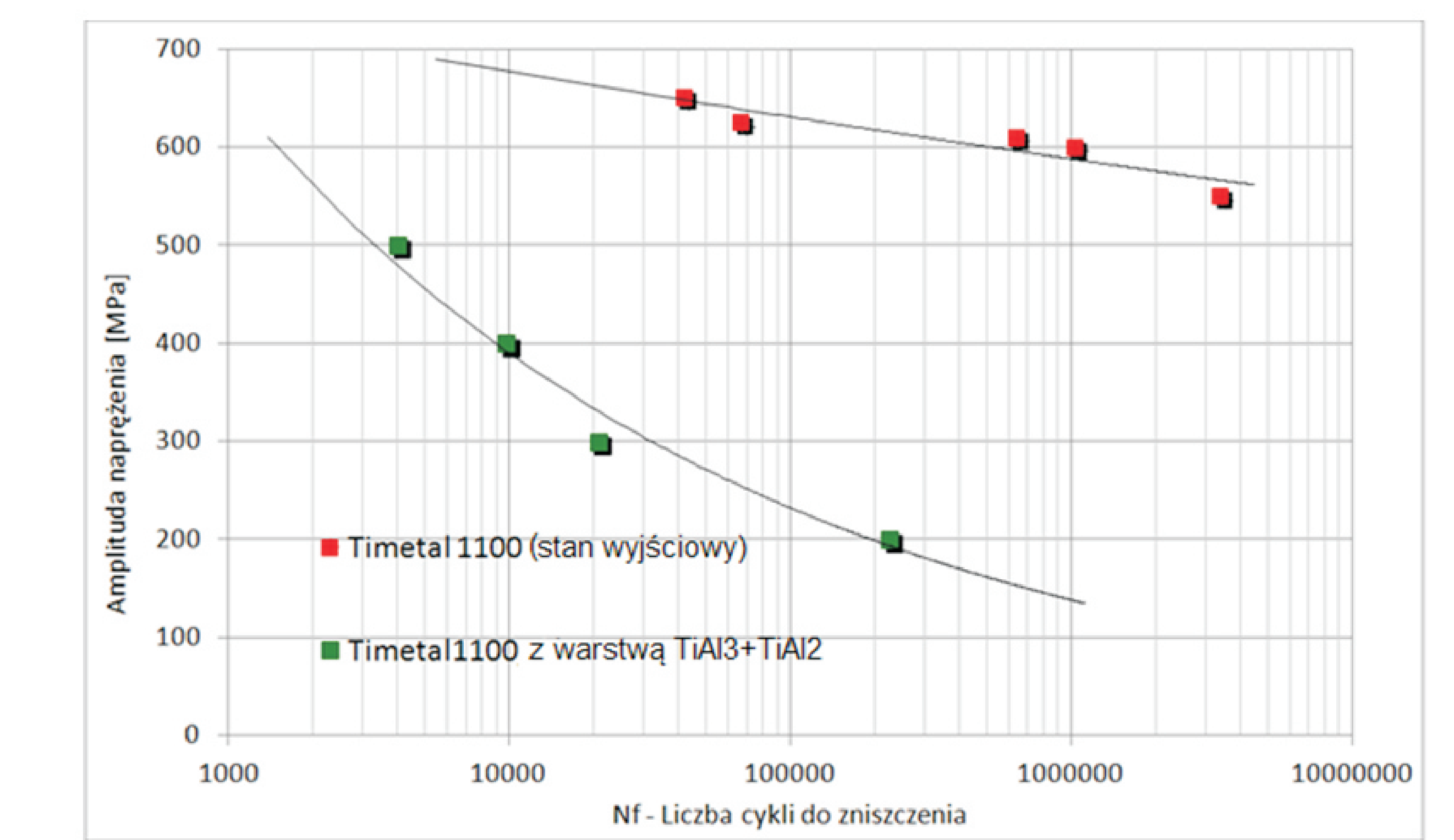


Figury biegunowe (004), (200) i (204) fazy TiAl<sub>3</sub>

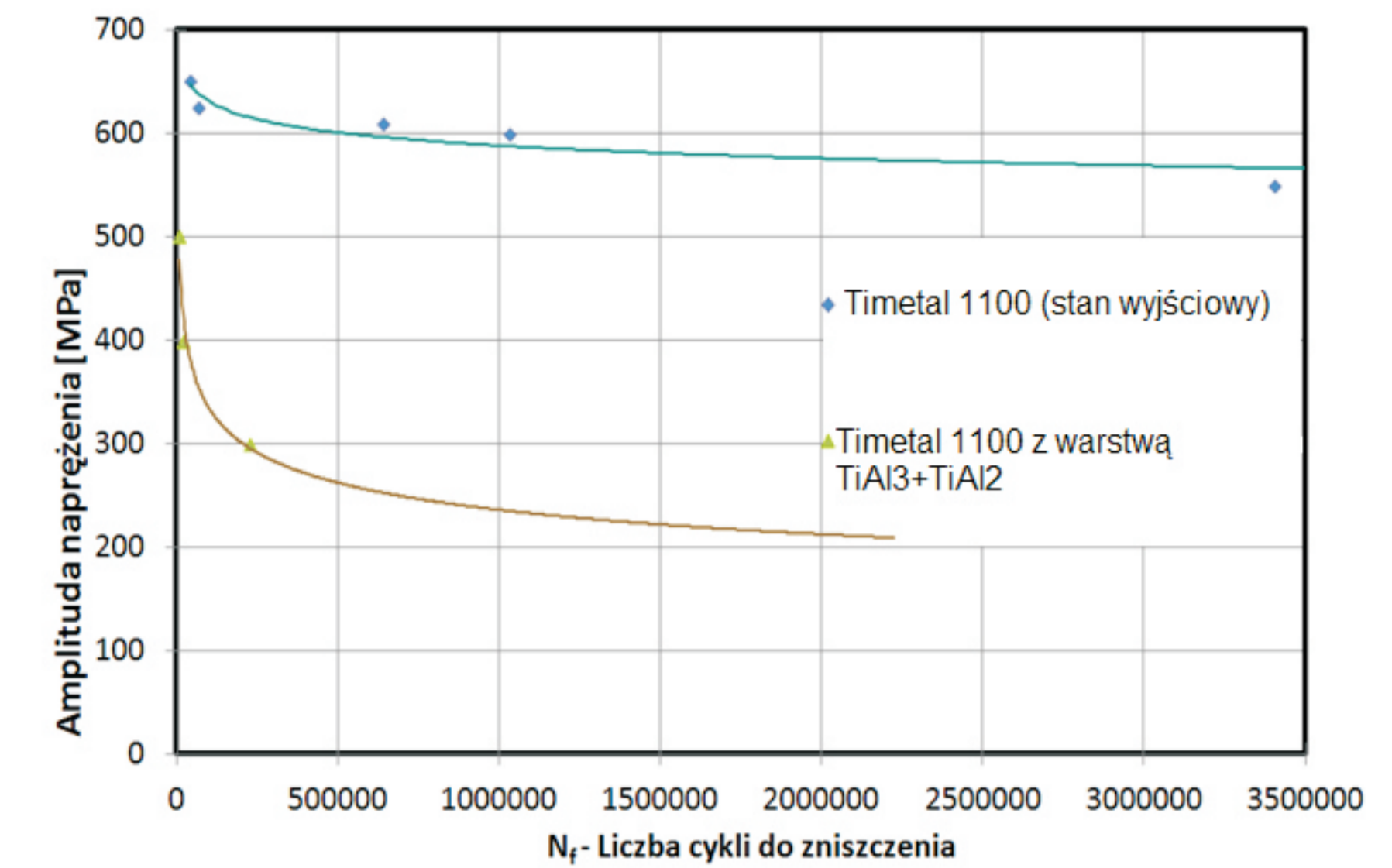
Pole figures (004), (200) and (204) of the TiAl<sub>3</sub> phase.



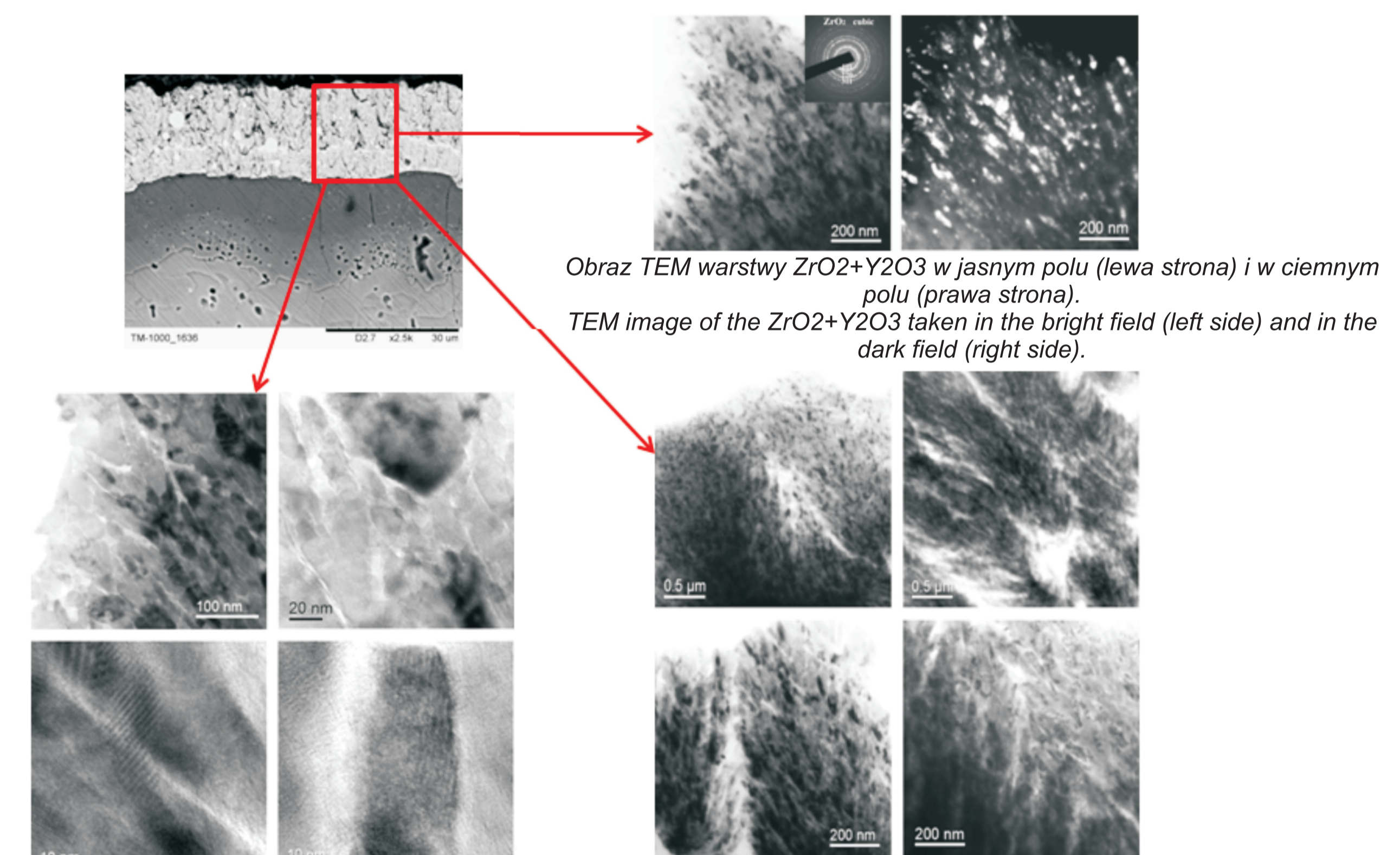
Funkcja rozkładu orientacji  
Orientation distribution function.



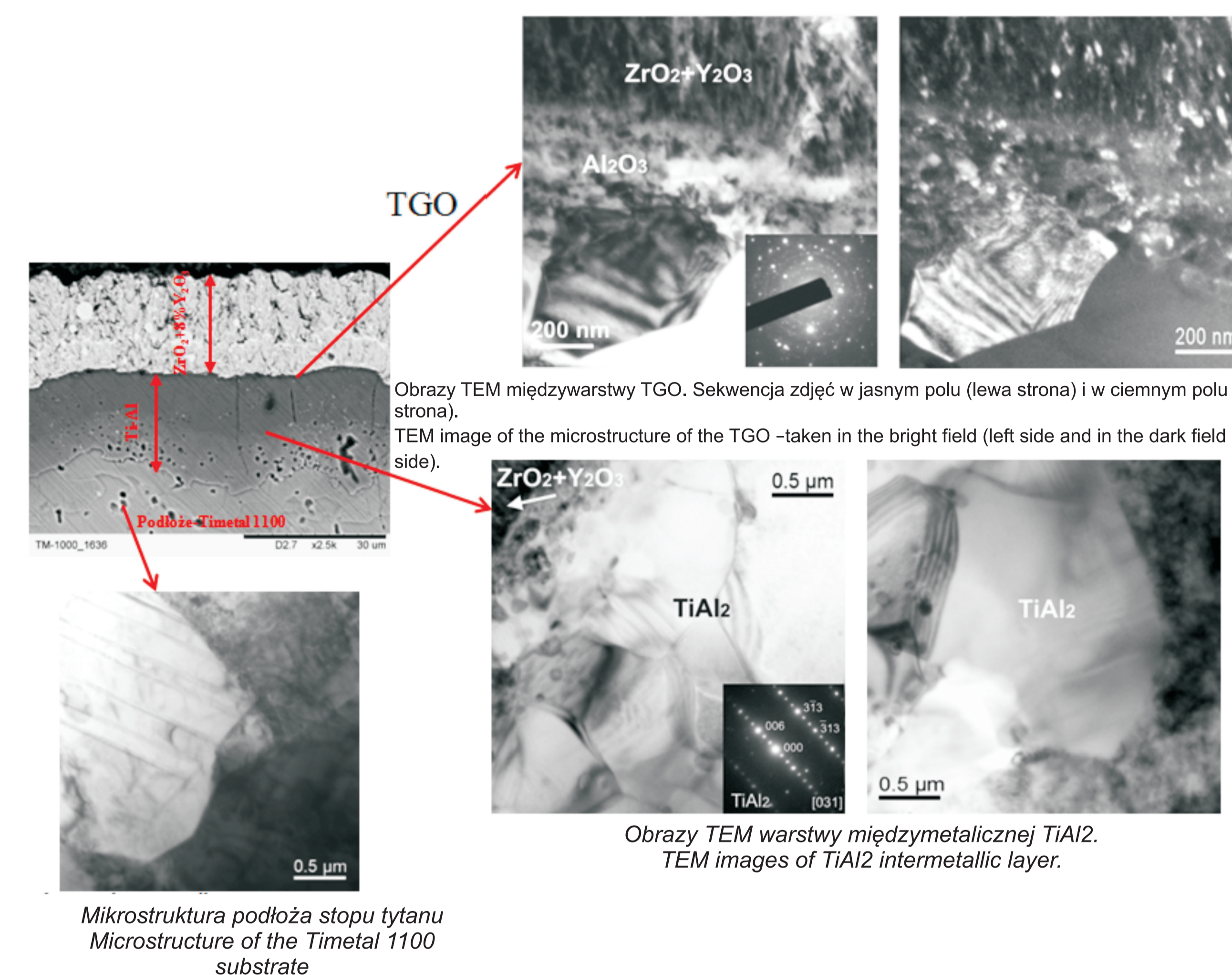
Krzywa Wöhlera dla stopu tytanu Timetal 1100 w stanie wyjściowym oraz z warstwą TiAl<sub>3</sub>+TiAl<sub>2</sub>  
Wöhler curves obtained for the Timetal 1100 titanium alloy in the initial state and coated with the TiAl<sub>3</sub>+TiAl<sub>2</sub> layer.



Charakterystyka zmęczenia dla stopu tytanu Timetal 1100 w stanie wyjściowym oraz po procesie aluminowania  
Fatigue characteristic of the Timetal 1100 titanium alloy in the initial state and after aluminizing.



Morfologia kryształitów w warstwie ZrO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> widoczna przy dużym powiększeniu. Na granicach ziaren występuje faza amorficzna lub tworzą się nieciągłości (pustki).  
Morphology of the crystallites in the ZrO<sub>2</sub>+Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> layer (visible in high magnification).



Obrazy TEM warstwy międzymetalicznej TiAl<sub>2</sub>.  
TEM images of TiAl<sub>2</sub> intermetallic layer.

#### Wnioski

Conclusions

Metoda kontaktowa gazowa umożliwia na podłożu stopu tytanu Timetal 1100 wytworzenie dyfuzyjnej warstwy międzymetalicznej typu: TiAl<sub>3</sub>+TiAl<sub>2</sub>.

Wytworzona warstwa poprawia odporność korozyjną stopu tytanu Timetal 1100 w roztworze 0.1M NaCl ale pogarsza trwałość zmęczeniową stopu.

Metodą LPPS możliwe jest na dyfuzyjnej warstwie międzymetalicznej TiAl<sub>3</sub>+TiAl<sub>2</sub> wytworzenie nanokrystalicznej powłoki ceramicznej ZrO<sub>2</sub>+8%Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zawierającej kolumnową budowę kryształitów.

The pack cementation method permits producing a diffusion intermetallic layer of the TiAl<sub>3</sub>+TiAl<sub>2</sub> type on the Timetal 1100 alloy.

Thus, the produced layer improves the corrosion resistance of the Timetal 1100 titanium alloy exposed in a 0.1M NaCl solution, but however decreases the fatigue strength of the alloy.

Using the LPPS method it is possible to cover the Ti-Al layer with a ZrO<sub>2</sub>+8%Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thermal barrier mostly built of columnar crystallites.

#### Wskaźniki realizacji celów projektu

Indicators of the project

#### Referaty

- T.Sadowski, P. Golewski, *On the problem of heat transfer in polycrystalline composites subjected to quick temperature changes*, DSL 2013, 24 – 28 czerwca 2013
- T.Sadowski, P. Golewski, *Experimental and numerical investigations of TBC behaviors after aging, subjected to tension and bending*, Advanced Materials and Structures - AMS '13, 24 – 25 października.
- R. Sitek, K.J. Kurzydowski, *Influence of the Ti-Al intermetallic surface layer on the corrosion resistance of Timetal 1100*, Plasma Application and Hybrid Functionally Materials Vol. 23 (2014) 39-40. (Proceedings of The 21th Annual Meeting of IAPS International Workshop 2014 in Hong Kong)

#### Publikacje

- T. Sadowski, P. Golewski, *Heat transfer and stress concentrations in a two-phase polycrystalline composite structure*. Part I: Theoretical modelling of heat transfer, Mat.-wiss. u. Werkstofftech. 2013, 44, No. 5