

# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym Modern material technologies in aerospace industry

## Niekonwencjonalne technologie łączenia elementów konstrukcji lotniczych Unconventional technologies of joining elements of aeronautical constructions

Politechnika Lubelska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Częstochowska, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk

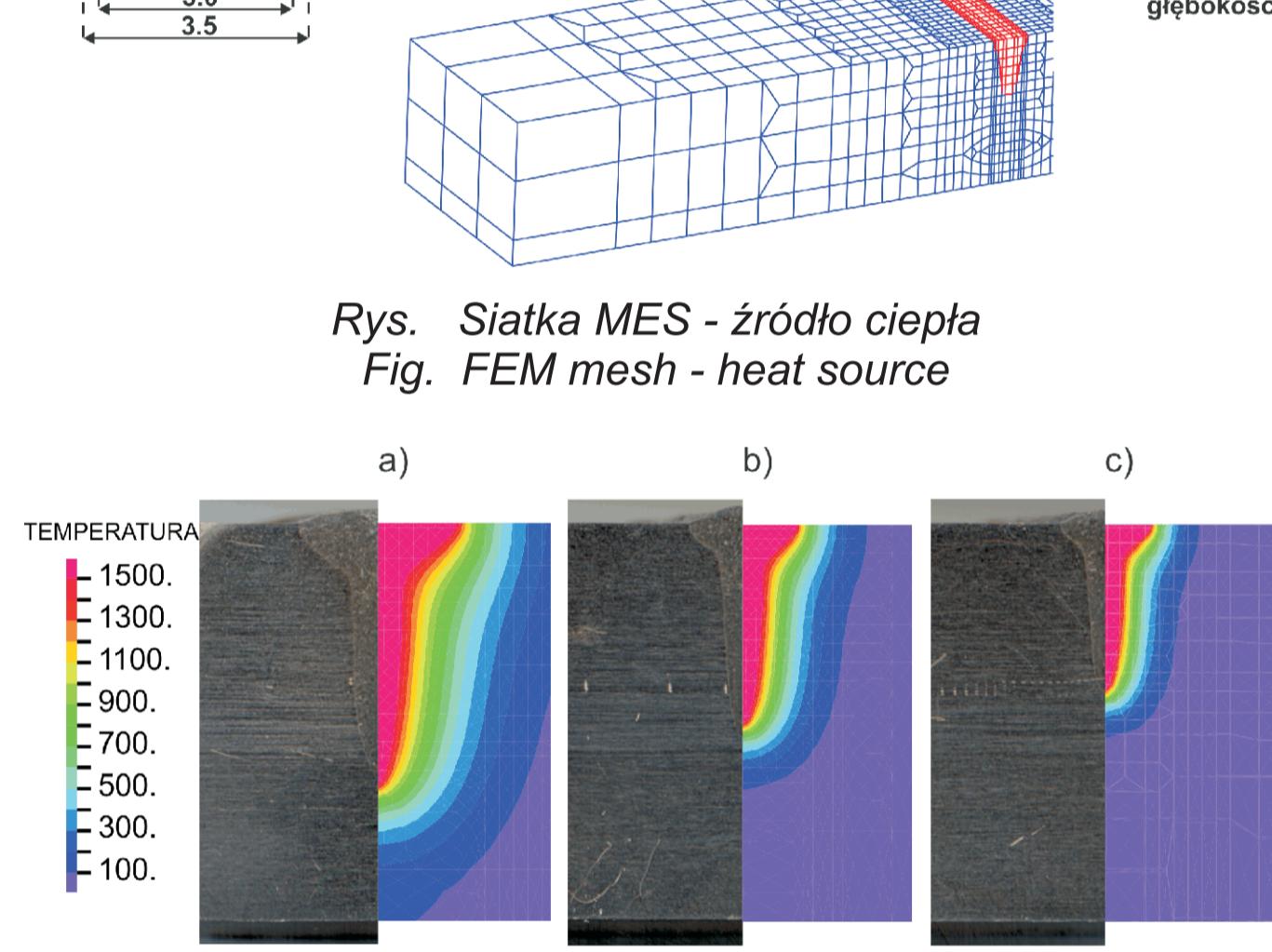
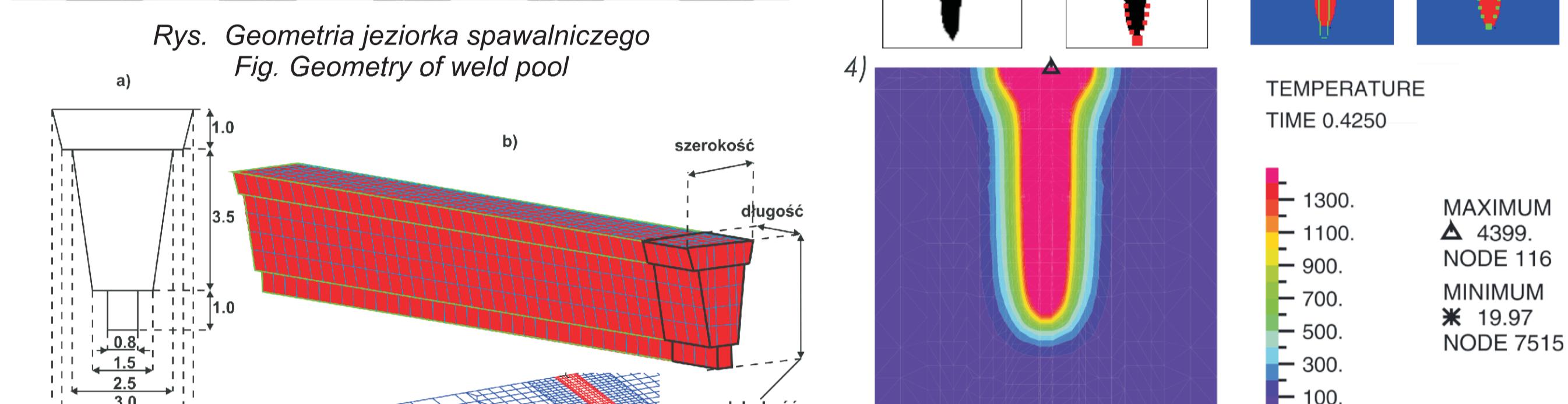
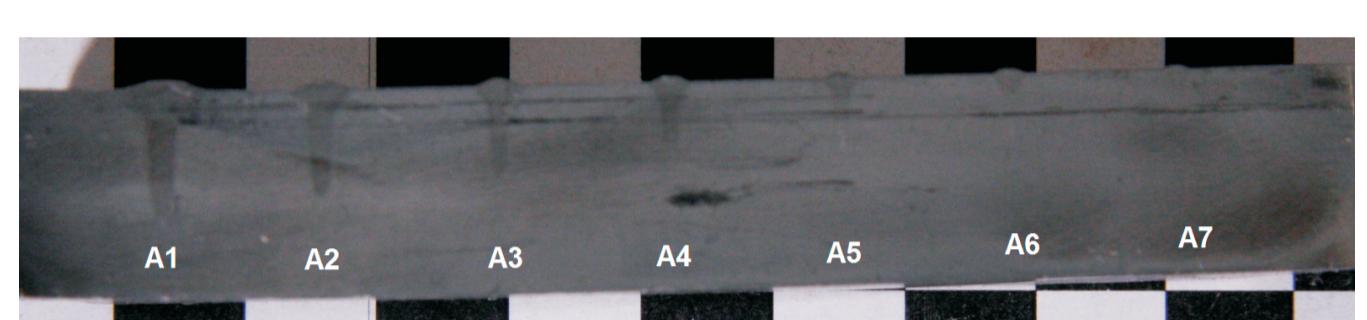
### Wyniki badań Results

#### Analiza numeryczna procesu spawania wiązką elektronów Numerical analysis of electron beam welding process

Do analiz numerycznych wykorzystywano program Adina oparty na metodzie elementów skończonych (MES). Określano rozkład pola temperatury, wielkość deformacji spawanych elementów oraz naprężenia własne po spawaniu. The ADINA System based on Finite Element Method (FEM) was used in the numerical analyses. Temperature distribution, deformation of welded components and residual stresses were determined.

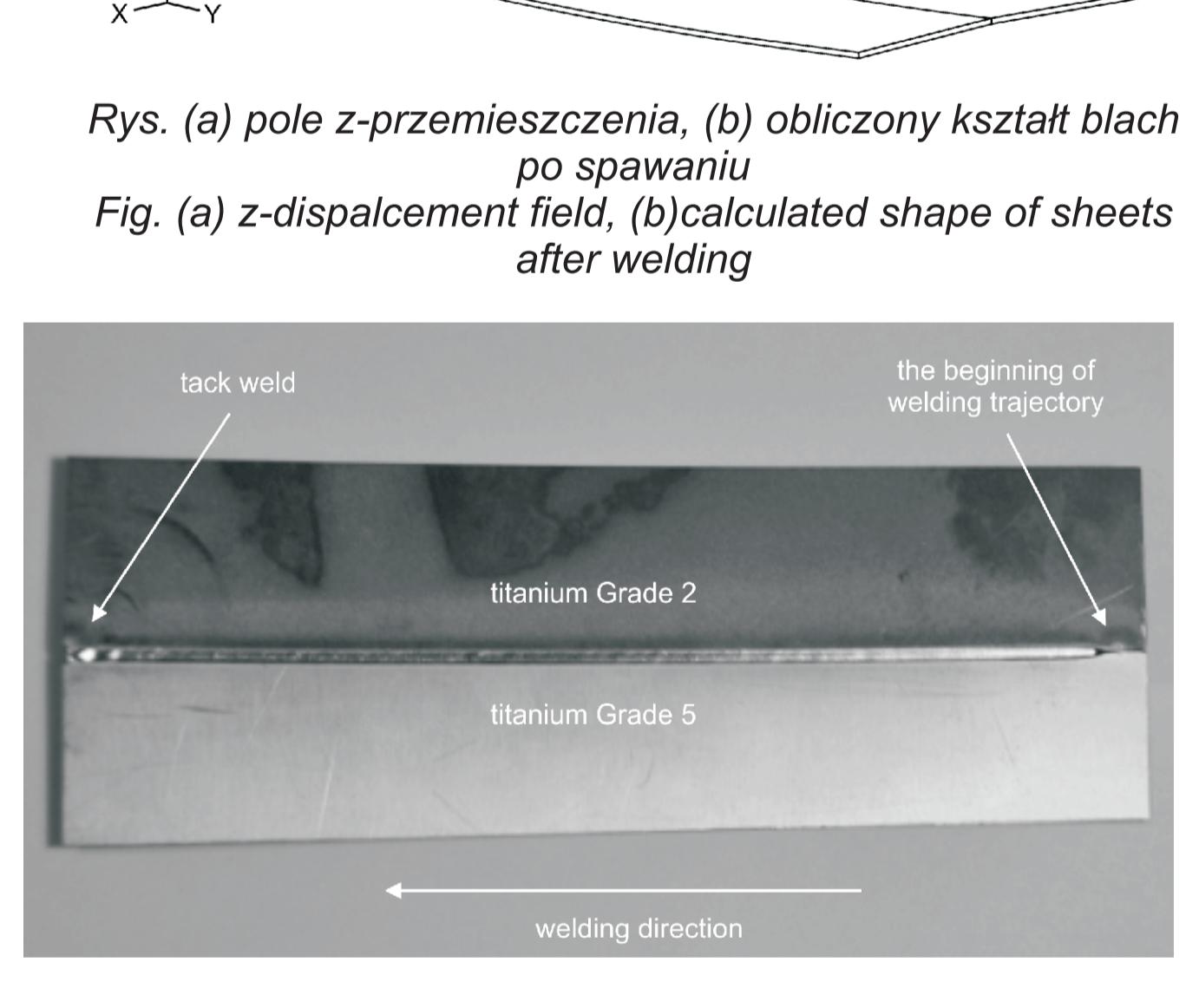
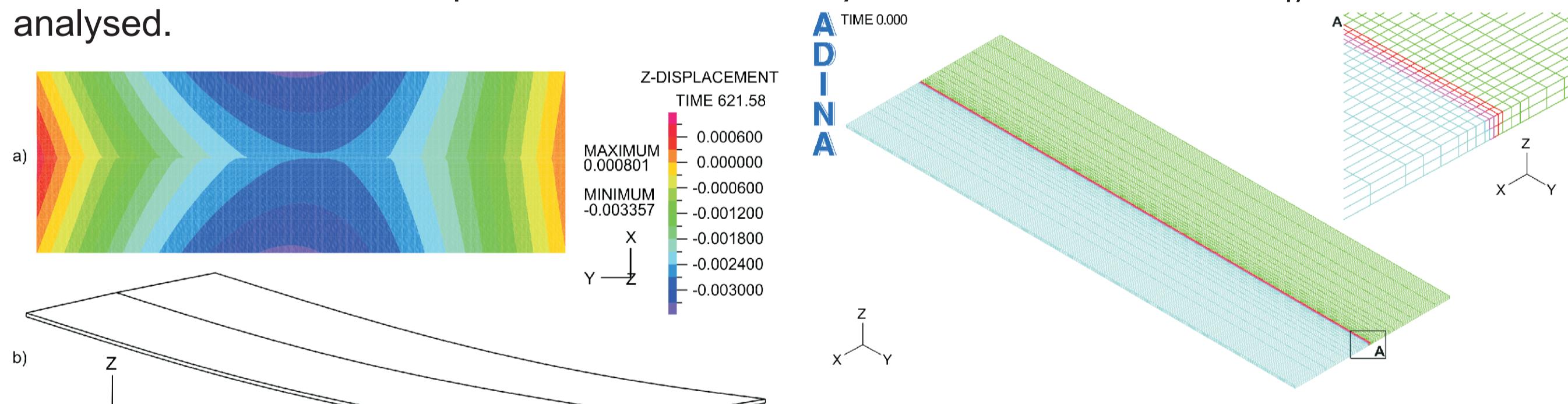
#### Model numeryczny procesu spawania EBW Numerical model of EBW process

Wykorzystano model Partial Least Squares do określania pola temperatur dla procesu spawania wiązką elektronów na podstawie wartości parametrów sterujących procesem. Partial Least Squares model was used to determine temperature field for electron beam welding process on the basis of process control parameters.



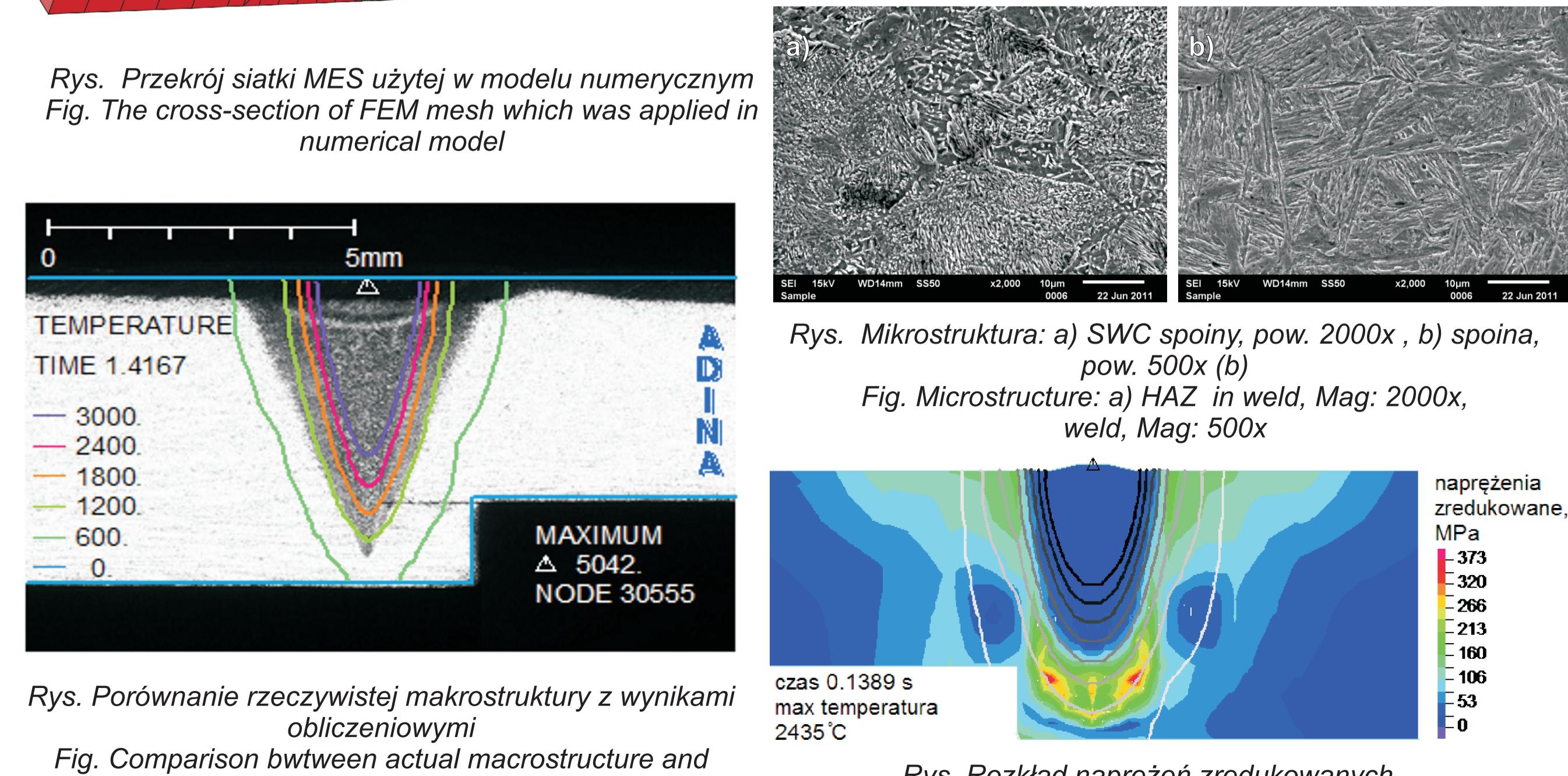
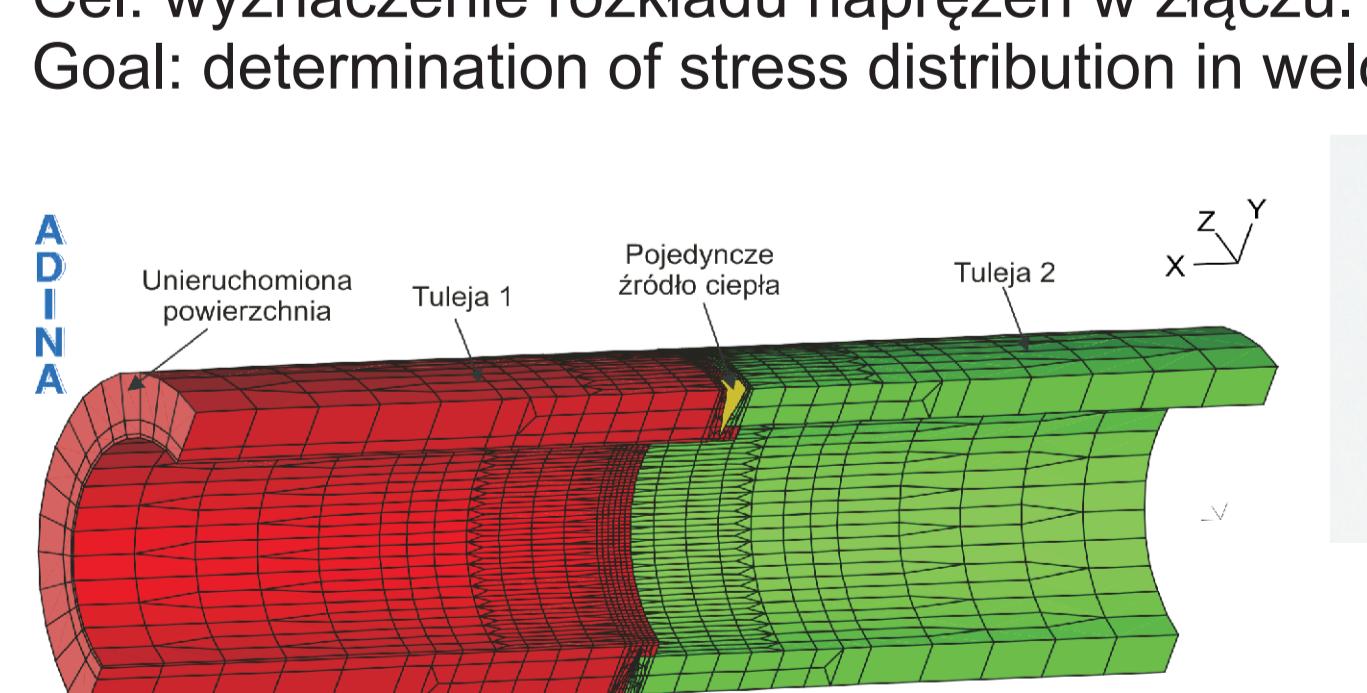
#### Symulacja procesu spawania wiązką elektronów cienkich blach tytanowych Simulation of EBW process of thin titanium sheets

Cel: określenie pola temperatury, naprężień i przemieszczeń. Analizowano połączenie Gr 2 || Gr 5. Goal: determination of temperature, stress and displacement fields Joint Gr 2||Gr 5 was analysed.



#### Analiza numeryczna procesu spawania wiązką elektronów tulei ze stali 30HGSA Numerical analysis of welding 30HGSA steel tubes using EBW technology

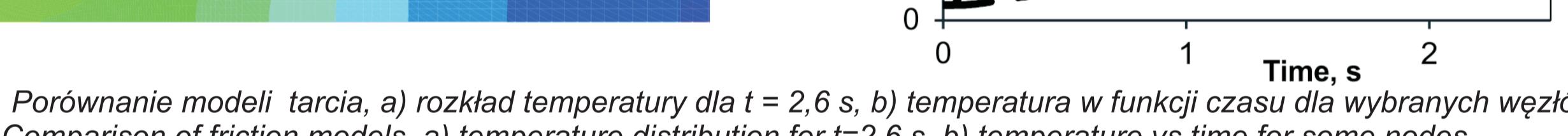
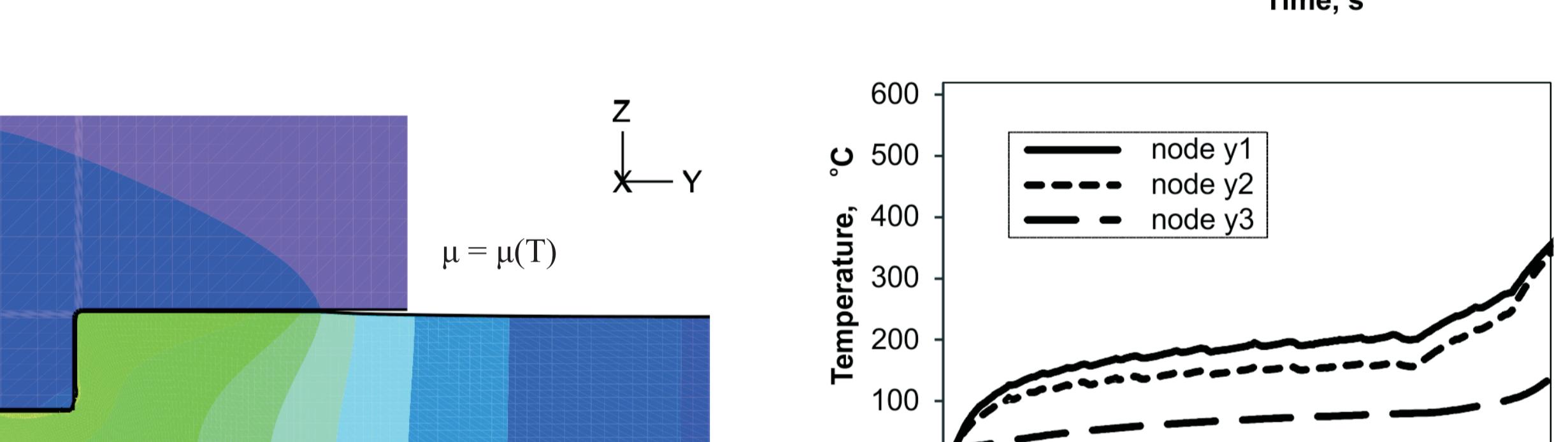
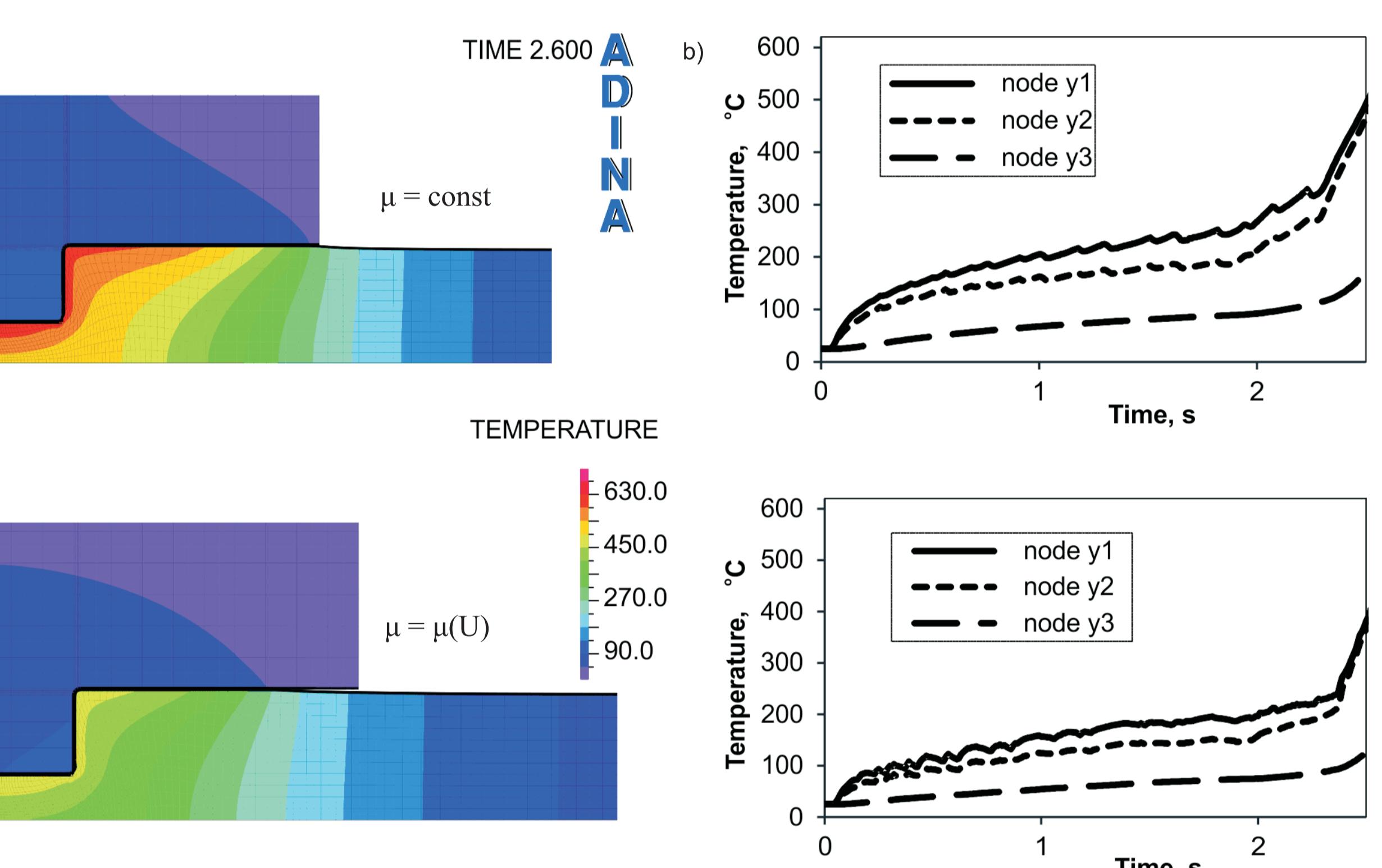
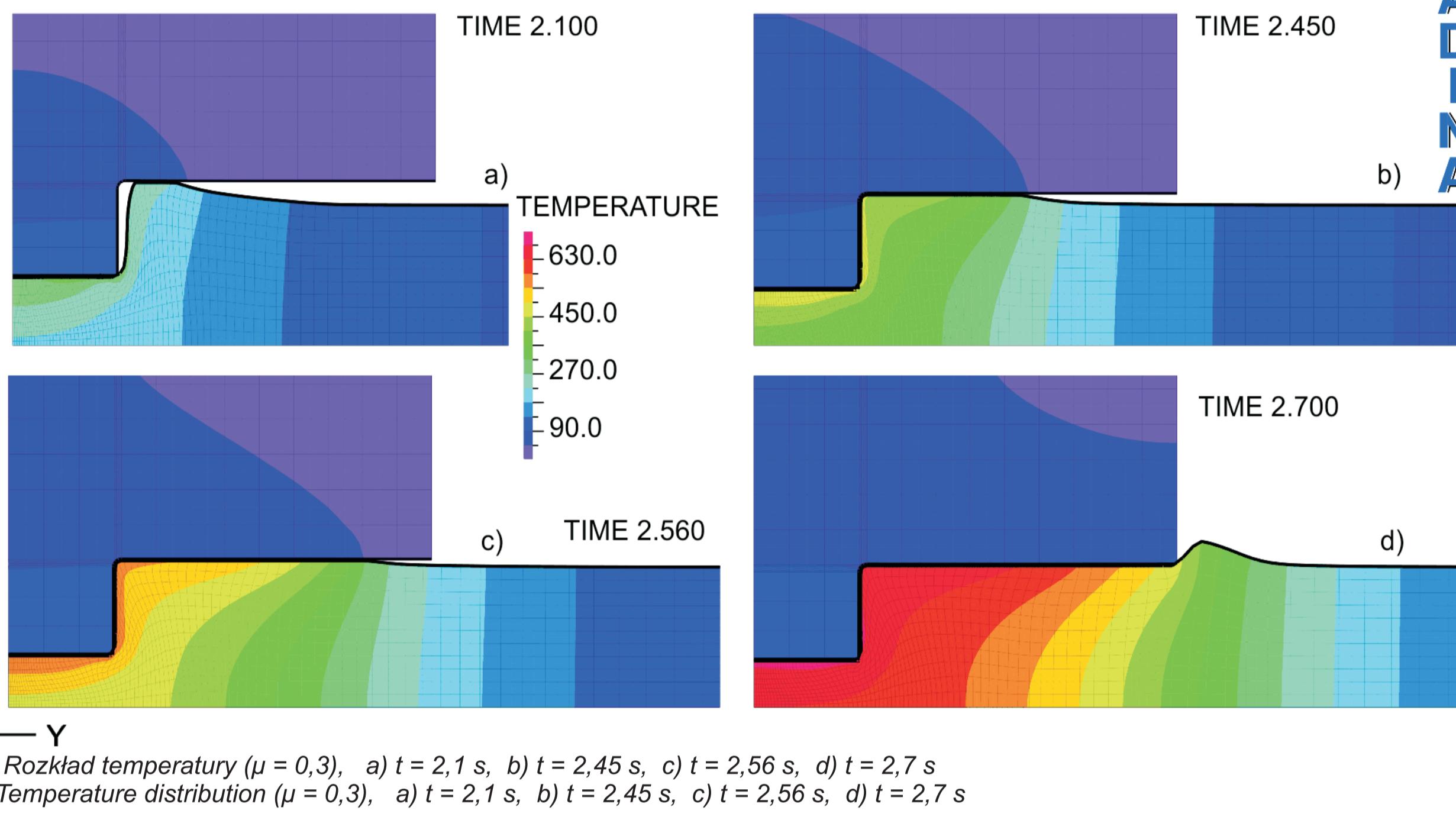
Cel: wyznaczenie rozkładu naprężen w złączu. Goal: determination of stress distribution in welded joint.



#### Analiza numeryczna procesu zgrzewania tarciowego z mieszaniem (FSW) Numerical analysis of friction stir welding (FSW) process

Cel: określenie wpływu parametrów procesu FSW na odkształcania w zgrzewanych materiałach. Badano wpływ modelu tarcia i geometrii narzędzi na generowanie ciepła w zgrzewanym materiale w procesie punktowego zgrzewania tarciowego z przemieszaniem (FSSW)

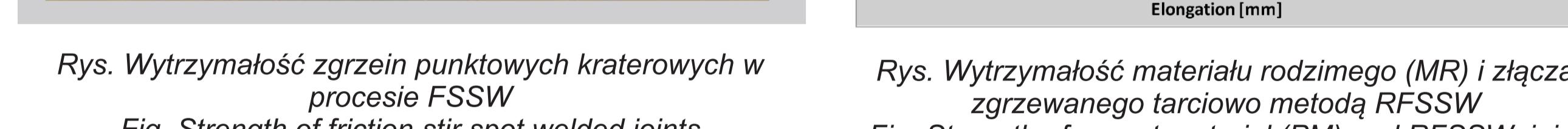
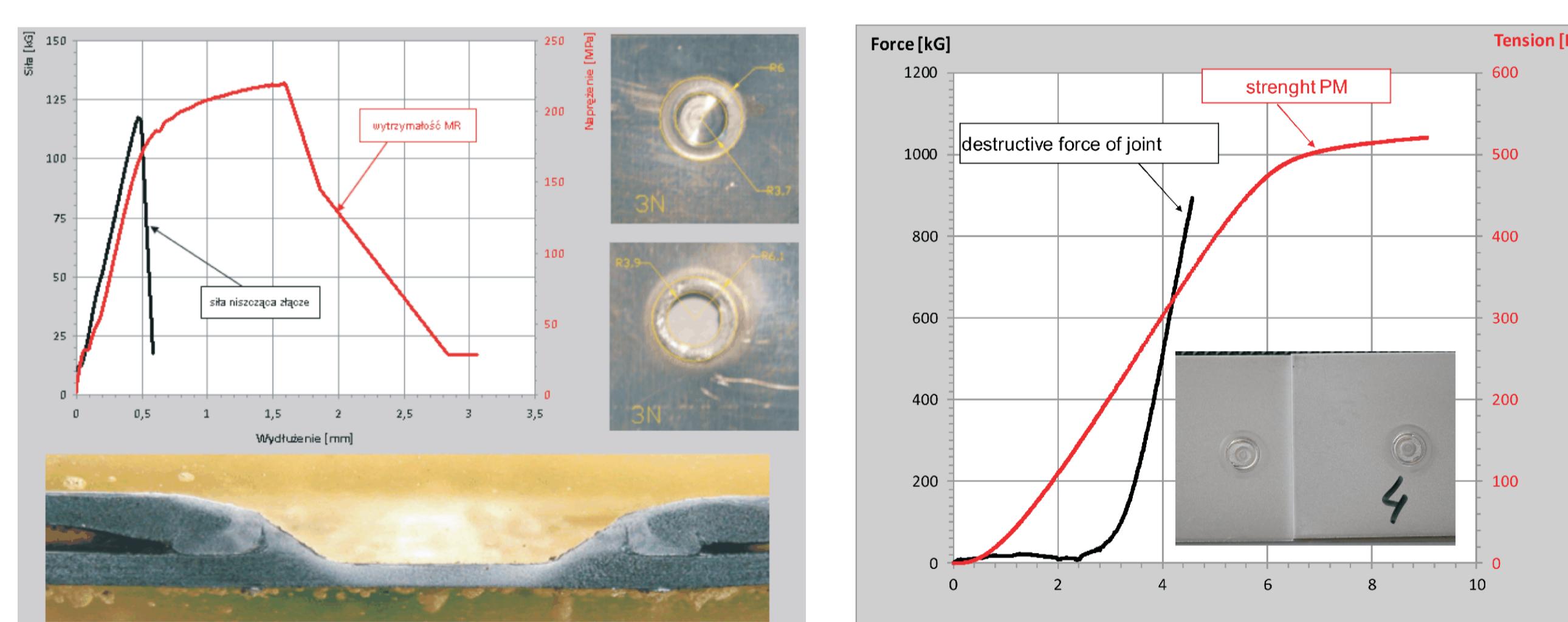
Goal: determination of influence of FSW parameters on strains in welded materials. An influence of frictional model and tool geometry on heat generation in welded materials during friction stir spot welding (FSSW)



Rys. Porównanie modeli tarcia, a) rozkład temperatury dla t = 2,6 s, b) temperatura w funkcji czasu dla wybranych węzłów (Fig. Comparison of friction models, a) temperature distribution for t=2.6 s, b) temperature vs time for some nodes)

#### Badania złącz zakładowych zgrzewanych metodą FSW oraz FSSW Testing of lap joints made by FSW and FSSW methods

Cel: ocena wytrzymałości złącz zakładowych zgrzewanych w próbie ścinania. Goal: assessment of lap joint strength during shear test.



Rys. Wytrzymałość materiału rodzimego (MR) i złącza zgrzewanego tarciowo (RFSSW) (Fig. Strength of parent material (PM) and RFSSW joint)

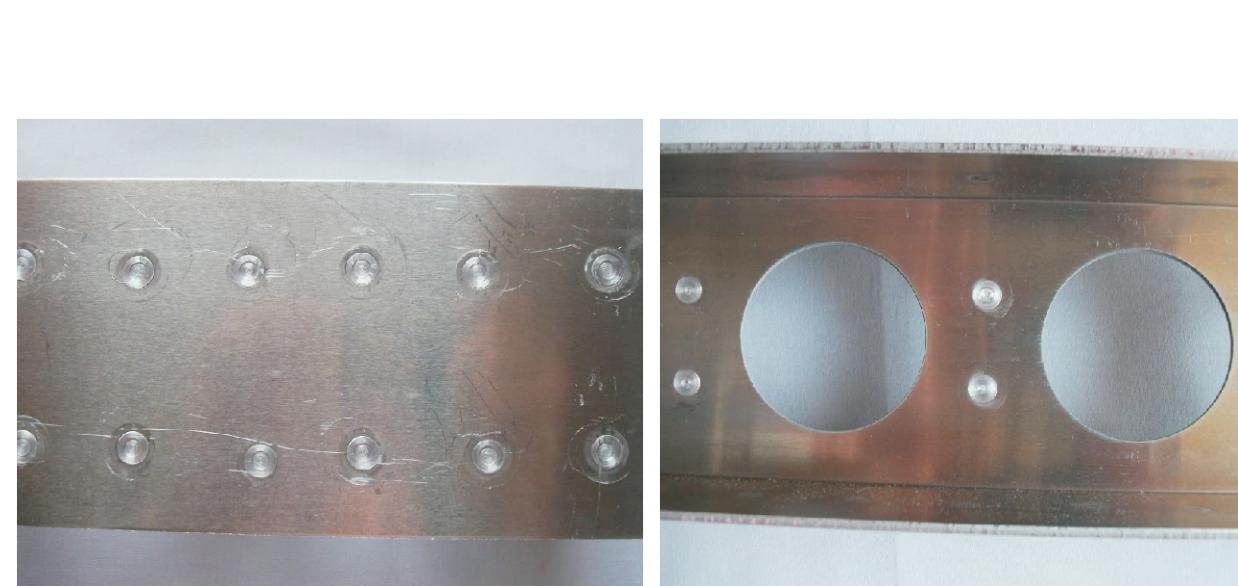
### Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation

Spawanie laserowe lopatek aparatu kierującego sprzątki: połączenie lopatki z wewnętrzem aparatu na całym obwodzie eliminuje drogi i złożoły proces lutowania próżniowego.

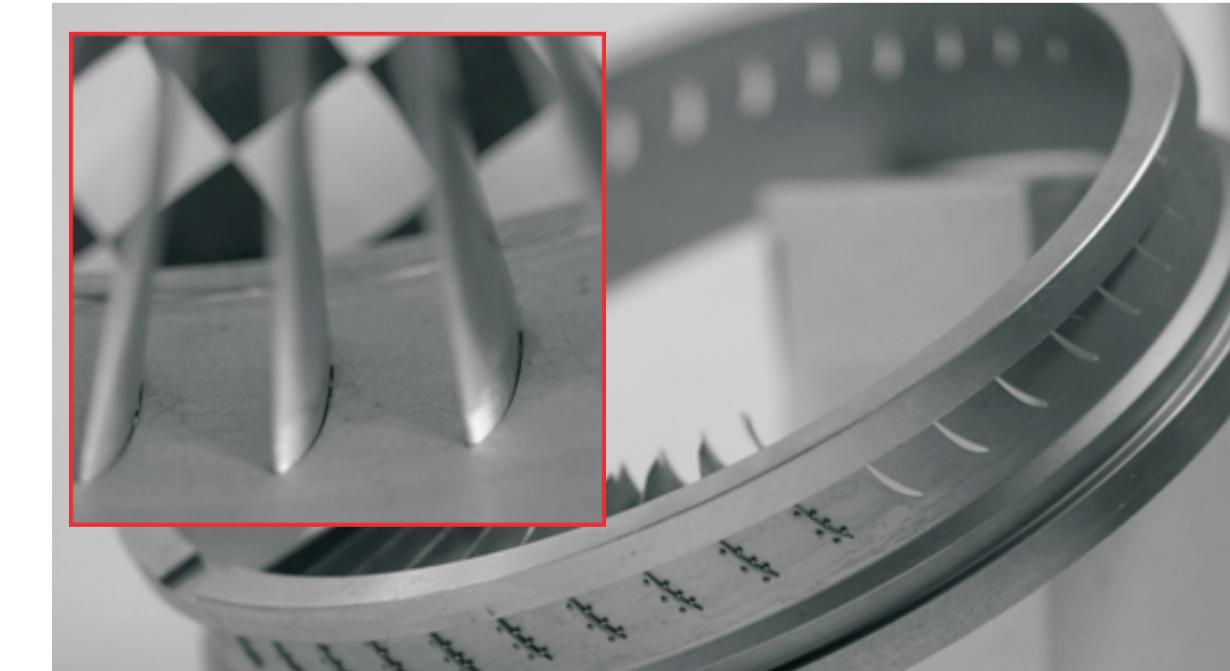
Laser welding of blades of compressor stators: junction between blade and stator crown along the whole circumference eliminates expensive and complex vacuum brasig.

Element struktury lotniczej wykonanej przy użyciu technologii punktowego zgrzewania tarciowego z mieszaniem (FSSW).

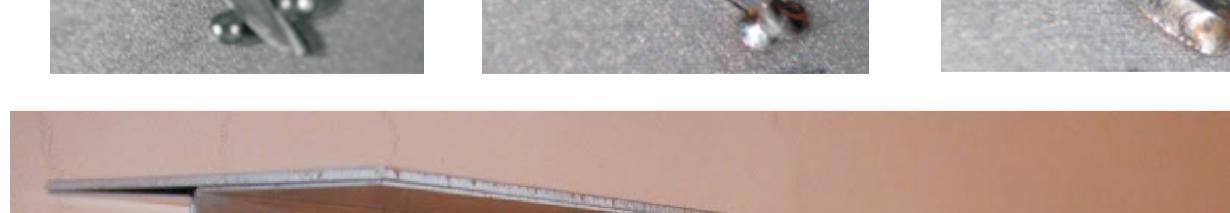
Part of aircraft structure made by friction stir spot welding (FSSW)



Rys. Rozkład naprężeń zredukowanych po 626 s (c) (Fig. Effective stress distribution after 626 s (c))



Rys. Mikrostruktura: a) SWC spoiny, pow. 2000x, (b) spoina, pow. 500x (Fig. Microstructure: a) HAZ in weld, Mag: 2000x, b) weld, Mag: 500x)



Rys. Rozkład naprężeń zredukowanych po 0,1389 s (max temperatura 2435 °C) (Fig. Effective stress distribution after 0,1389 s (max temperature 2435 °C))



Rys. Porównanie rzeczywistej makrostruktury z wynikami obliczeniowymi (Fig. Comparison between actual macrostructure and calculation results)

#### Spawanie lotniczych stopów tytanu Welding of titanium alloys used in aviation

Cel: określenie warunków spawania oraz ocena możliwości zastosowania niekonwencjonalnych lukowych metod łączenia stopów tytanu stosowanych na konstrukcję lotnicze.

Goal: determination of welding parameters and assessment of applicability of unconventional arc welding methods to joining titanium alloys in aircraft applications.

Tabela 1. Spawalność stopów tytanu  
Table 1. Weldability of titanium alloys

Stop tytanu	Spawalność	Materiał dodatkowy
Czysty tytan handlowy	A	ERTI-1
Ti-0,2O <sub>2</sub>	A	ERTI-2
Ti-0,35 O <sub>2</sub>	A	ERTI-4
Ti-0,2Pd	A	ERTI-7
Ti-5 Al-2,5Sn	B	ERTI-6
Ti-Al-2,5 Sn ELI	A	ERTI-6ELI
Ti-6 Al-4V ELI	A	ERTI-SELI
Ti-7 Al-4Mo	C	ERTI-12
Ti-8Mn	D	Spawanie nie jest zalecane

A - bardzo dobra spawalność, B - dobra spawalność, C - ograniczona spawalność do specjalnych aplikacji (możliwe pękanie przy wysokim utwardzeniu), D - spawalność ograniczona (pełnienie występuje przy niewielkim utwardzeniu) należy stosować podgrzewaniestępne w zakresie 150-180 °C a następnie natrójcecieplne po spawaniu.

Rys. Stopnie uleżenia w złączu spawanym tytanu (Grade 5)  
Fig. Oxidation levels in titanium welded joint (Grade 5)

### Wnioski Conclusions

#### 1. Modelowanie procesu spawania elektronowego:

Jest możliwe opracowanie modelu procesu spawania wiązką elektronów, który przewiduje pole temperatury, naprężeń i przemieszczeń w funkcji parametrów sterujących procesem spawania. Zaproponowane rozwiązanie wymaga określenia geometrii strefy przetopienia, kalibracji źródła ciepła i wykonania analizy termomechanicznej. Do określenia geometrii przekroju strefy przetopienia można wykorzystać metodę Partial Least Squares, PLS. Do określania pola temperatury, naprężień i przemieszczeń można wykorzystać analizę termomechaniczną przy pomocy Metody Elementów Skończonych.

#### Modelling of electron beam welding

It is possible to develop model of electron beam welding process that predicts distribution of temperature, stresses and displacements as function of welding process control parameters. The suggested approach requires determination of fusion zone cross-section geometry, calibration of heat source based on the calculated geometry and performing thermomechanical calculations. In order to determine the geometry of a fusion zone cross-section Partial Least Squares method can be applied. In order to determine temperature, stress and displacement fields thermomechanical analysis based on Finite Element Method can be applied.

#### 2. Zgrzewanie tarciowe z mieszaniem:

Wytrzymałość złącz zgrzewanych tarciowo z mieszaniem FSW/FSSW jest wyższa w porównaniu do złącz nitowych i nitowo-klejonych. Wyższa wytrzymałość, zwłaszcza wykonywanych za pomocą narzędzi z ruchomym trzonkiem RFSSW, wynika z większej powierzchni czynnej przenoszącej obciążenie zewnętrzne, jak również istniejącej ciągłości materiałowej.

#### Friction Stir Welding:

Strength of FSW/FSSW joints is higher compared to riveted and hybrid adhesive bonded /riveted joints. Higher strength of the joints with mobile pin, RFSSW joints, results from the larger active surface, which carries external loads, as well as existing material continuity.

#### 3. Opracowanie technologii spawania laserowego elementów lotniczych:

Spawanie przedlutownicze laserem jest alternatywną technologią do obecnie stosowanej w montażu aparatu kierującego, gdyż umożliwia jednoznaczne, szybkie i niepowodujące zmian w materiale podstawowym szczepienie lopatek do wieńca. Brak konieczności stosowania materiału dodatkowego oprócz skrócenia czasów międzyoperacyjnych obniża istotnie koszty wytwarzania aparatów.

#### Development of laser welding technology for aerospace components:

Laser welding before brazing is an alternative to currently applied technology during assembly of stator crown, since it allows for high quality, fast joining of the stator crown with blades without introducing changes into the parent material. There is no need for additional material, thus the time between operations is shortened and manufacturing costs are significantly reduced.

### Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym Collaboration with aviation industry

W zakresie realizowanych badań zespół P.Cz. współpracuje z podmiotami przemysłowymi: WSK Świdnik - współpraca dotyczy zagadnienia klejenia okładzin hamulcowych do klocków hamulcowych hamulca bębnowego wirnika nośnego śmigłowca Mi-2

PZL Mielec - współpraca dotyczy zagadnienia zgrzewania tarciowego z przemieszaniem

P&W Kalisz - współpraca dotyczy zagadnienia możliwości zastąpienia technologii lutownia spawaniem w aparatach kierujących.

WSK Rzeszów - współpraca dotyczy optymalizacji procesu spawania wiązką elektronów

### Wskazniki realizacji celów projektu Indicators of the project

#### Referaty

- Lacki P.: *Simulation of sheet-titanium forming of welded blanks*. XII International Conference on Computational Plasticity. Fundamentals and Applications, 3-5.IX.2013, Barcelona, Spain
- Lacki P., Adamus K., Wieczorek P.: *Theoretical and experimental analysis thermo-mechanical phenomena during electron beam welding process*. IWCMM23, the 23rd International Workshop on Computational Mechanics of Materials, 2-5.X.2013, Singapore
- Lacki P., Kucharczyk Z., Adamus K.: *Theoretical and experimental analysis of friction stir welding FSSW*. IWCMM23, the 23rd International Workshop on Computational Mechanics of Materials, 2-5.X.2013, Singapore
- Lacki P., Derlatka A.: *Analiza numeryczna aluminiowych belek żurawowych*. X Jubileuszowa Konferencja n.t. Odkształcaczność Metali i Stopów - OMIS'2013, Łęczna Zamek, 26-29.XI.2013
- Lacki P., Derlatka A., Winnicka J.: *Rozciąganie próbek jednolitych oraz zgrzewanych punktowo za pomocą FSSW*. X Jubileuszowa Konferencja n.t. Odkształcaczność Metali i Stopów - OMIS'2013, Łęczna Zamek, 26-29.XI.2013

#### Publikacje

- Lacki P.: *Simulation of sheet-titanium forming of welded blanks*. XII International Conference on Computational Plasticity. Fundamentals and Applications COMPLAS XII; ed. E. Oñate, D.R.J. Owen, D. Peric and B. Suárez (Eds); paper 482
- Lacki P., Derlatka A.: *Application of FSSW technology in aluminum structure*. Obróbka Plastyczna Metali Vol. XXIV 3/2013 s. 205-218
- Kudla K., Wojsyk K., Adamus K.: *The properties of spot-welded joints produced by the FSSW and RFSSW methods*. Obróbka Plastyczna Metali Vol. XXIV 3/2013 s. 193-205
- Kudla K., Wojsyk K., Kucharczyk Z.: *Properties of Overlap Joints Welded by the Friction Stir Welding Method*. Obróbka Plastyczna Metali Vol. XXIV 3/2013 s. 179-192
- Walasek T.A., Moryń-Kucharczyk E., Kucharczyk Z., Morawska-Walasek D.: *Computer simulation of the static recrystallization process*. Obróbka Plastyczna Metali Vol. XXIV 3/2013 s. 159-168

#### Prace mgr, dr, hab. Prace doktorskie

- Tytuł: *Teoretyczna i eksperymentalna analiza zjawisk termomechanicznych procesu spawania wiązką elektronów*  
Autor: Adamus Konrad  
Promotor: dr hab. inż. Piotr Lacki  
Planowany czas obrony: 12.12.2013  
Prace habilitacyjne  
Tytuł: <i