

# Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

## Modern material technologies in aerospace industry

### Materiały kompozytowe o zwiększonej wytrzymałości i odporności termicznej z wykorzystaniem żywic polimerowych do zastosowań w lotnictwie

### Composite materials of increased strength and thermal resistance with the use of polymeric resins applied in aviation

Politechnika Lubelska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Warszawska

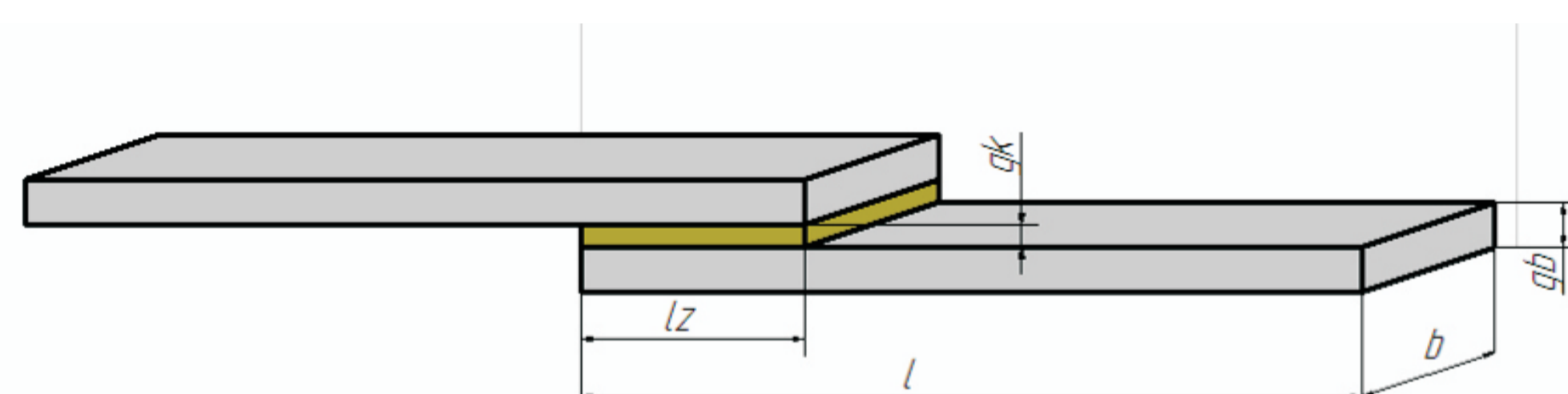
#### Wyniki badań Results

**Badania wytrzymałości połączeń klejowych w podwyższonej temperaturze po modyfikacji E57/Z1 napelniaczem nanobent ZR-1**

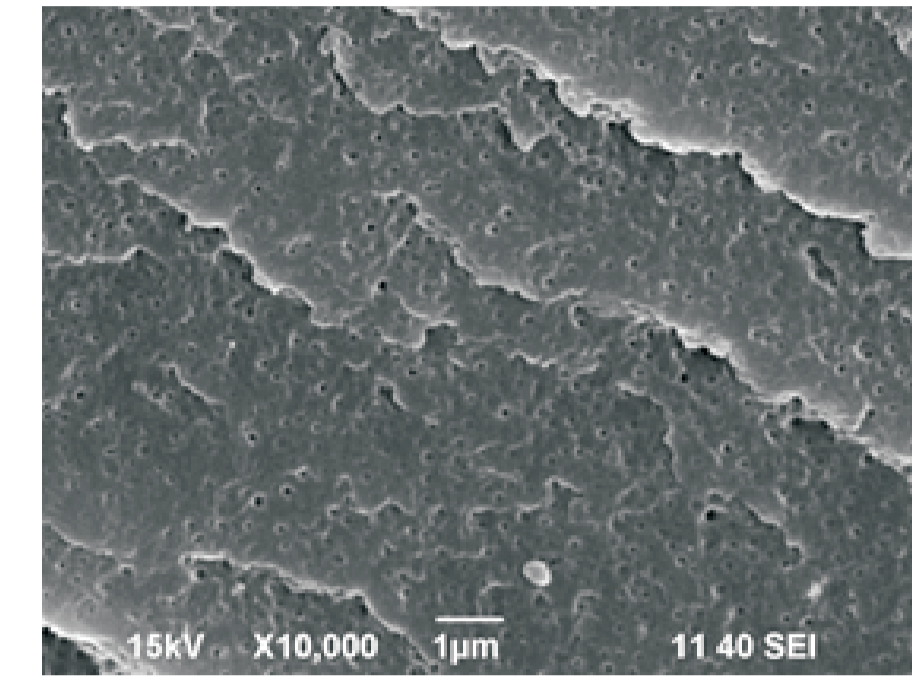
**Research on strength of adhesive joints at high temperature after E57/Z1 modification with nanobent ZR-1 nanofiller**

Tabela 1. Wykaz próbek zastosowanych w badaniach wytrzymałościowych  
Table 1. Specimens used in strength tests

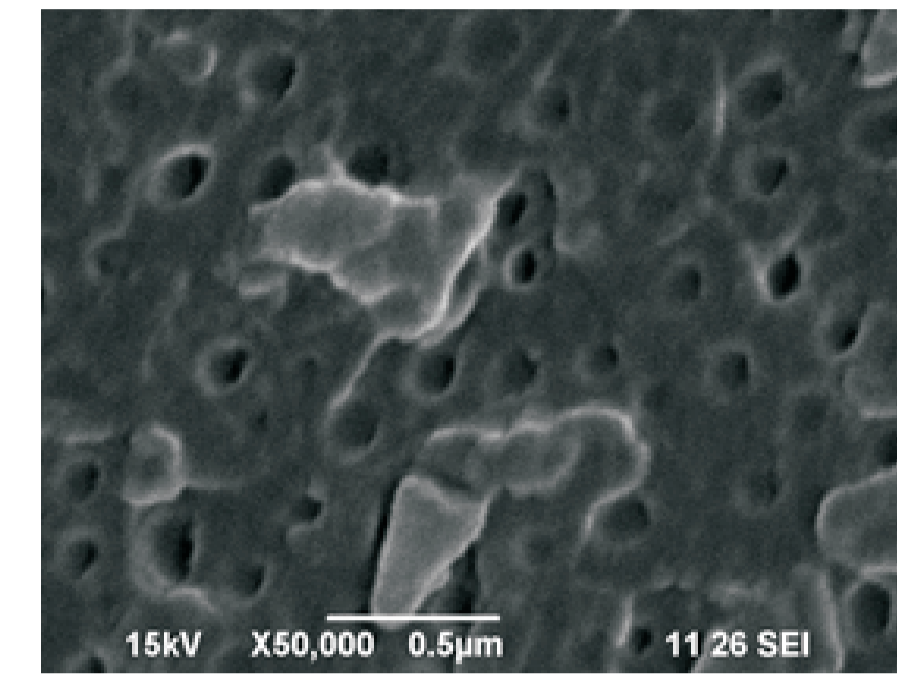
Nr próbki	Zawartość nanonapelniacza [%]	Temperatura utwardzania [°C]		Temperatura badań niszczących [°C]			
		20	80	20	60	80	100
A1-A40	0	40szt.	-	10	10	10	10
A41-A80	0	-	40szt.	10	10	10	10
B1-B40	2	40szt.	-	10	10	10	10
B41-B80	2	-	40szt.	10	10	10	10



Rys.1. Połączenie klejowe stosowane w badaniach porównawczych  
Fig.1. Schematic view of adhesive lap joint

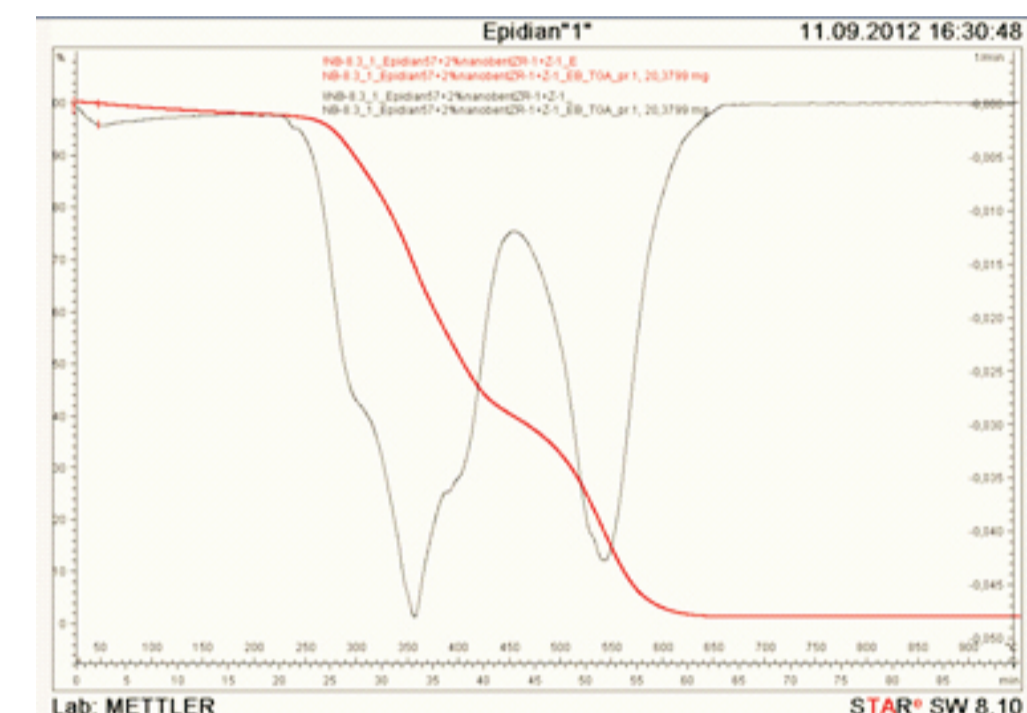


Rys. 6. E57+2% NanoBent ZR-1+Z-1  
Fig. 6. E57+2% NanoBent ZR-1+Z-1

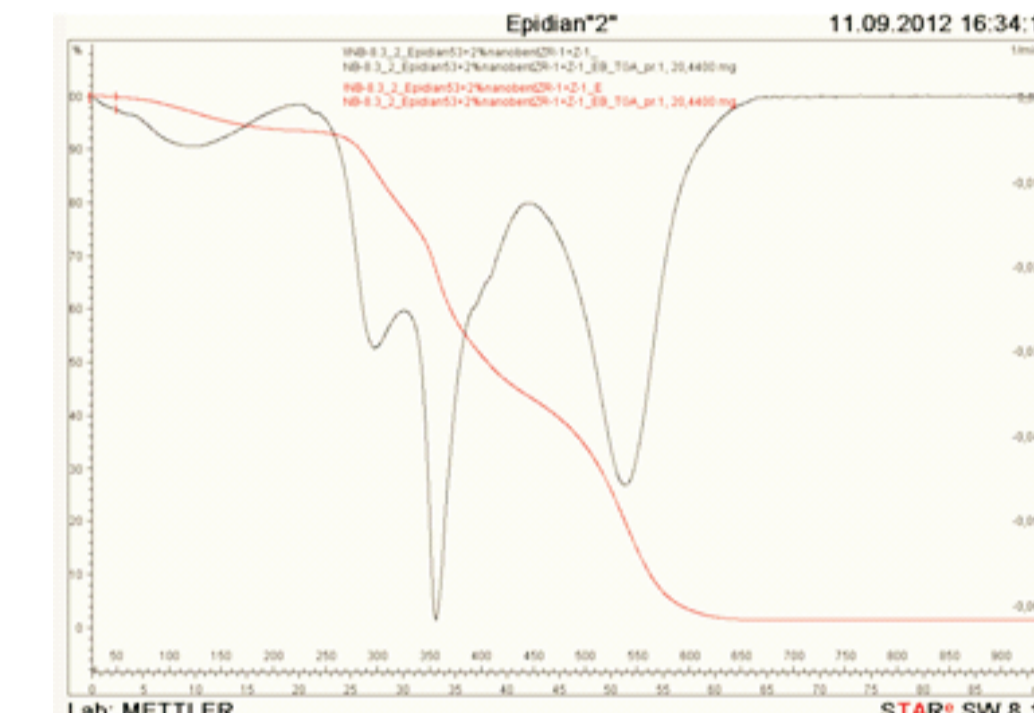


#### Analiza TGA

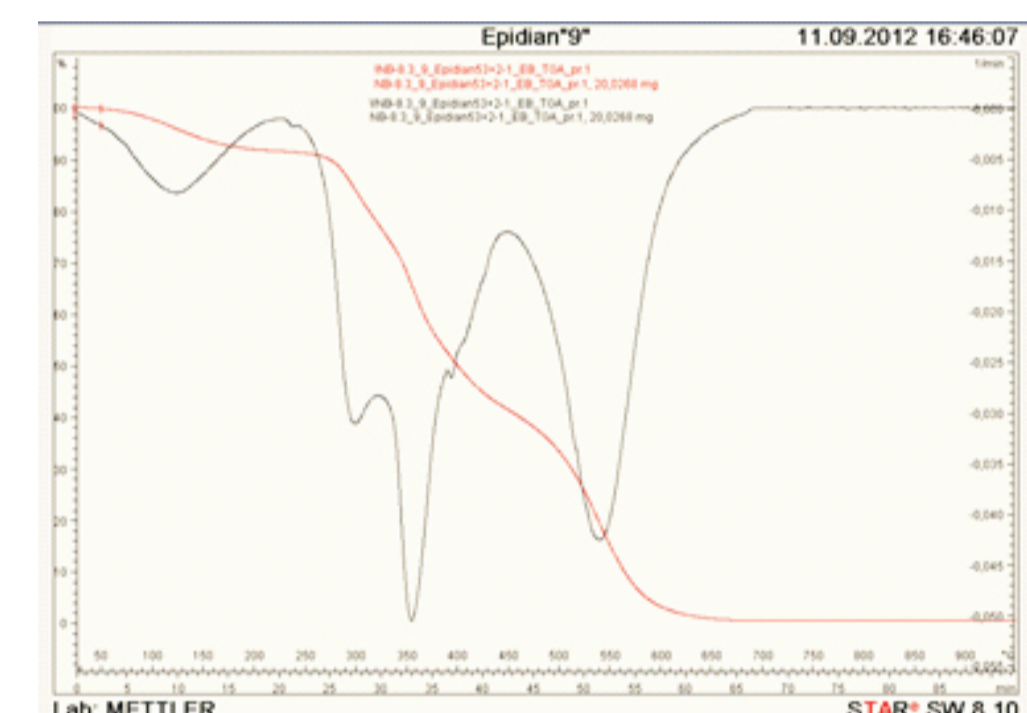
#### Thermogravimetric analysis



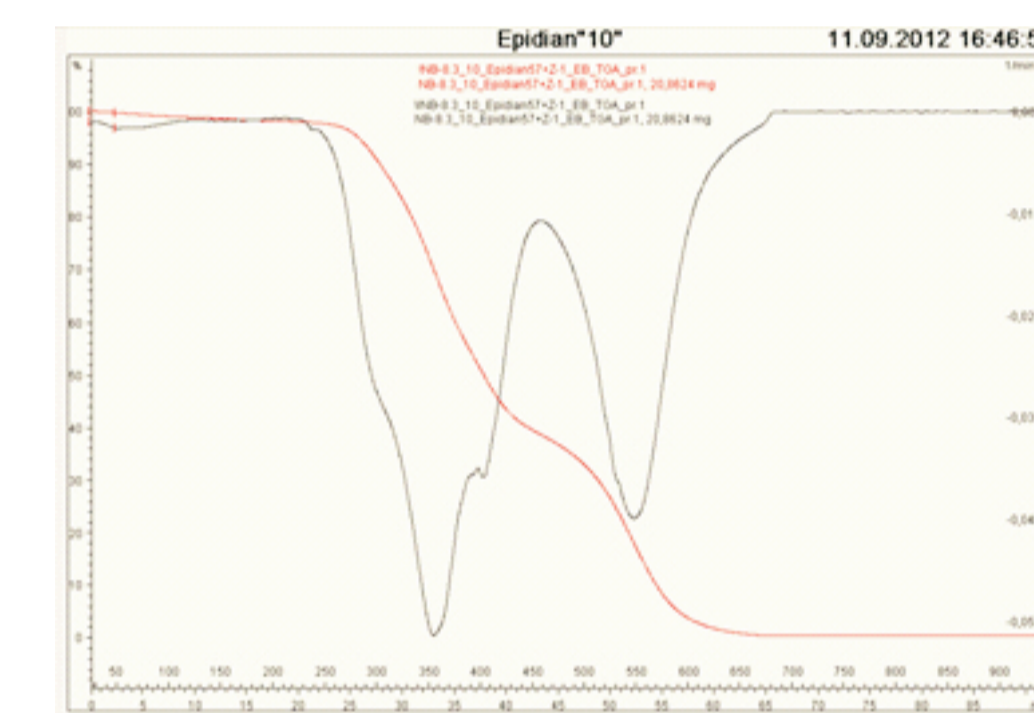
Rys. 7. Wykres TGA dla kompozycji Epidian57 + 2% napelniacza NanoBent ZR-1  
Fig. 7. Thermogravimetric analysis diagram for composition containing epoxy resin Epidian 57 and 2% of nanofiller NanoBent ZR-1



Rys. 8. Wykres TGA dla kompozycji Epidian 53 + 2% napelniacza NanoBent ZR-1  
Fig. 8. Thermogravimetric analysis diagram for composition containing epoxy resin Epidian 53 and 2% of nanofiller NanoBent ZR-1



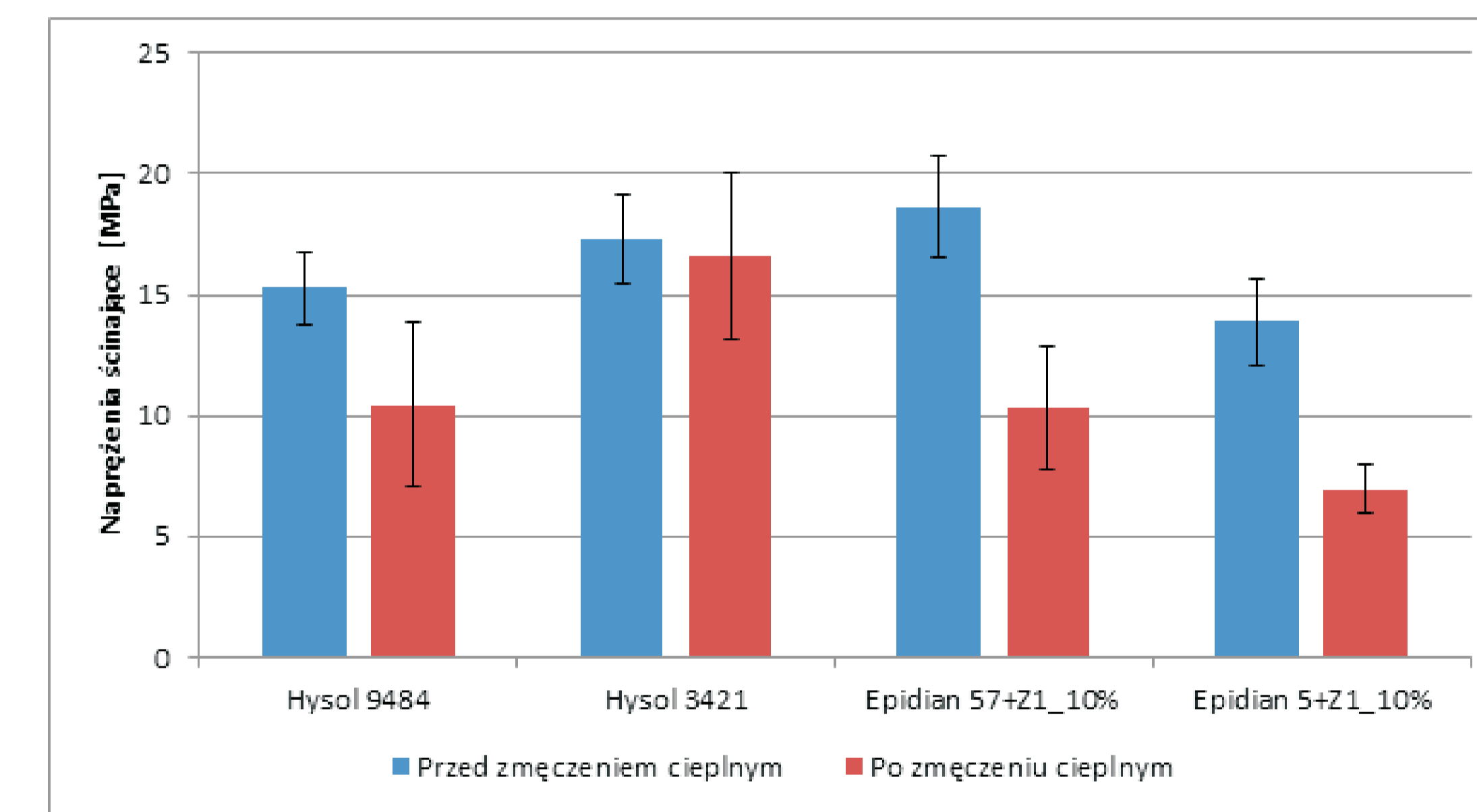
Rys. 9. Wykres TGA dla czystego kleju Epidian 53  
Fig. 9. Thermogravimetric analysis diagram for epoxy resin Epidian 53



Rys. 10. Wykres TGA dla czystego kleju Epidian 57  
Fig. 10. Thermogravimetric analysis diagram for epoxy resin Epidian 57

#### Szoki termiczne

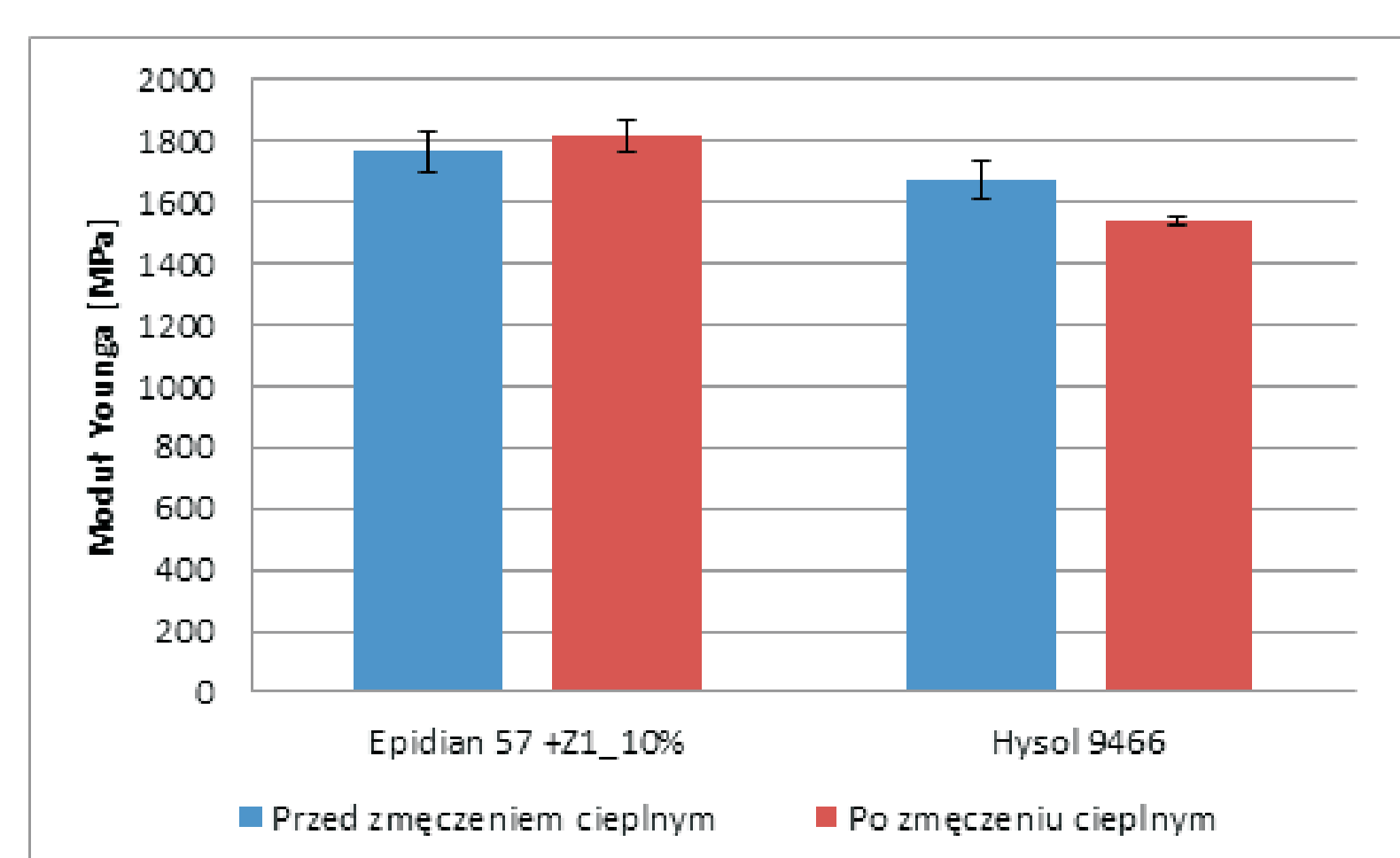
#### Thermal shock



Rys. 11. Naprężenia ścinające w jednozakładkowym połączeniu klejowym po zmęczeniu cieplnym  
Fig. 11. Shear stress in single-lap adhesive joint after thermal shock fatigue



Rys. 12. Wyznaczanie modułu Younga  
Fig. 12. Determination of the Young's modulus



Rys. 13. Moduł Younga po zmęczeniu cieplnym  
Fig. 13. Young's Modulus after thermal shock fatigue

#### Wnioski Conclusions

- Przeprowadzone badania uzupełniające potwierdzają pozytywny efekt modyfikacji żywic epoksydowych krzemianami warstwowymi i sferycznymi o dużym stopniu rozdrobnienia w aspekcie zwiększenia ich wytrzymałości w podwyższonych temperaturach eksploatacyjnych.
- Modyfikacja kleju epoksydowego napelniaczem NanoBent ZR-1 istotnie zmienia wytrzymałość statyczną na ścinanie zakładkowych połączeń klejowych.
- Utwardzanie w temperaturze pokojowej kleju E57/Z1 modyfikowanego napelniaczem NanoBent ZR-1 w ilości 2% masowo w stosunku do żywicy, zwiększa wytrzymałość statyczną na ścinanie połączeń klejowych w zakresie temperatury 30 – 70°C, przy czym wzrost ten jest największy w temperaturze badań niszczących 60°C i wynosi ok. 30%.
- Dotwardzanie kleju epoksydowego E57/Z1 w temperaturze 80°C przez 1h zwiększa wytrzymałość statyczną na ścinanie zakładkowych połączeń klejowych w całym zakresie analizowanej temperatury, wzrost ten jest największy dla temperatury badań niszczących 60°C i wynosi ok. 25%.
- Wysoki wzrost temperatur degradacji odnotowano dla żywicy epoksydowej Epidian 53 z dodatkiem 2% montmorylonitu NanoBent ZR-1, gdzie odnotowano wzrost o 26°C, 8°C oraz 6°C dla temperatur odpowiadających temperaturom 5%, 10% oraz 50% ubytku masy.
- Interesujące wydają się wyniki otrzymane dla żywicy epoksydowej Epidian 57, gdzie dla czystej żywicy temperatura degradacji jest ponad dwukrotnie wyższa w porównaniu z żywicą Epidian 53, jednak dodatek napelniacza w postaci montmorylonitu NanoBent ZR-1 obniżył temperaturę degradacji o 7°C, 5°C oraz 6°C dla temperatur odpowiadających temperaturom 5%, 10% oraz 90% ubytku masy, a jedynie dla temperatury odpowiadającej 50% ubytku masy nastąpił 2°C wzrost temperatury.
- Dla jednozakładkowych połączeń klejowych wykonanych ze stali 316L po obróbce mechanicznej narzędziem nasypowym o ziarnistości P320 poddanych obciążeniom cieplnym zauważono znaczący spadek wytrzymałości dla próbek klejonych klejem Hysol 9484, Epidian 57+Z1 oraz Epidian 5+Z1.

- Additionally conducted research proved positive effect of epoxy resin modification using highly fragmented, layered and spherical silicates on increase of strength in elevated temperature.
- Epoxy resin modification using NanoBent ZR-1 nanofiller changes the static shear strenght of overlap bonding joints.
- Room temperature curing of epoxy resin E57/Z1 modified with nanofiller NanoBent ZR-1 in amount of 2 % by weight to ratio of epoxy resin, increases the static shear strenght of overlap bonding joints in temperature range of 30 – 70°C, while the increase is the highest in temperature of 60°C in destructive tests and amounts about 30%.
- Post curing of epoxy resin E57/Z1 in temperature of 80°C through 1h increases the static shear strength of overlap bonding joints in whole range of analyzed temperature, the increase is the highest for destructive test temperature of 60°C and amounts about 25%.
- High increase of breakdown temperature was noticed for epoxy resin Epidian 53 with 2% of montmorillonite NanoBent ZR-1 filler, where increase at about 26°C, 8°C and 6°C was noticed for temperatures corresponding to temperatures for 5%, 10% and 50% mass loss.
- Interesting are result received for epoxy resin Epidian 57, where for pure epoxy resin breakdown temperature is over twice higher in comparison with epoxy resin Epidian 53, although addition of montmorillonite NanoBent ZR-1 filler decrease the breakdown temperature at about 7°C, 5°C and 6°C for temperatures corresponding to temperatures of 5%, 10% and 90% mass loss, and only for temperature corresponding to 50% mass loss increase of 2°C was noticed.
- Significant drop in strength was observed for single-lap adhesive joints of 316L steel sample, prepared using Hysol 9484, Epidian 57+Z1 and Epidian 5+Z1 adhesive, after machining using P320 abrasive paper exposed to thermal shock.

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

- Klejenie elementów nośnych statków powietrznych.
  - Klejenie elementów sterowania statków powietrznych.
  - Hermetyzacja statków powietrznych.
- Bonding of aircraft's bearing elements.
  - Bonding of steering elements of aircrafts.
  - Airtight aircrafts.

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

W pierwszym półroczu 2015 roku współpracowano z zakładami:

- PZL Świdnik S.A. AgustaWestland

#### Rozwiązania oferowane dla przemysłu:

- Sposób i urządzenie do mieszania, zwłaszcza żywic epoksydowych.
- Grupa modyfikowanych klejów epoksydowych o zwiększonej odporności na obciążenia mechaniczne w podwyższonych temperaturach.

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

#### Referaty

- Kłonica M., Kuczmaszewski J.: *Analiza możliwości wykorzystania konkurencyjnych ekonomicznie i ekologicznych metod obróbki do skutecznego klejenia stali 316L*. Konferencja Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji, Zakopane, marzec 2015.

#### Publikacje

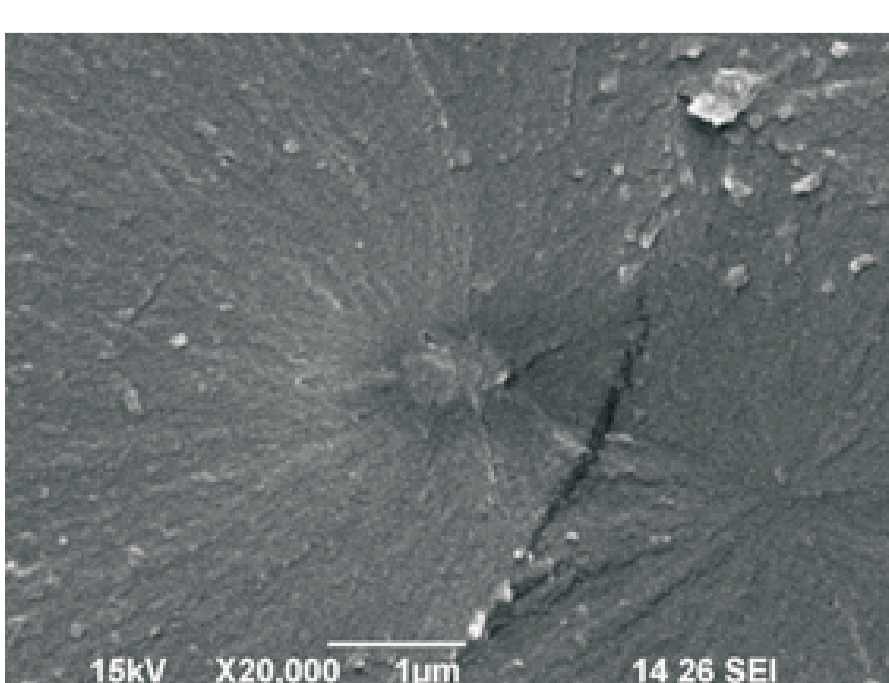
- Kłonica M., Kuczmaszewski J.: *Analiza możliwości wykorzystania konkurencyjnych ekonomicznie i ekologicznych metod obróbki do skutecznego klejenia stali 316L*. Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, t.I, red. Ryszard Knosala. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją. Opole, 2015, str. 702-713

#### Prace mgr, dr, hab.

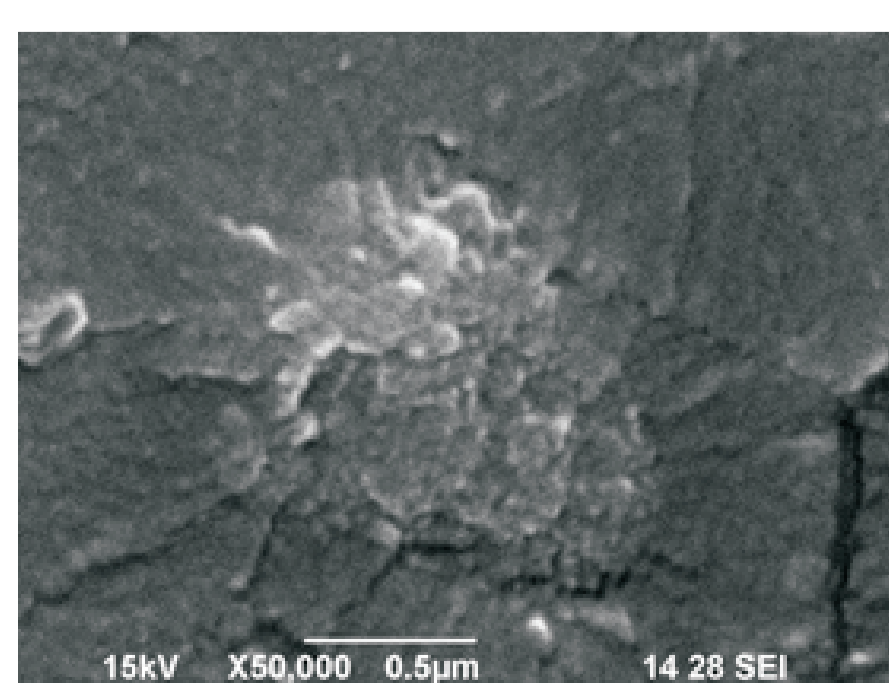
#### Prace doktorskie

Tytuł: *Badania wpływu napelniaczy o dużym stopniu rozdrobnienia na wybrane właściwości klejów epoksydowych*  
Autor: Katarzyna Biruk-Urban  
Promotor: Prof. dr hab. inż. Józef Kuczmaszewski  
Status: 29.10.2014

#### Badania SEM SEM research



Rys. 5. E53+2%SGS-6\_A187+Z-1  
Fig. 5. E53+2%SGS-6\_A187+Z-1



Rys. 5. E53+2%SGS-6\_A187+Z-1  
Fig. 5. E53+2%SGS-6\_A187+Z-1