

# 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 Rzeszowska, Politechnika Warszawska, Politechnika Lubelska

#### Wyniki badań Results

#### BADANIA WYTRZYMAŁOŚCI POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH W PODWYŻSZONEJ TEMPERATURZE PO MODYFIKACJI E57/Z1 NAPEŁNIACZEM NanoBent ZR-1

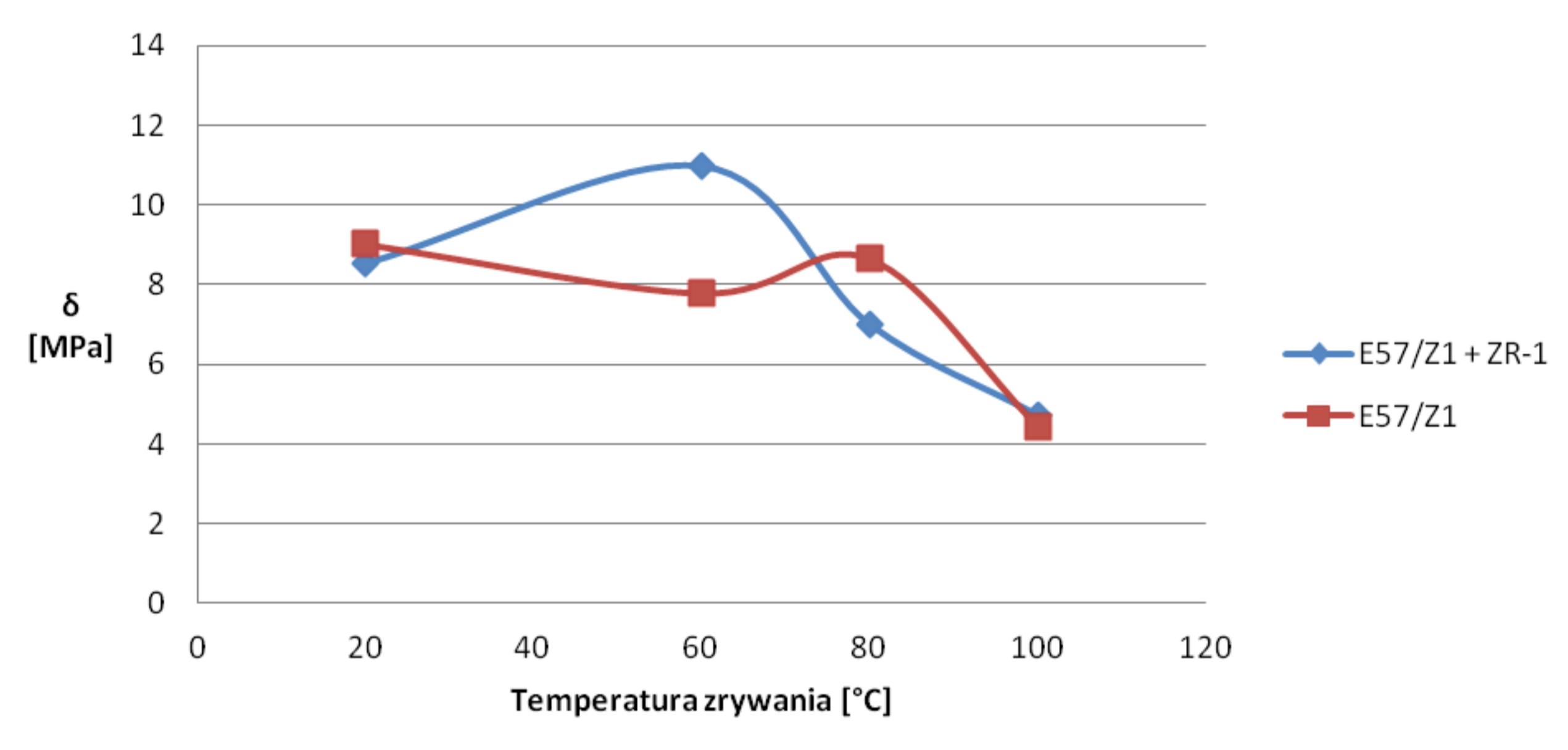
#### RESEARCH ON STRENGTH OF ADHESIVE JOINTS AT HIGH TEMPERATURE AFTER E57/Z1 MODIFICATION WITH NANOBENT ZR-1 NANOFILLER

Tabela 1. Wykaz próbek zastosowanych w badaniach wytrzymałościowych

Table 1. Specimens used in strength tests

Nr próbki	Zawartość nanonapełniacza [%]	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

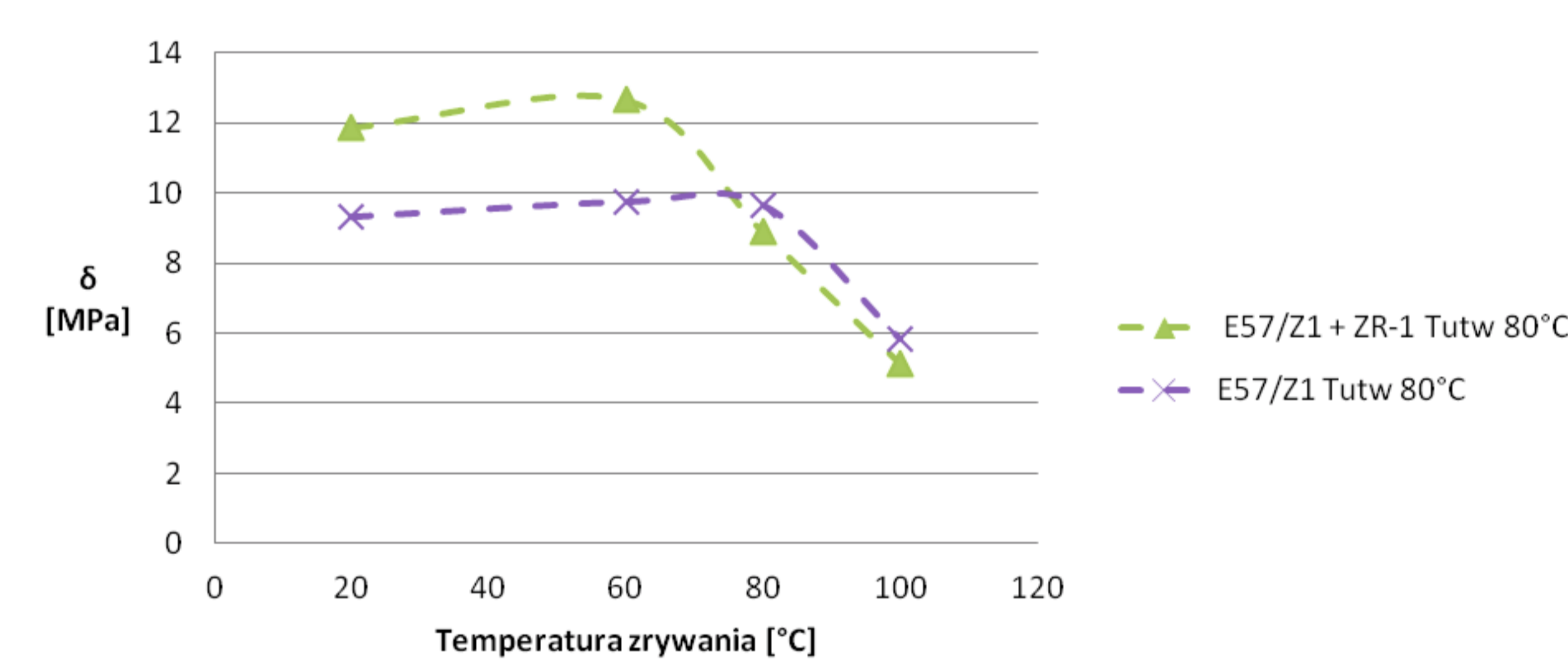
#### Wytrzymałość połączeń klejowych na ścinanie utwardzonych przez 7 dni w temperaturze pokojowej



Rys.1. Wytrzymałość połączeń klejowych na ścinanie utwardzonych przez 7 dni w temperaturze pokojowej

Fig.1. The shear strength of adhesive joints hardened for 7 days in room temperature

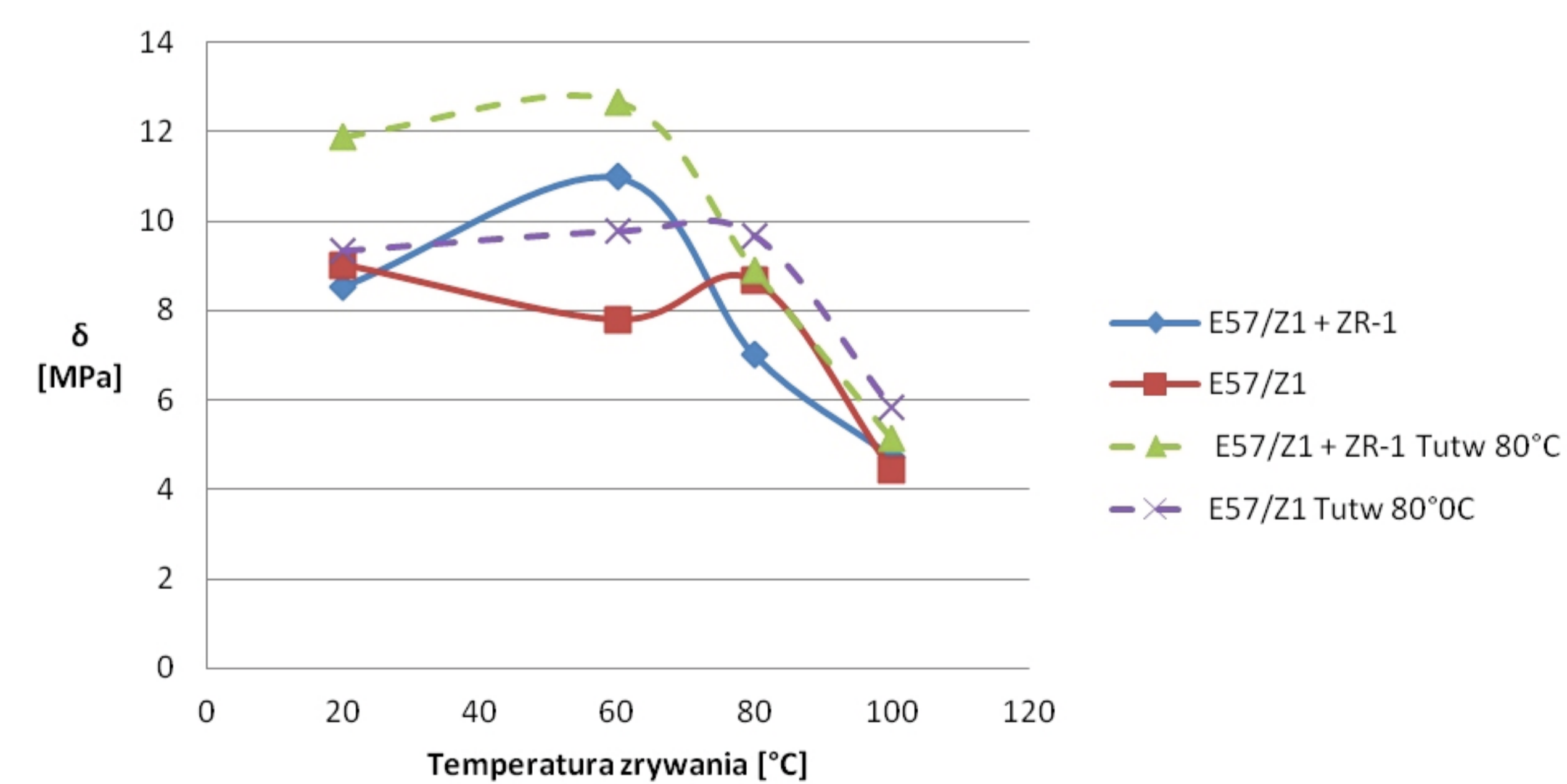
#### Wytrzymałość połączeń klejowych na ścinanie utwardzonych po 24h przez 60min w temperaturze 80°C



Rys.2. Wytrzymałość połączeń klejowych na ścinanie utwardzonych po 24h w temperaturze 80°C

Fig.2. The shear strength of adhesive joints hardened for 24h, temperature 80°C

#### Wytrzymałość połączeń klejowych - porównanie



Rys.3. Wykres porównawczy wytrzymałości na ścinanie dla połączeń zakładkowych

Fig.3. Comparative chart of shear strength of adhesive lap joints

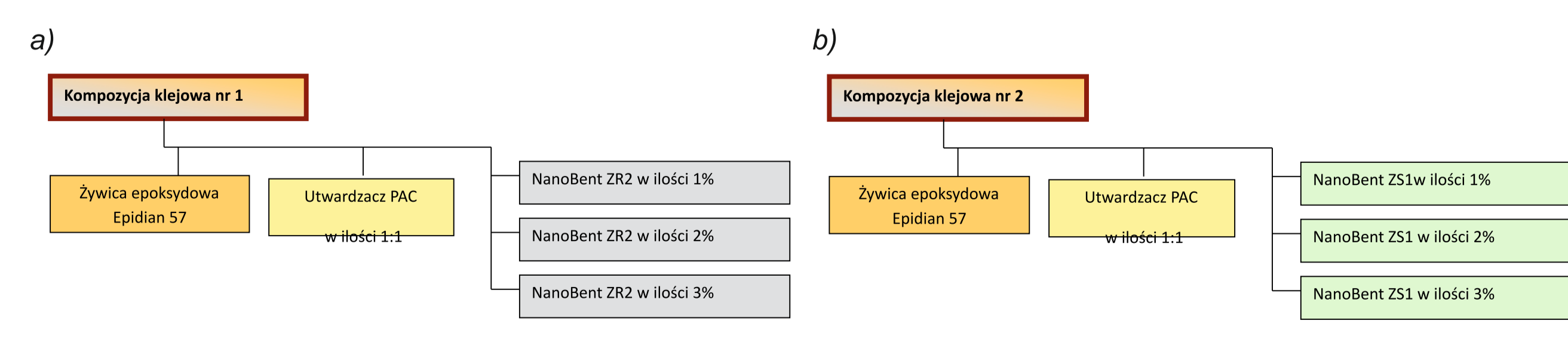
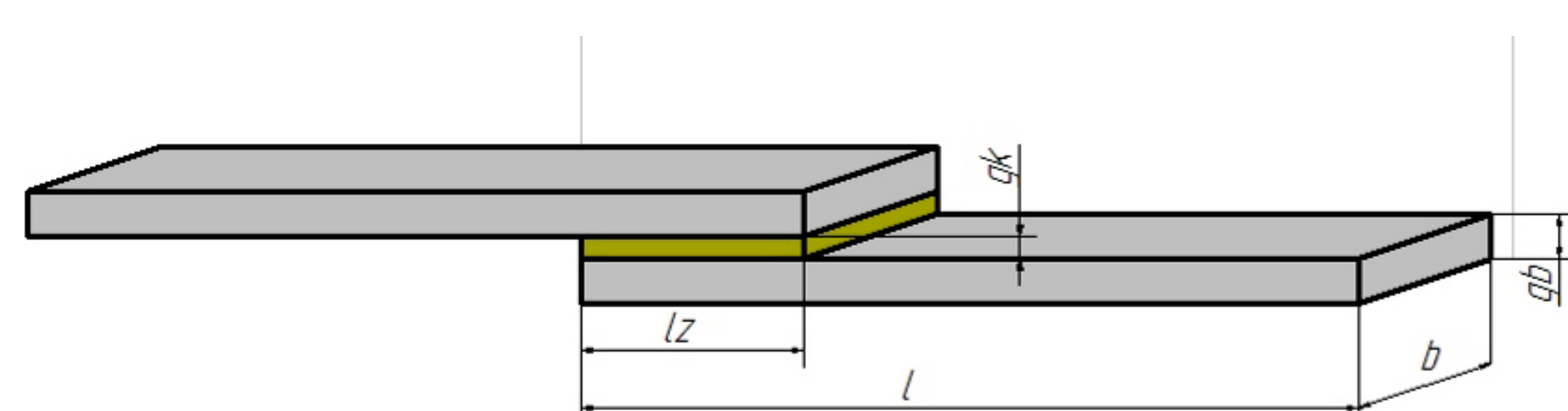
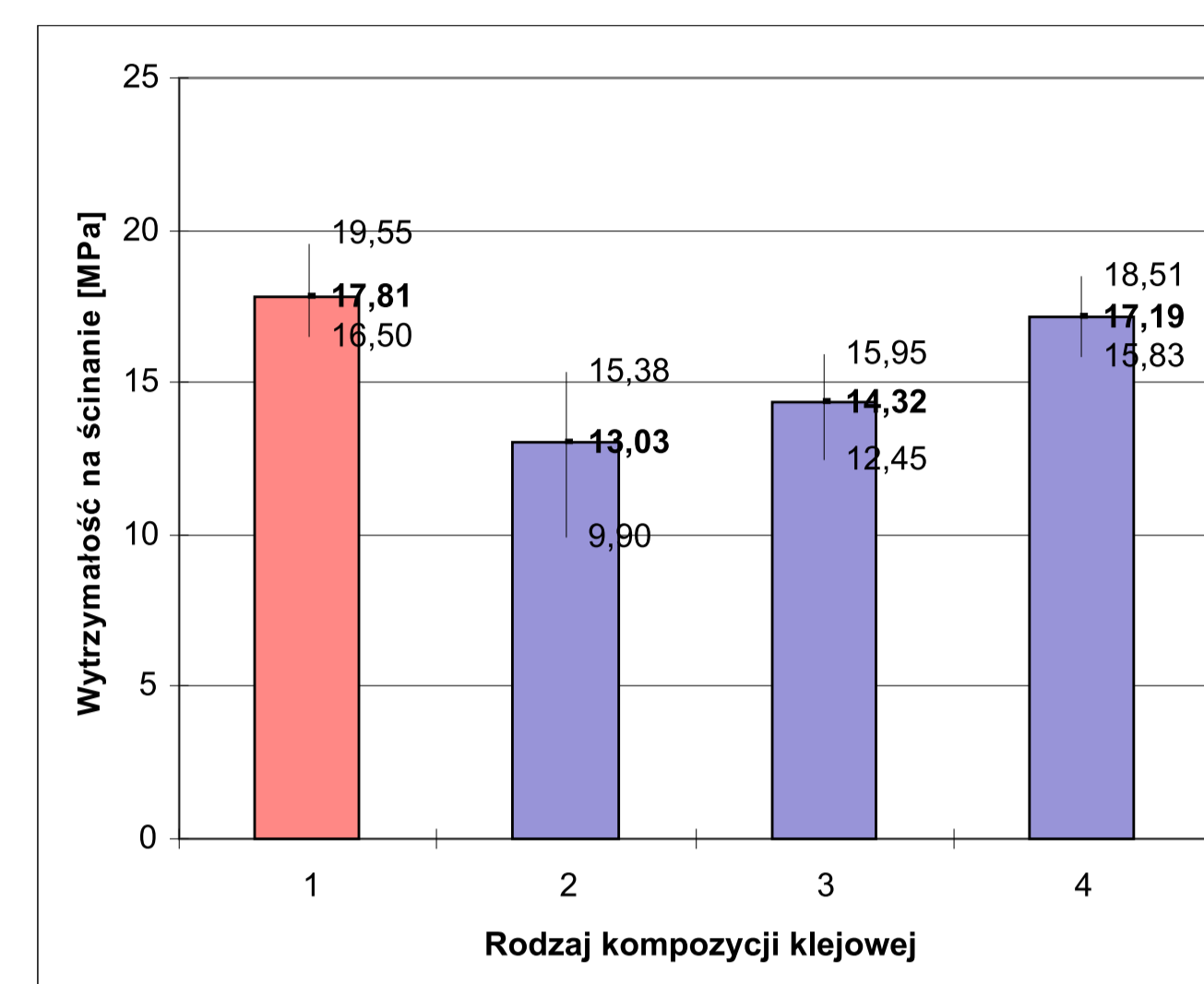


Fig.4. Diagram of adhesive components: a) No. 1, b) No. 2



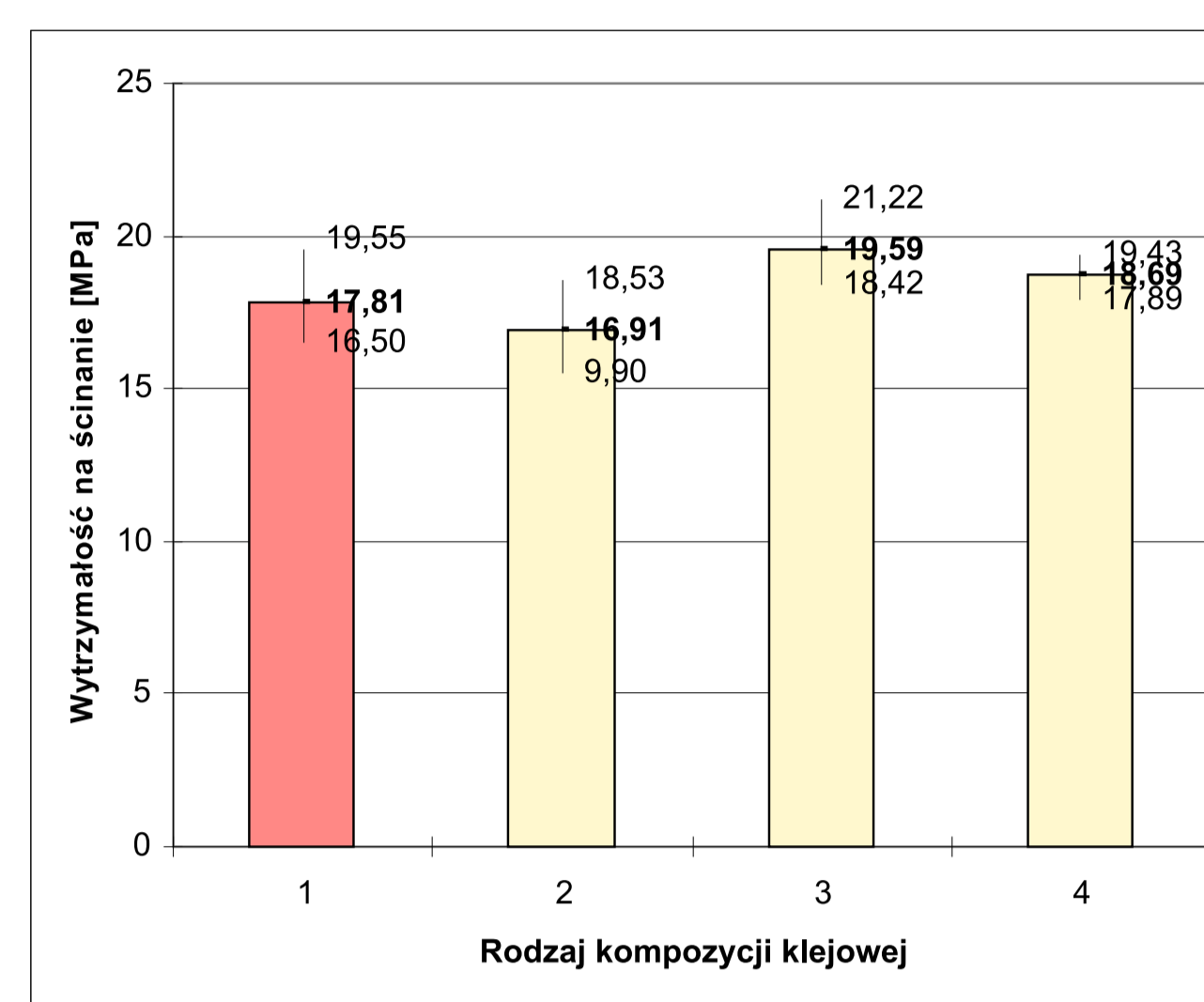
Rys.5. Połączenie klejowe stosowane w badaniach porównawczych

Fig.5. Schematic view of adhesive lap joint



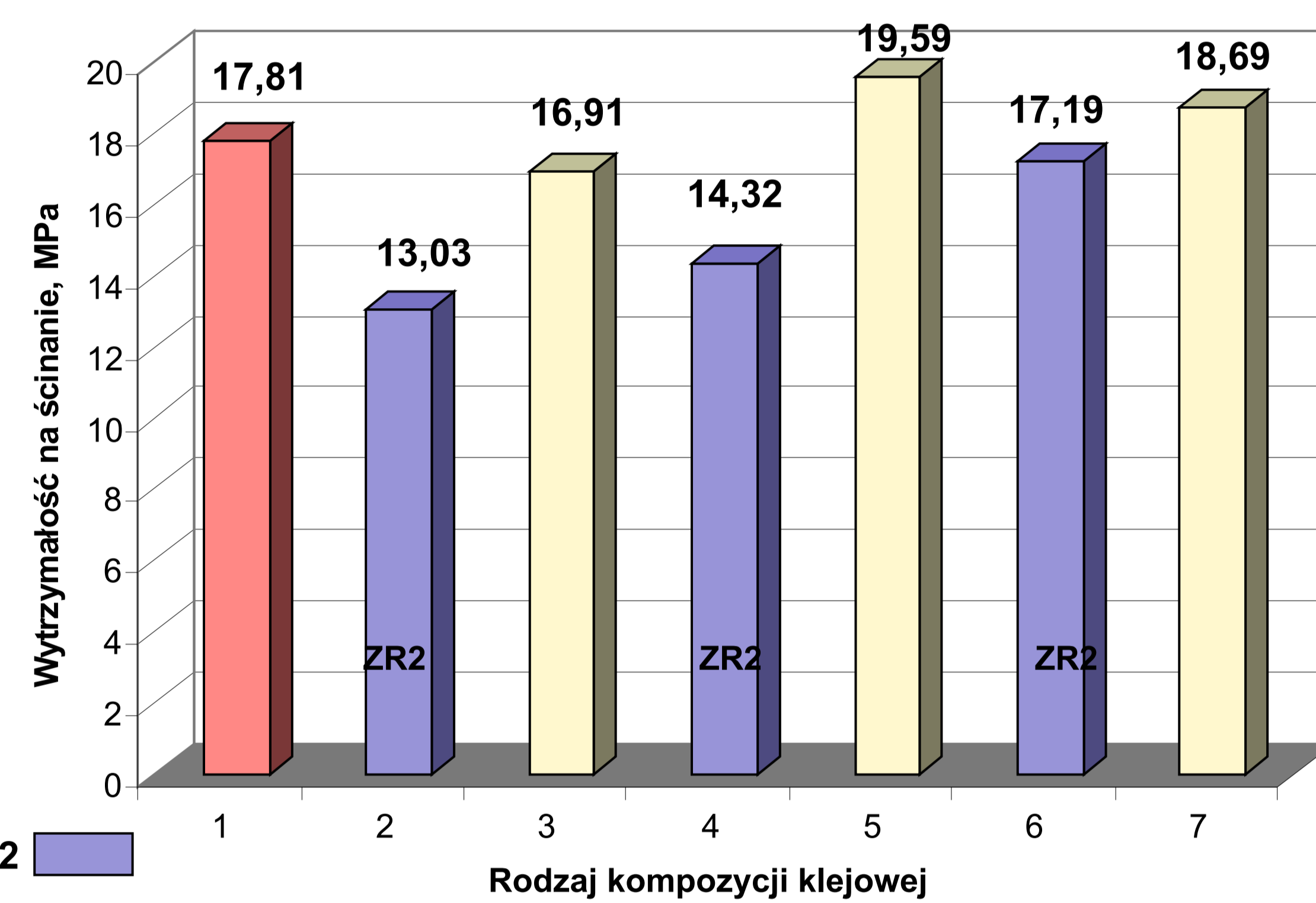
Rys.6. Wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych wykonanych z zastosowaniem kompozycji klejowej złożonej z żywicy epoksydowej Epidian 57/PAC/1:1 oraz nanonapełniacza ZR2: 1) bez napełniacza, 2) 1%, 3) 2%, 4) 3%

Fig.6. The strength of steel adhesive lap joints with used Epidian 57/PAC/1:1 epoxy adhesive modified ZR2 nanofiller: 1) without nanofiller, 2) 1%, 3) 2%, 4) 3%



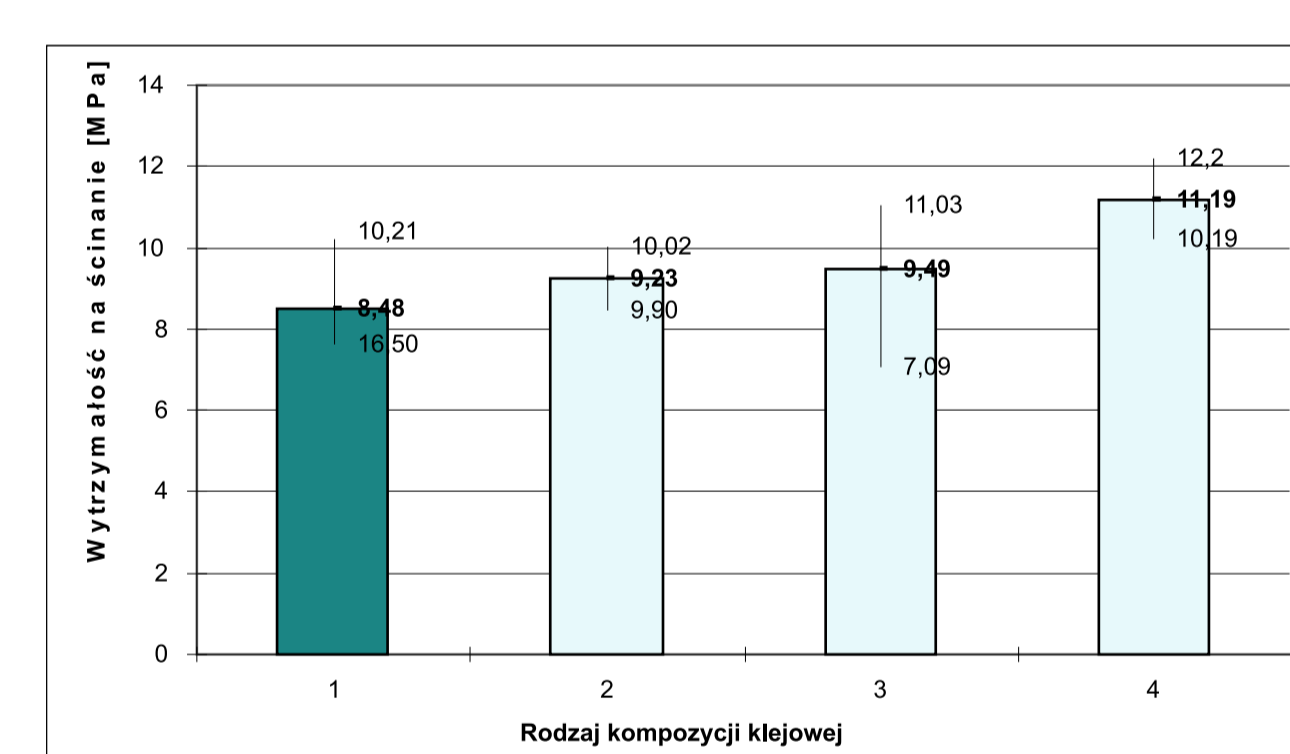
Rys.7. Wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych wykonanych z zastosowaniem kompozycji klejowej złożonej z żywicy epoksydowej Epidian 57/PAC/1:1 oraz nanonapełniacza ZS1: 1) bez napełniacza, 2) 1%, 3) 2%, 4) 3%

Fig.7. The strength of steel adhesive lap joints with used Epidian 57/PAC/1:1 epoxy adhesive modified ZS1 nanofiller: 1) without nanofiller, 2) 1%, 3) 2%, 4) 3%



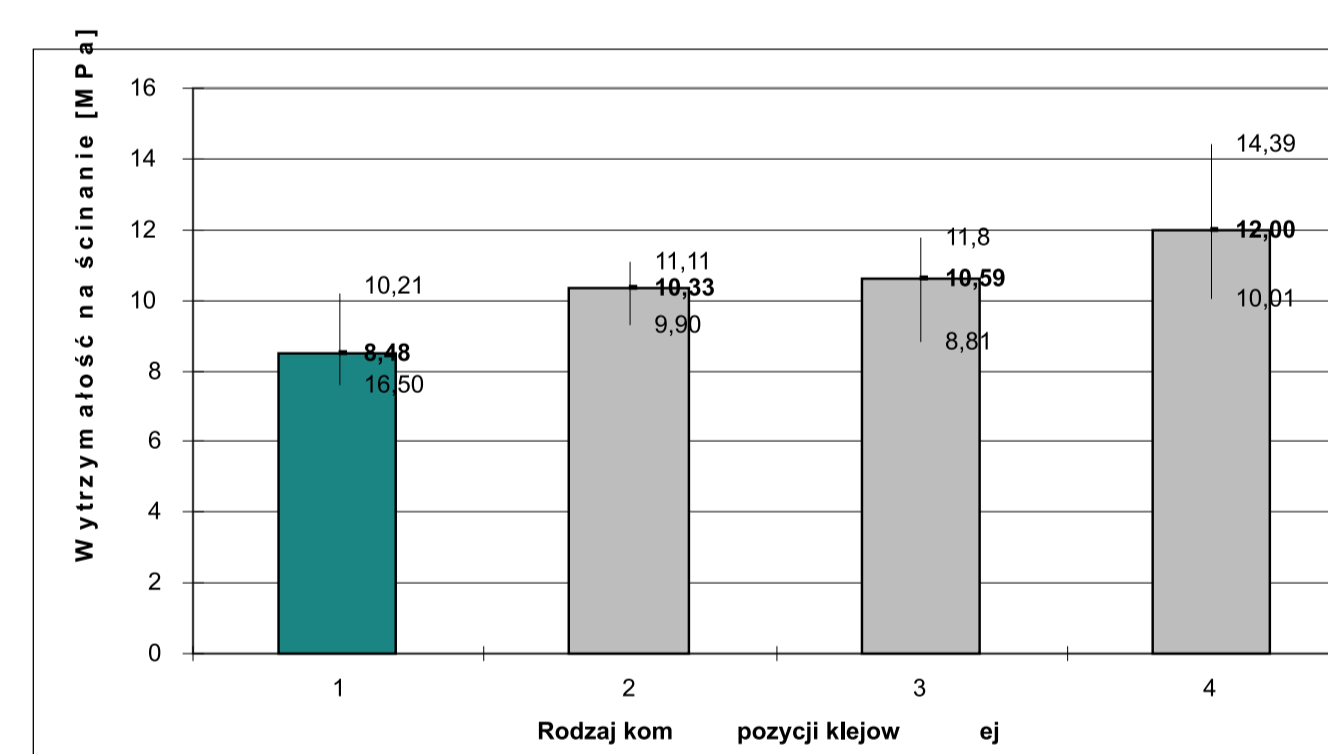
Rys.8. Wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych wykonanych z zastosowaniem kompozycji klejowej złożonej z żywicy epoksydowej Epidian 57/PAC/1:1: 1) bez napełniacza; nanonapełniacza ZR2: 2) 1%, 4) 2%, 6) 3%; nanonapełniacza ZS1: 3) 1%, 5) 2%, 7) 3%

Fig.8. The strength of steel adhesive lap joints with used Epidian 57/PAC/1:1 epoxy adhesive 1) without nanofiller, ZR2 nanofiller: 2) 1%, 4) 2%, 6) 3%; ZS1 nanofiller: 3) 1%, 5) 2%, 7) 3%



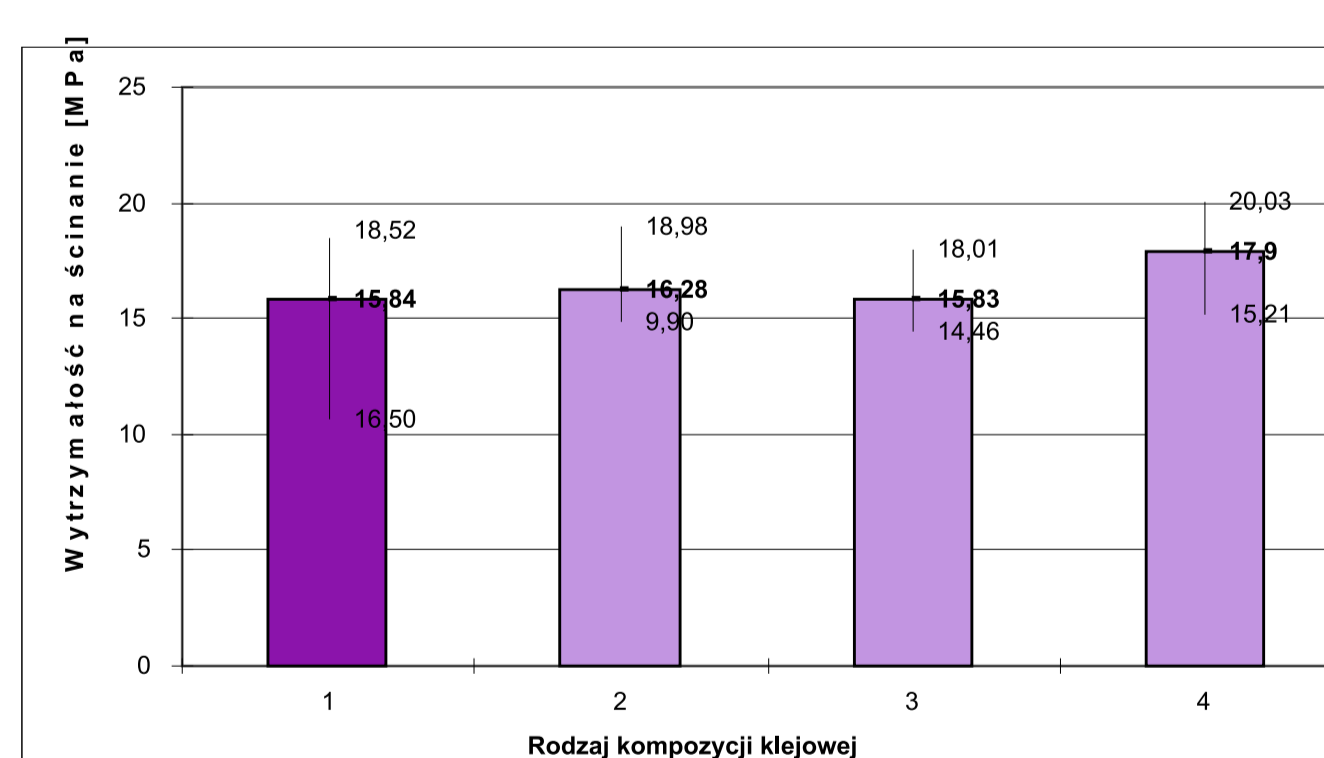
Rys.9. Wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych wykonanych z zastosowaniem kompozycji klejowej złożonej z żywicy epoksydowej Epidian 57/PF/1:50 oraz nanonapełniacza ZR2: 1) bez napełniacza, 2) 1%, 3) 2%, 4) 3%

Fig.9. The strength of steel adhesive lap joints with used Epidian 57/PF/1:50 epoxy adhesive modified ZR2 nanofiller: 1) without nanofiller, 2) 1%, 3) 2%, 4) 3%



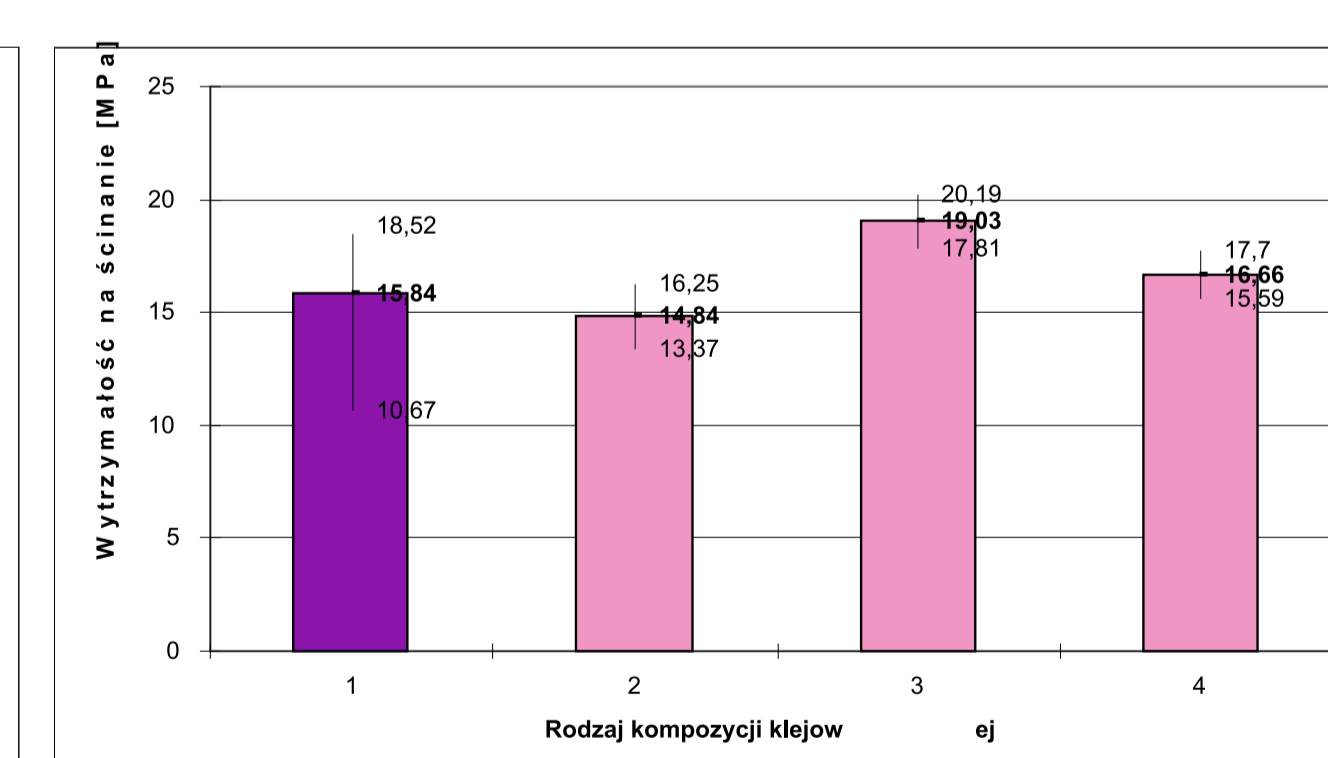
Rys.10. Wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych wykonanych z zastosowaniem kompozycji klejowej złożonej z żywicy epoksydowej Epidian 57/PF/1:50 oraz nanonapełniacza ZS1: 1) bez napełniacza, 2) 1%, 3) 2%, 4) 3%

Fig.10. The strength of steel adhesive lap joints with used Epidian 57/PF/1:50 epoxy adhesive modified ZS1 nanofiller: 1) without nanofiller, 2) 1%, 3) 2%, 4) 3%



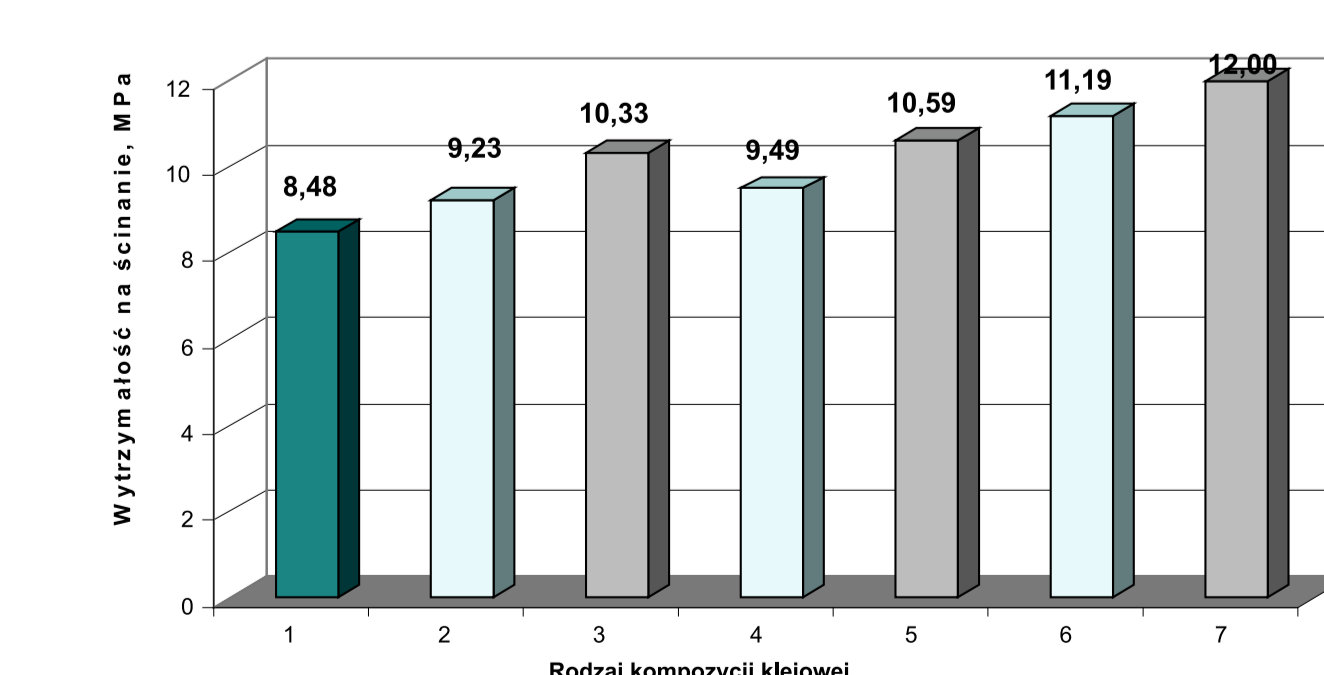
Rys.11. Wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych wykonanych z zastosowaniem kompozycji klejowej złożonej z żywicy epoksydowej Epidian 57/PF/1:50 oraz nanonapełniacza ZR2: 1) bez napełniacza, 2) 1%, 3) 2%, 4) 3%

Fig.11. The strength of steel adhesive lap joints with used Epidian 57/PF/1:50 epoxy adhesive modified ZR2 nanofiller: 1) without nanofiller, 2) 1%, 3) 2%, 4) 3%



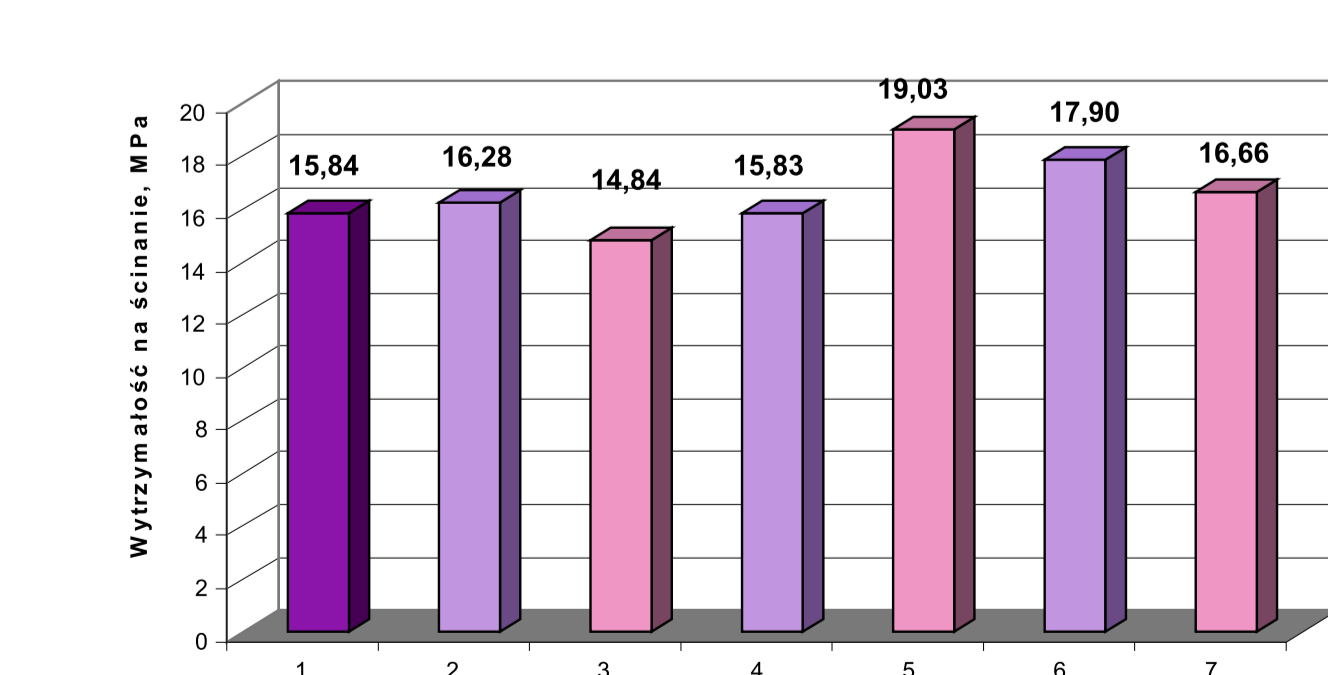
Rys.12. Wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych wykonanych z zastosowaniem kompozycji klejowej złożonej z żywicy epoksydowej Epidian 57/PF/1:50 oraz nanonapełniacza ZS1: 1) bez napełniacza, 2) 1%, 3) 2%, 4) 3%

Fig.12. The strength of steel adhesive lap joints with used Epidian 57/PF/1:50 epoxy adhesive modified ZS1 nanofiller: 1) without nanofiller, 2) 1%, 3) 2%, 4) 3%



Rys.13. Wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych wykonanych z zastosowaniem kompozycji klejowej złożonej z żywicy epoksydowej Epidian 57/PF/1:50 oraz nanonapełniacza ZR2: 1) bez napełniacza, 2) 1%, 3) 2%, 4) 3%

Fig.13. The strength of steel adhesive lap joints with used Epidian 57/PF/1:50 epoxy adhesive modified ZR2 nanofiller: 1) without nanofiller, 2) 1%, 3) 2%, 4) 3%



Rys.14. Wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych wykonanych z zastosowaniem kompozycji klejowej złożonej z żywicy epoksydowej Epidian 57/PF/1:50 oraz nanonapełniacza ZS1: 1) bez napełniacza, 2) 1%, 3) 2%, 4) 3%

Fig.14. The strength of steel adhesive lap joints with used Epidian 57/PF/1:50 epoxy adhesive modified ZS1 nanofiller: 1) without nanofiller, 2) 1%, 3) 2%, 4) 3%

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

1. Klejenie elementów nośnych statków powietrznych.
2. Klejenie elementów sterowania statków powietrznych.
3. Hermetyzacja statków powietrznych.

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

W pierwszym półroczu 2012 roku współpracowano z zakładami:

1. PZL Świdnik S.A. AgustaWestland

#### Wnioski Conclusions

1. Modyfikacja kleju epoksydowego napełniaczem NanoBent ZR-1 istotnie zmienia wytrzymałość statyczną na ścinanie zakładkowych połączeń klejowych.
2. Utwardzanie w temperaturze pokojowej kleju E57/Z1 modyfikowanego napełniaczem 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%.
3. 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%.
4. Zastosowanie napełniacza ZS1 i ZR2, w ilościach nie przekraczających 3% masowo, nie obniża wytrzymałości połączeń klejowych w temperaturze otoczenia w stosunku do połączeń wykonanych bez użycia napełniacza.
5. Wydaje się, że w przypadku utwardzacza PAC i napełniacza ZR2 należy starannie analizować przydatność modyfikacji, uzyskano obniżenie wytrzymałości w stosunku do kompozycji niemodyfikowanych.
6. Doskonalenia wymaga technologia wykonywania takich kompozycji, zwłaszcza z użyciem mieszalnika ultradźwiękowego.
7. Uzyskana powtarzalność wyników w pomiarach wytrzymałości połączeń klejowych wskazuje na akceptowalny sposób mieszania jaki zastosowano w pracy.
8. Stosowanie jako modyfikatora żywicy E57 napełniacza ZS1 może być rekomendowane jako zasadne ze względu na korzystny wpływ na wytrzymałość mechaniczną połączeń (nie pogarsza wytrzymałości a nawet w niewielkim stopniu poprawia), należy jednak zaznaczyć, że ta zasada powinna być potwierdzona w badaniach odporności cieplnej tak modyfikowanych żywic oraz w ocenie stopnia nieupalnienia utwardzonego kleju.

1. Epoxy resin modification using NanoBent ZR-1 nanofiller changes the static shear strength of overlap bonding joints.
2. 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 strength 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%.
3. 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%.
4. ZS1 and ZR2 nanofillers application (in amount not higher than 3% by weight) do not decrease the strength of bonding joints in room temperature in comparison to bonding joints without nanofiller.
5. It appears that in case of PAC stiffener and ZR2 nanofiller the modification utility should be considered, the strength was decreased in comparison to unmodified epoxy resin.
6. The technology of epoxy resin modification should be improved, especially using ultrasonic mixer.
7. Obtained repeatability of test results in bonding joints strength measurements indicates acceptable mixing ways which was applied in researches.
8. Using as epoxy resin E57 modifier ZS1 nanofiller can be recommended as the positive influence on mechanical strength of bonding joints is noticed (strength is not decreased, in some range the strength is even higher), but it should be marked that it should be confirmed in thermal resistance tests for modified epoxy resins and during evaluation of flame retardant cured epoxy resin.

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

Opublikowano 6 prac (w trakcie realizacji projektu).

#### Publikacje Prace przygotowane do druku:

1. Kuczmaszewski J., Rudawska A.: *Modyfikacja kleju epoksydowego E57/PAC napełniaczami NanoBent ZS1 i NanoBent ZR2 – badania porównawcze wytrzymałości połączeń klejowych*. Przetwórstwo tworzyw, 2012.
2. Biruk-Urban K., Kuczmaszewski J.: *Badania wytrzymałości połączeń klejowych w podwyższonej temperaturze po modyfikacji E57/Z1 napełniaczem NanoBent ZR-1*. Przetwórstwo tworzyw, 2012.
3. Rudawska A., Kuczmaszewski J.: *Badania porównawcze efektów modyfikacji żywic epoksydowych napełniaczami NanoBent ZS1, NanoBent ZR2 dla utwardzaczy Z1, PAC i PF*. Przetwórstwo tworzyw, 2012.

#### Prace doktorskie

Tytuł: *Badania wpływu napełniacza o dużym stopniu rozdrobnienia na wybrane właściwości klejów epoksydowych*.

Autor: Katarzyna Biruk-Urban

Promotor: prof. dr hab. inż. Józef Kuczmaszewski  
Status: wszczyty przewód doktorski.