

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Niekonwencjonalne technologie łączenia elementów konstrukcji lotniczych

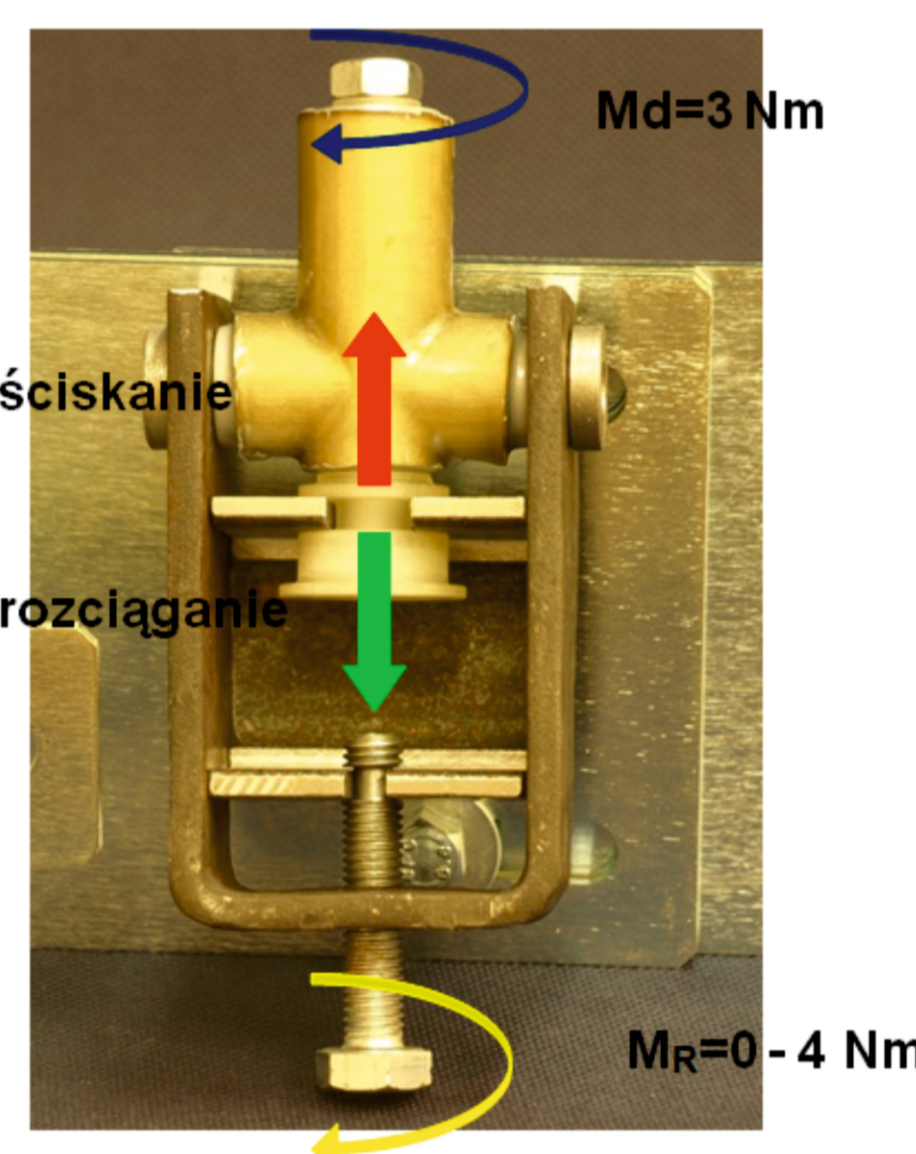
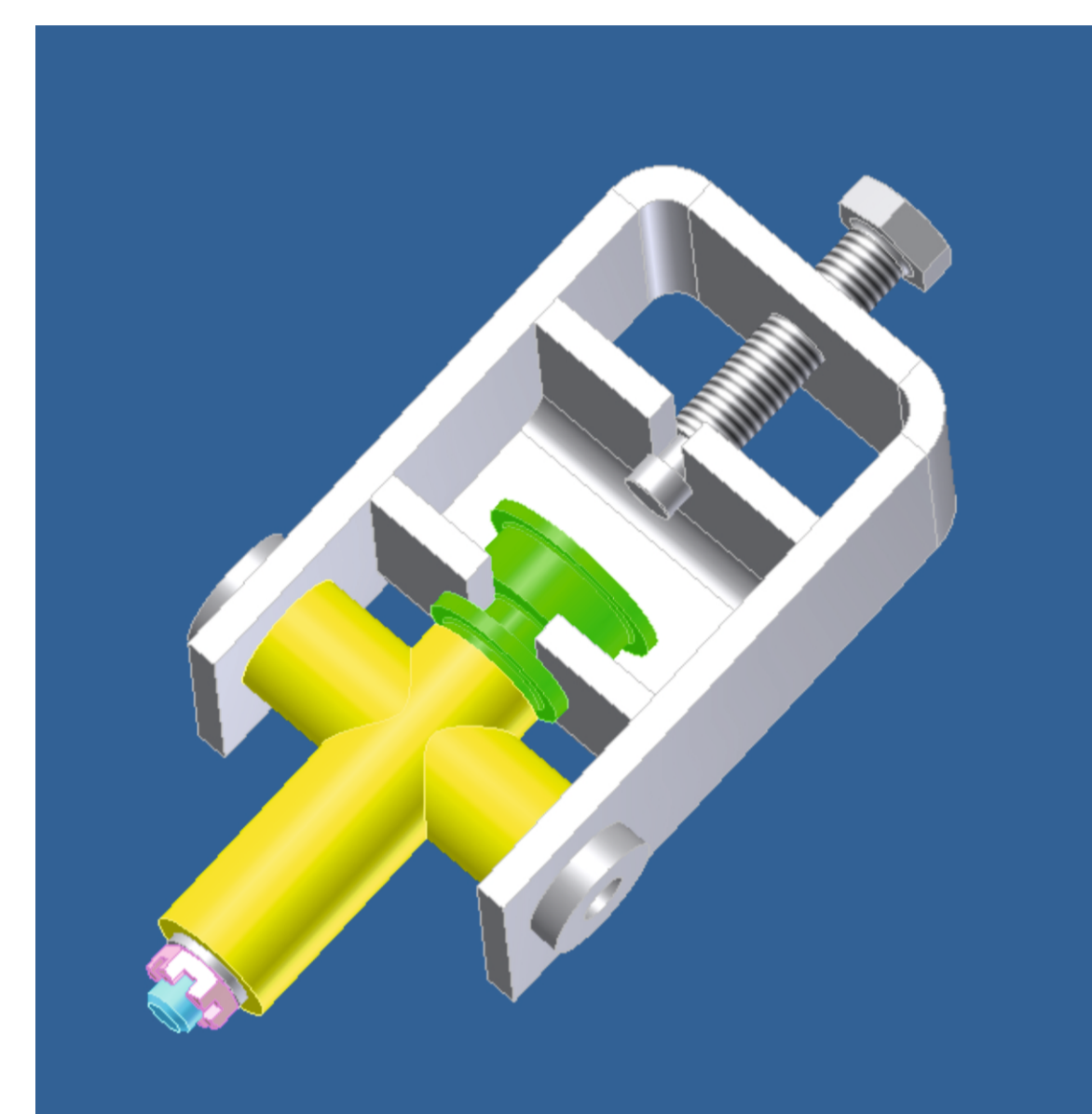
Unconventional technologies of joining elements of aeronautical constructions

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

Wyniki badań Results

Opracowanie wyników badania modelu połączenia metodą światła odbitego

Model połączenia pokazany na rys.1 poddano obciążeniu zgodnie ze schematem pokazanym na rys.2.



Rys. 1. Model CAD badanego węzła w przyrządzie.
Fig.1. CAD model of join sample in device

Rys. 2. Schemat obciążenia testowanego połączenia.
Fig.2. Scheme of load of tested connection

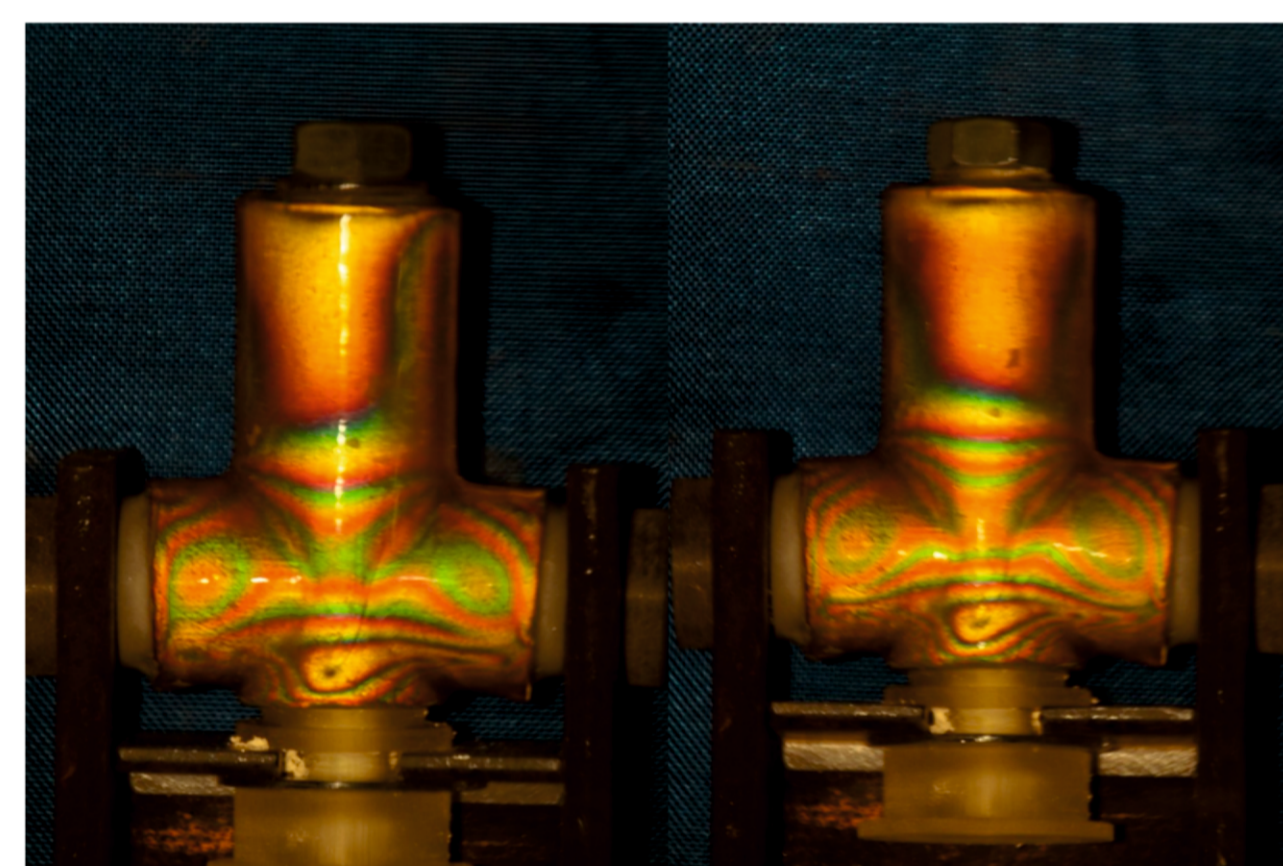
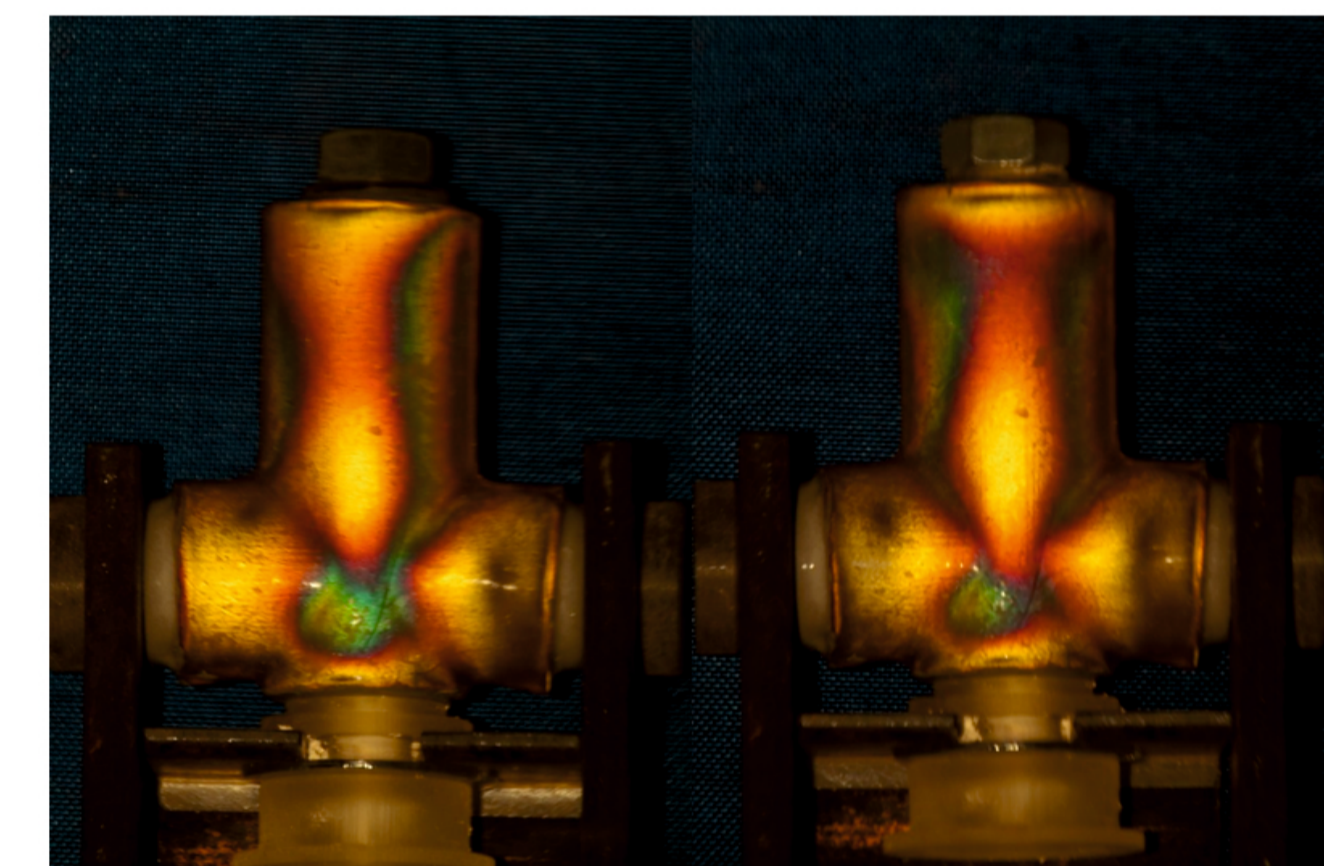
Jako element wymienny stosowano podkładki „miękką” (wykonaną z żywicy do Jetting Systems - FullCure 720) oraz podkładkę „twardą” stalową.

Tab. 1. Właściwości materiału FullCure 720 oraz stali
Tab. 1. The material properties of steel 720 and FullCure material

Cecha/właściwość	Jedn	FullCure 720	Stal 10
Wytrzymałość na rozciąganie	MPa	60,3	410 – 640
Granica plastyczności	MPa	2,870	
Wydłużenie przy zerwaniu	%	20	> 19
Twardość		81 (Rockwell skala M)	min. 147 HB

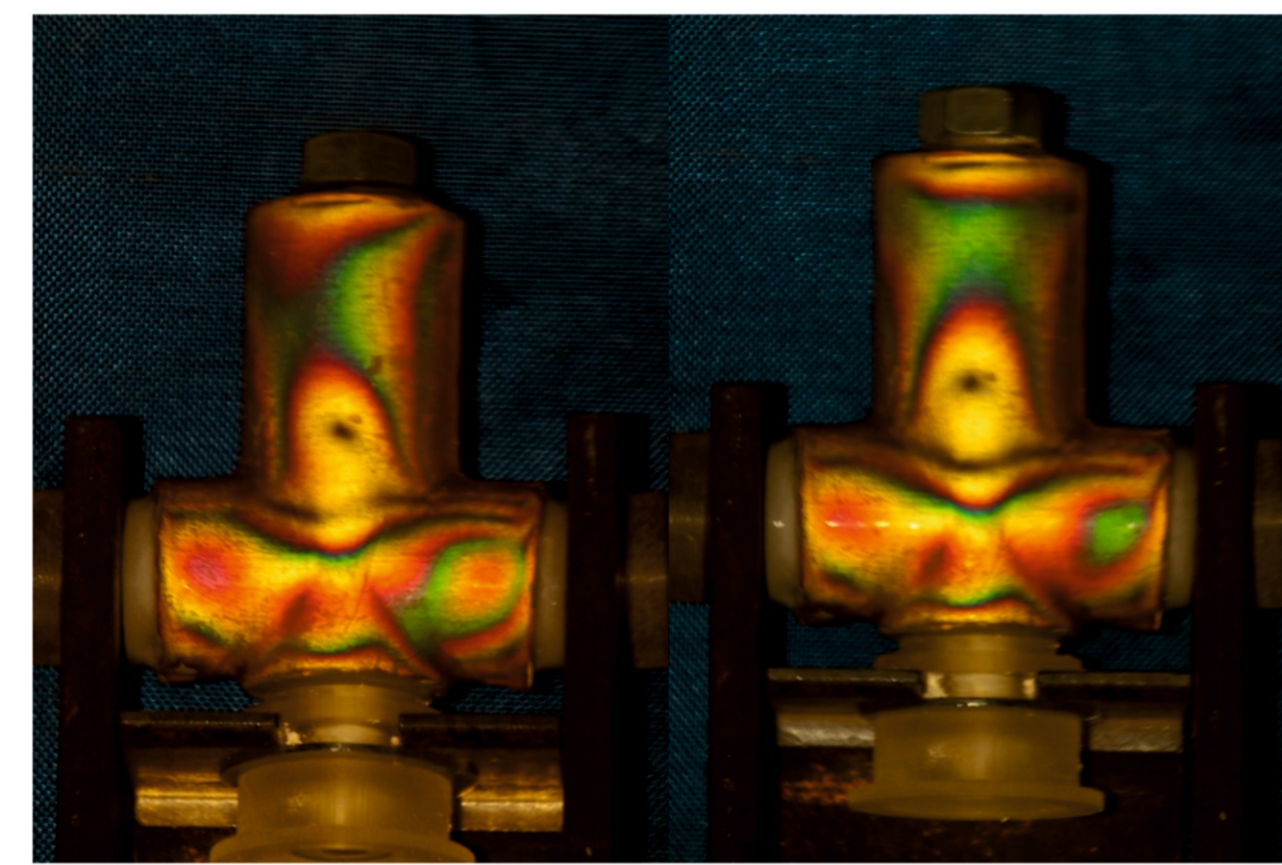
Badania przeprowadzono dla następujących przypadków:

- Podkładka „twarda” metalowa - węzeł skręcony momentem wstępnym 3 Nm oraz poddany następującemu obciążeniu roboczym:
 - ściskanie w zakresie: 0 Nm, 2 Nm, 2,5 Nm ... 4 Nm
 - rozciąganie w zakresie : 1 Nm, 1,5 Nm, 2 Nm ... 3,5 Nm
- Podkładka „miękką” (żywica do Jetting Systems - FullCure 720) - węzeł skręcony momentem wstępnym 3 Nm:
 - ściskanie w zakresie: 0 Nm, 2 Nm, 2,5 Nm ... 4 Nm
 - rozciąganie w zakresie : 1 Nm, 1,5 Nm, 2 Nm ... 3,5 Nm

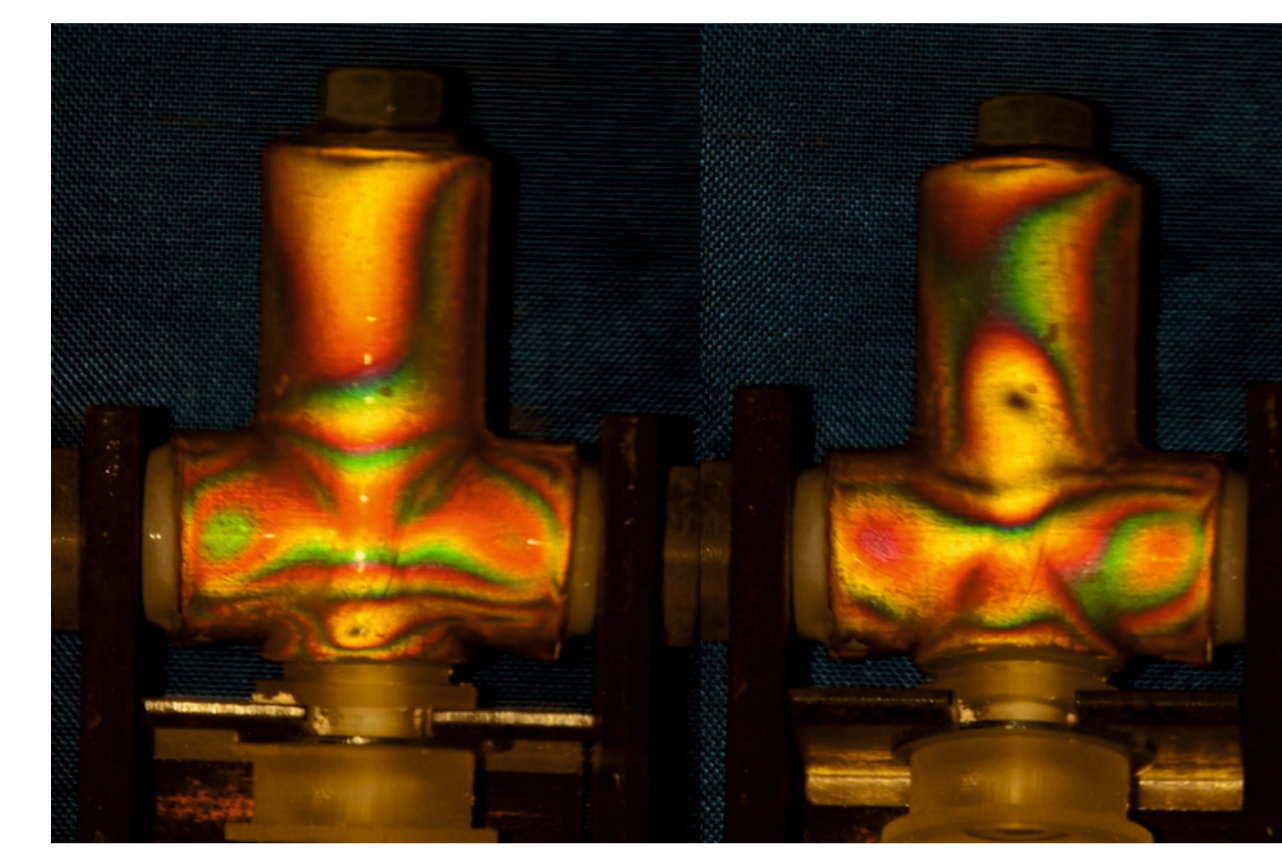


Rys. 3. Obraz izochrom badanego węzła pod obciążeniem wstępnym Md = 3 Nm- podkładka „twarda” (z lewej), - podkładka „miękką” (z prawej).
Fig.3. Isochrome after preloading Md = 3 Nm- "hard" washer (left), - "soft" washer (right)

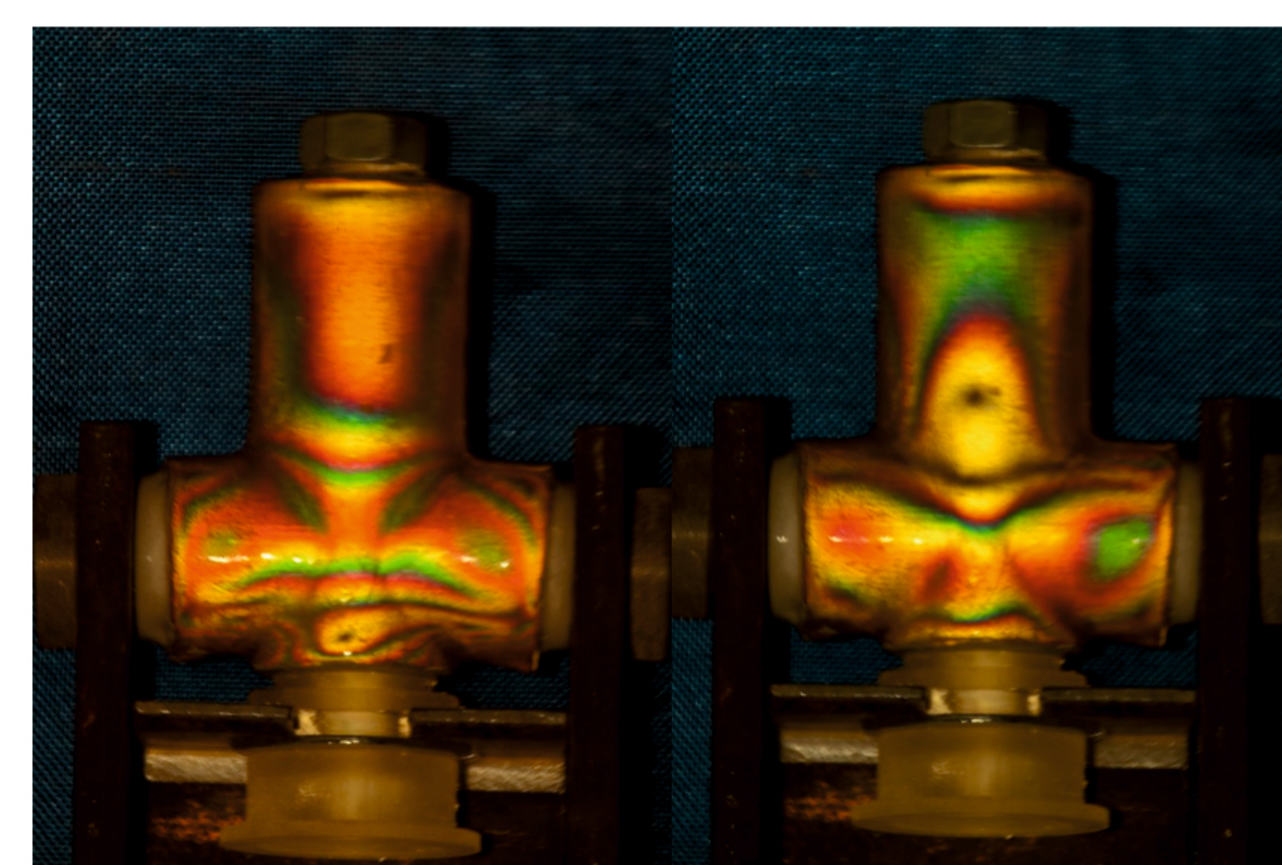
Rys. 4. Obraz izochrom badanego węzła pod obciążeniem roboczym 4 Nm - węzeł ścisany - podkładka „twarda” (z lewej), - podkładka „miękką” (z prawej).
Fig.4. Isochrome under working load 4 Nm - connection compressed - "hard" washer (left), - "soft" washer (right)



Rys. 5. Obraz izochrom badanego węzła pod obciążeniem roboczym 3,5 Nm - węzeł rozciągany; - podkładka „twarda” (z lewej), - podkładka „miękką” (z prawej).
Fig.5. Isochrome under working load 3,5 Nm - connection stretched - "hard" washer (left), - "soft" washer (right)



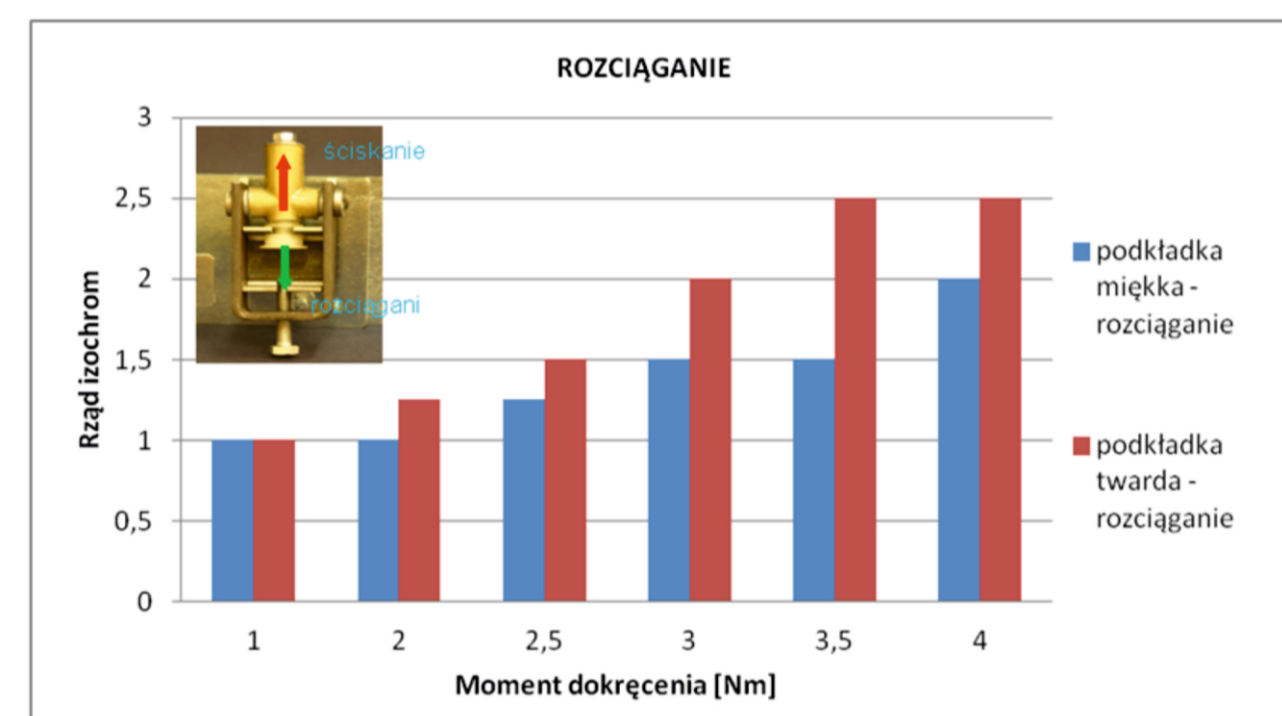
Rys. 6. Obraz izochrom badanego węzła pod obciążeniem roboczym 3,5 Nm - podkładka „twarda” - węzeł ścisany (z lewej), - węzeł rozciągany (z prawej).
Fig.6. Isochrome under working load 3,5 Nm - washer "hard" - connection compressed (left), - connection stretched (right)



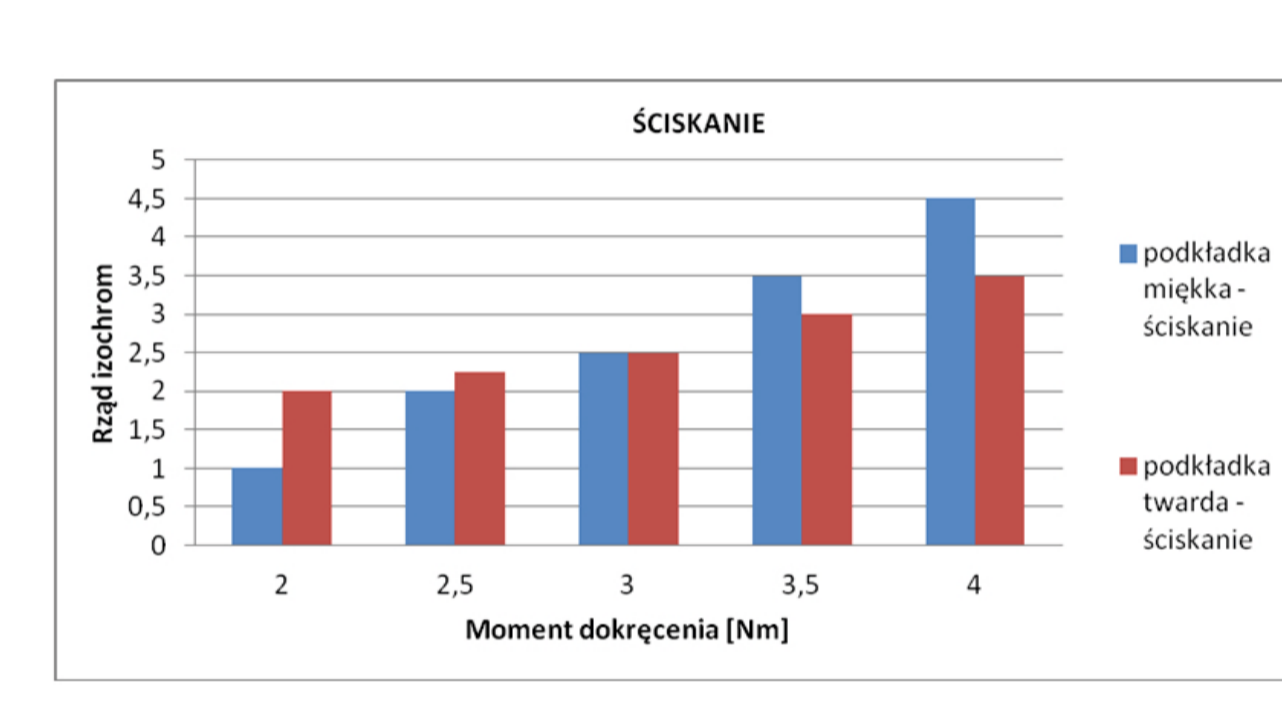
Rys. 7. Obraz izochrom badanego węzła pod obciążeniem roboczym 3,5 Nm - podkładka „miękką” - węzeł ścisany (z lewej), - węzeł rozciągany (z prawej).
Fig.7. Isochrome under working load 3,5 Nm - washer "soft" - connection compressed (left), - connection stretched (right)

Tab. 2. Rzędy izochrom m dla różnych materiałów podkładki i kierunków działania siły
Tab.2. Rows of isochrome m for different washer materials and directions of force

Moment dokręcenia [Nm]	Rodzaj materiału podkładki kierunek działania siły			
	podkładka miękka - ściskanie	podkładka twarda - ściskanie	podkładka miękka - rozciąganie	podkładka twarda - rozciąganie
1	1	1	1	1
2	1	2	1	1,25
2,5	2	2,25	1,25	1,5
3	2,5	2,5	1,5	2
3,5	3,5	3	1,5	2,5
4	4,5	3,5	2	2,5



Rys. 8. Uzyskane rzędy izochrom w testach z wykorzystaniem światła odbitego
Fig. 8. Rows of isochrome in tests using reflected light

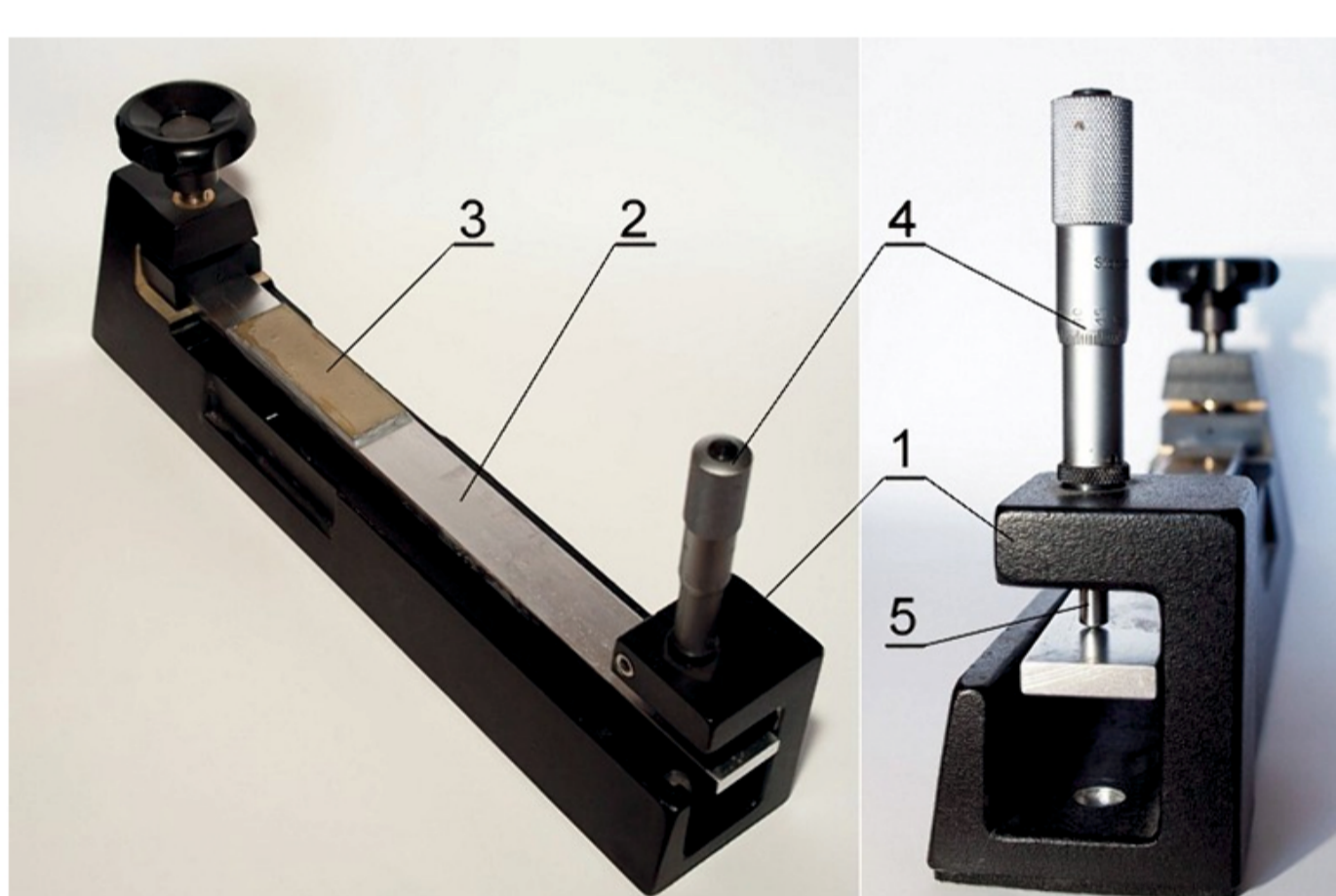


Rys. 9. Przygotowanie próbki do wyznaczenia stałej odkształceniowej
Fig.9. Preparation of samples for the determination of deformation factor

Wyznaczanie elastooptycznej stałej odkształceniowej K (K_e)



Rys. 9. Przygotowanie próbki do wyznaczenia stałej odkształceniowej
Fig.9. Preparation of samples for the determination of deformation factor



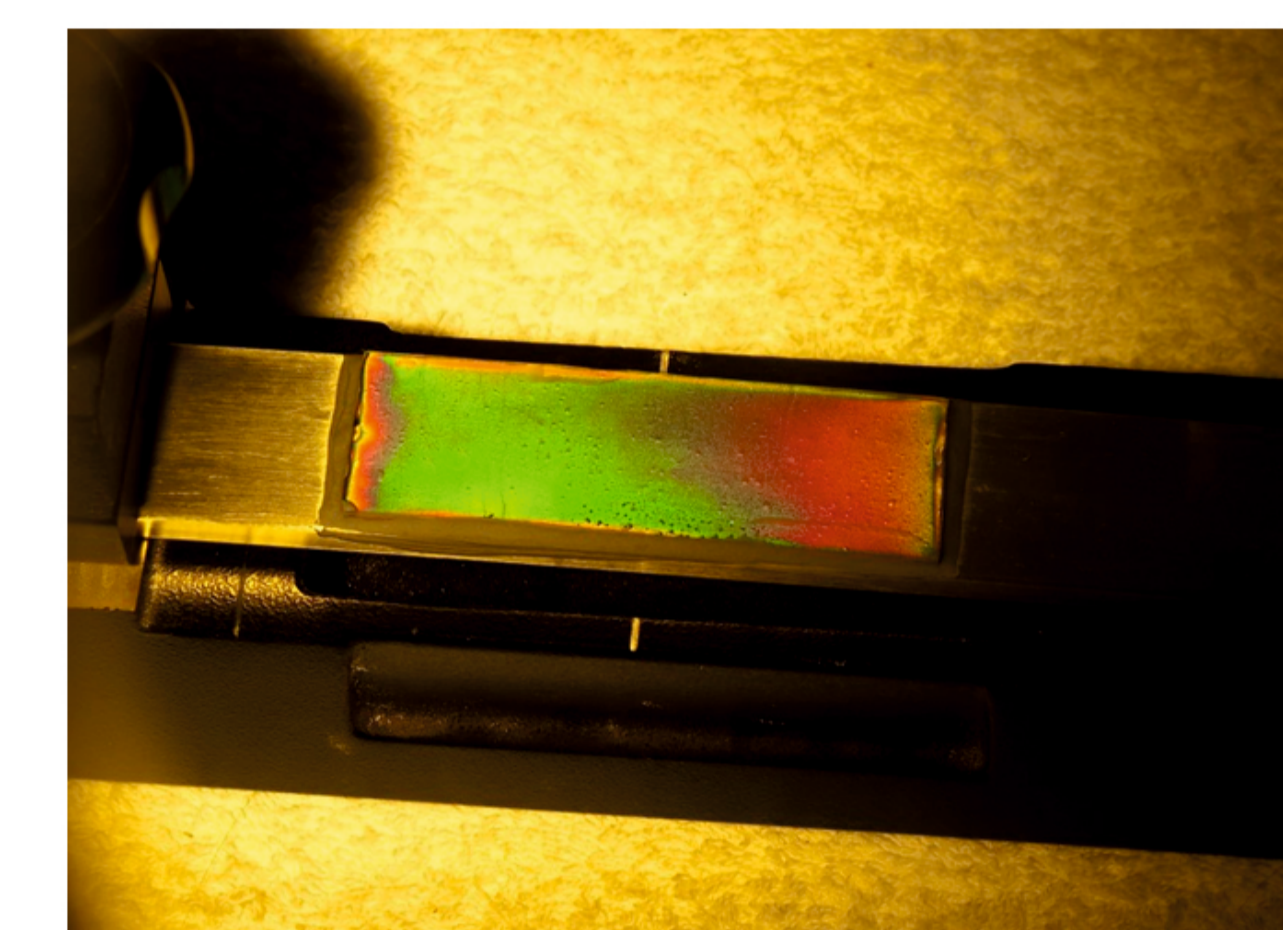
Rys. 10. Zestaw do wyznaczenia stałej K_e: 1- obudowa przyrządu do kalibracji, 2- belka pomiarowa, 3- powłoka optycznie czynna, 4- mikrometr pomiarowy, 5- trzpień obciążający.
Fig. 10. Device for determination of deformation factor K_e

Badaną próbkę, po odpowiednim przygotowaniu (rys.9) powłoki optycznie czynnej, naklejono na belkę pomiarową a następnie umieszczono w przyrządzie do kalibracji - model 010 (rys 10)

Następnie odczytano wartości rzędu izochromy w punkcie pomiarowym dla pięciu położeń osiowo przemieszczającego się trzpienia obciążającego. Stałe wartości przemieszczenia osiowego trzpienia odczytano na mikrometrze pomiarowym. Dokładne wartości rzędu izochromy odczytano z wykorzystaniem kompensatora (tab.3.). Przykładowy rozkład izochrom w badanej powłoce optycznie czynnej pokazano na rys.11.

Tab. 3. Wartości rzędu izochromy w zależności od przemieszczenia trzpienia
Tab.3. Rows of isochrome depend of pin displacement

Lp	Przemieszczenie trzpienia D [mm]	Wartość rzędu izochromy N
1	2,5	0,35
2	5	0,80
3	7,5	1,27
4	10	1,74
5	12,5	2,20



Rys. 11. Przykładowy rozkład izochrom w badanej próbce powłoki optycznie czynnej.
Fig. 11. Distribution of isochrome in the sample of optically active layer (example)

Elastooptyczną stałą odkształceniową można obliczyć ze wzoru:

$$K_e = K \left[1 + \frac{2(t'_A - t_A)}{t_B + t_C} \right]$$

gdzie:

K' - elastooptyczna stała odkształceniowa odczytana z wykresu (dokument TN-701-1, fig. 5),

t'A - standardowa grubość kleju odbłaskowego (t'A=0,075mm),

tA - rzeczywista grubość kleju odbłaskowego,

tB- grubość belki pomiarowej (tB=6.35mm),

tC - grubość powłoki optycznie czynnej (tC=2.9 mm).

W celu wyznaczenia wartości K' należy skorzystać z wykresu firmy Vishay (dokument TN-701-1, fig. 5).

Stałą K' dobiera się na podstawie wartości ΔN/ΔD oraz grubości powłoki tC.

Dla wartości ΔN/ΔD=0,185 oraz tC = 2.9mm stała K'= 0.098

Rzeczywistą grubość kleju odbłaskowego tA można policzyć odejmując od całkowitej grubości belki pomiarowej wraz z naklejoną powłoką, grubość powłoki tC jak i belki pomiarowej tB

tA = 9.35 - 2.9 - 6.35 = 0,15mm

Wstawiając do wzoru powyższe wartości można obliczyć rzeczywistą wartość elastooptycznej stałej odkształceniowej K_e dla powłoki wykorzystanej w badaniu.

$$K_e = 0.098 \left[1 + \frac{2(0.075 - 0.150)}{6.35 + 2.9} \right] = 0.0964$$

Wnioski Conclusions

Przeprowadzone badania elastooptyczne węzła lotniczego przedstawiają rozkład naprężeń w połączeniu tulei głównej oraz wpływ rodzaju zastosowanej podkładki i kierunku oraz wielkości zastosowanego obciążenia na wielkość naprężeń. Dla pełnego zobrazowania rozkładu naprężeń w badanym połączeniu w kolejnym etapie badań wskazane jest zastosowanie specjalistycznego oprogramowania do analizy obrazów, pozwalającego na dokładne wyznaczenie granic poszczególnych obszarów.

The study of the photoelastic tests represents stress distribution in the main tube connection and the influence of the type of the washer and the direction and value of load to be applied to the amount of stress.

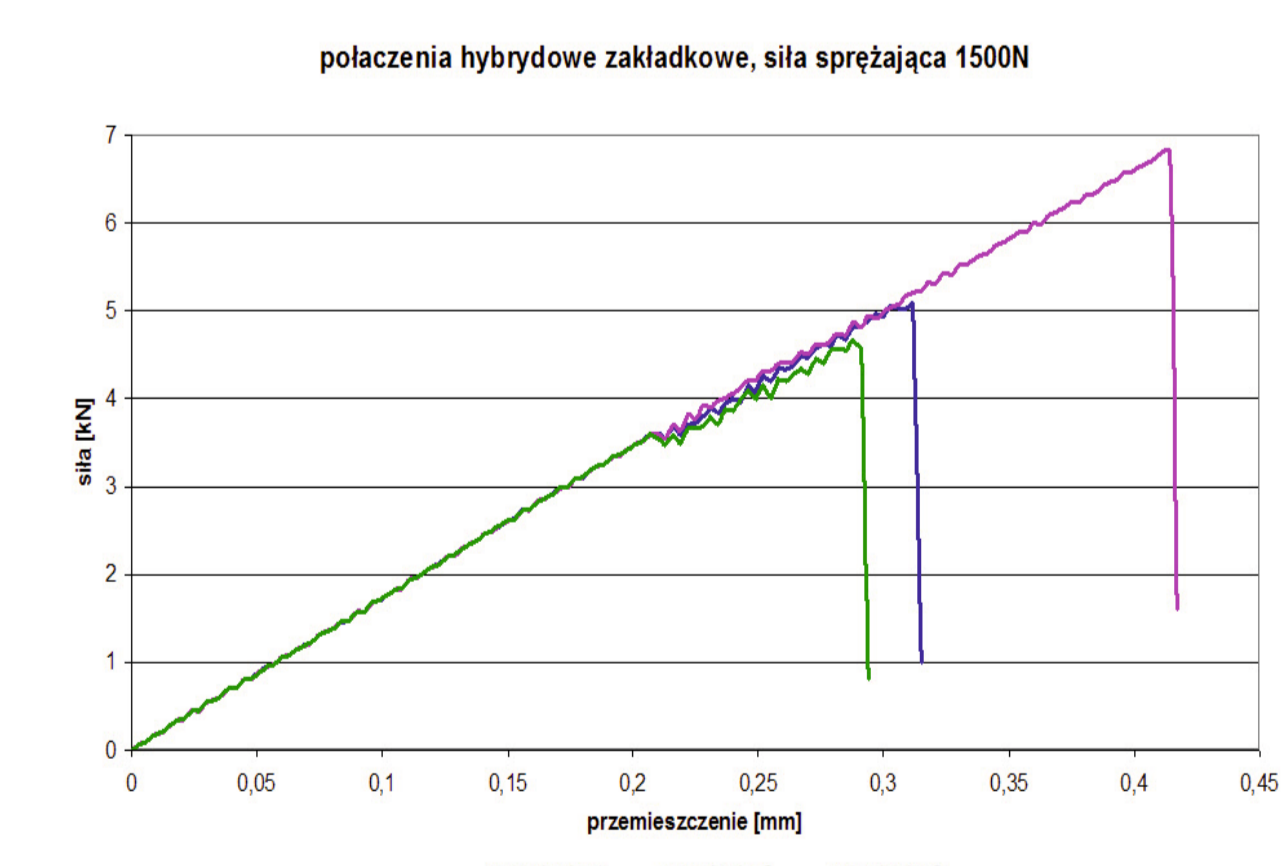
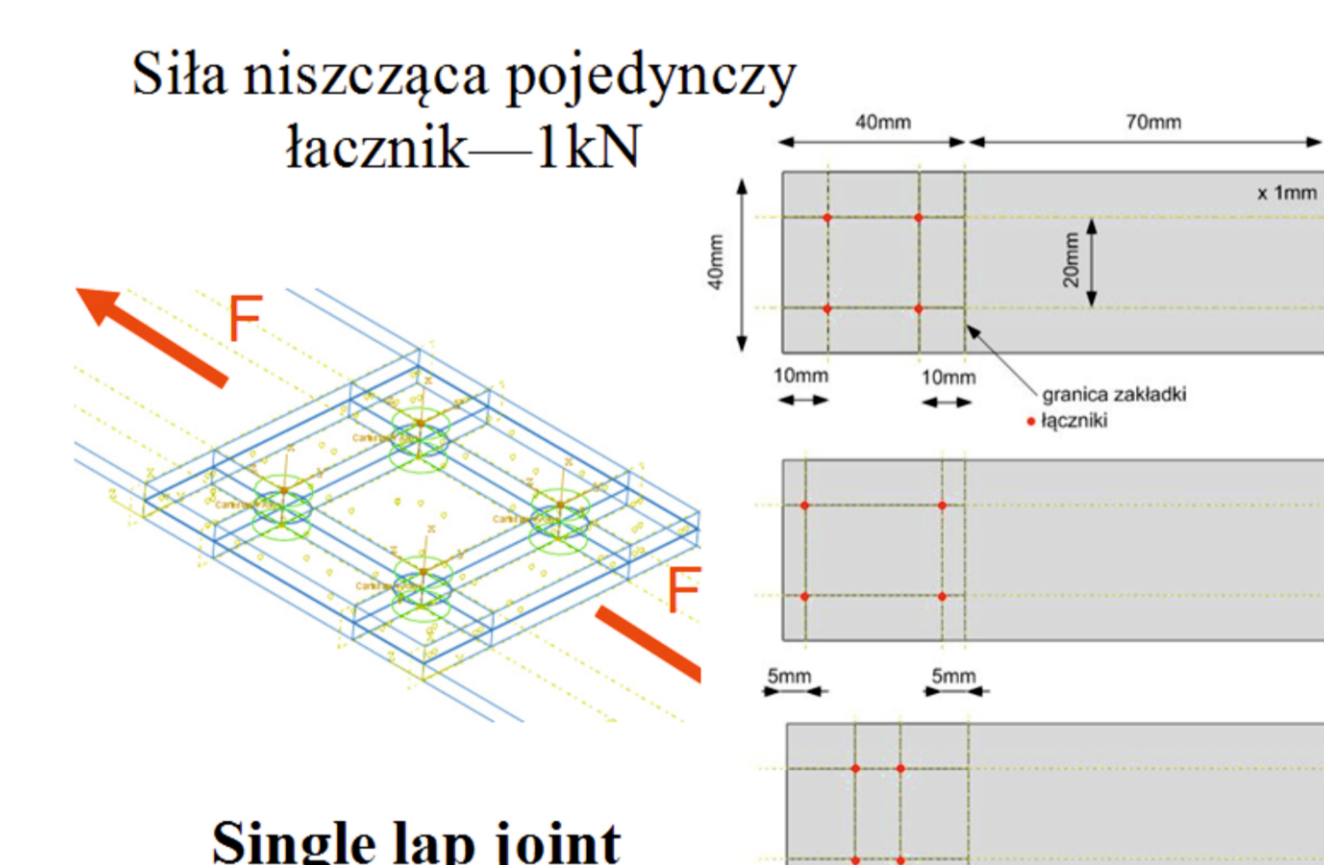
For a full picture of stress distribution in the studied connection in the next stage of research it is advisable to use specialized software to analyze images, allowing for precise determination of the limits of individual areas.

Wyniki badań Results

Połączenia hybrydowe Hybrid joints

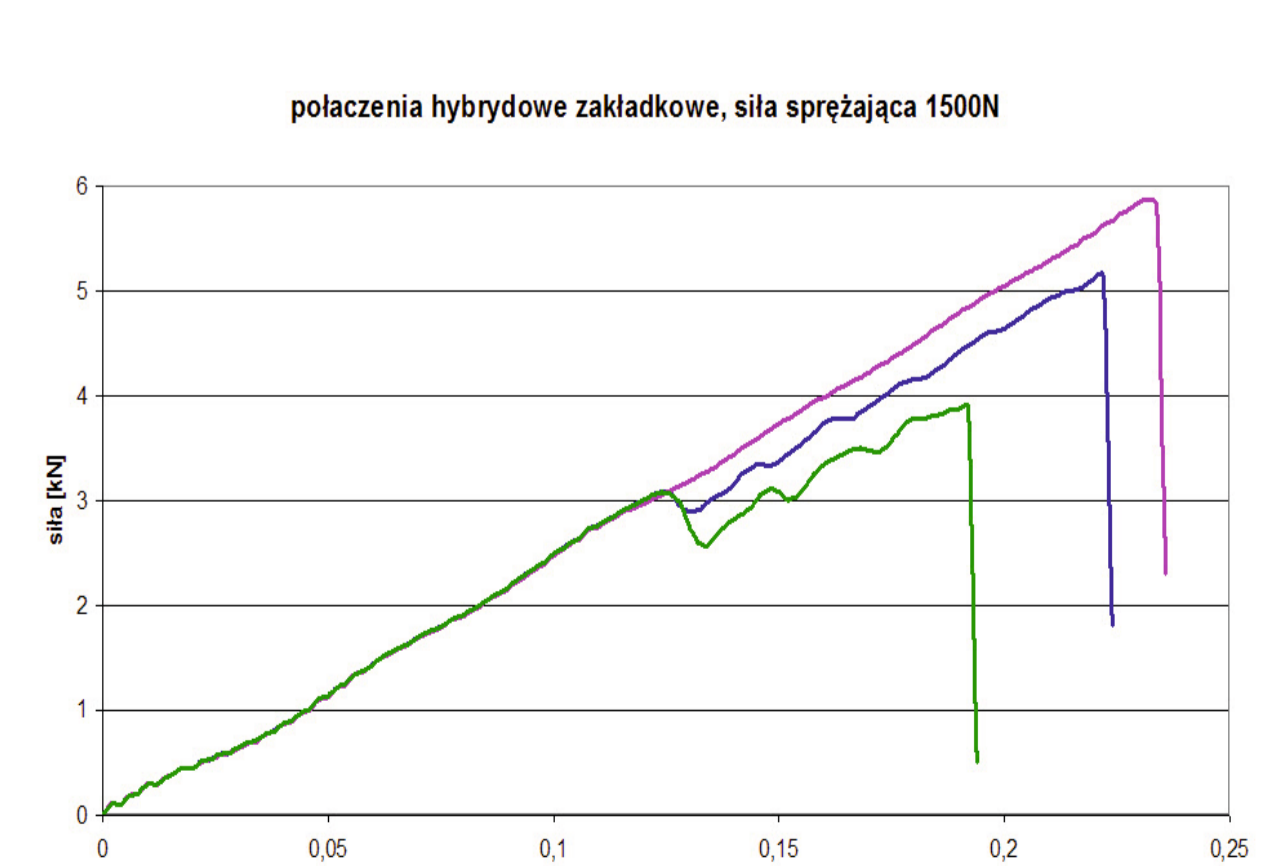
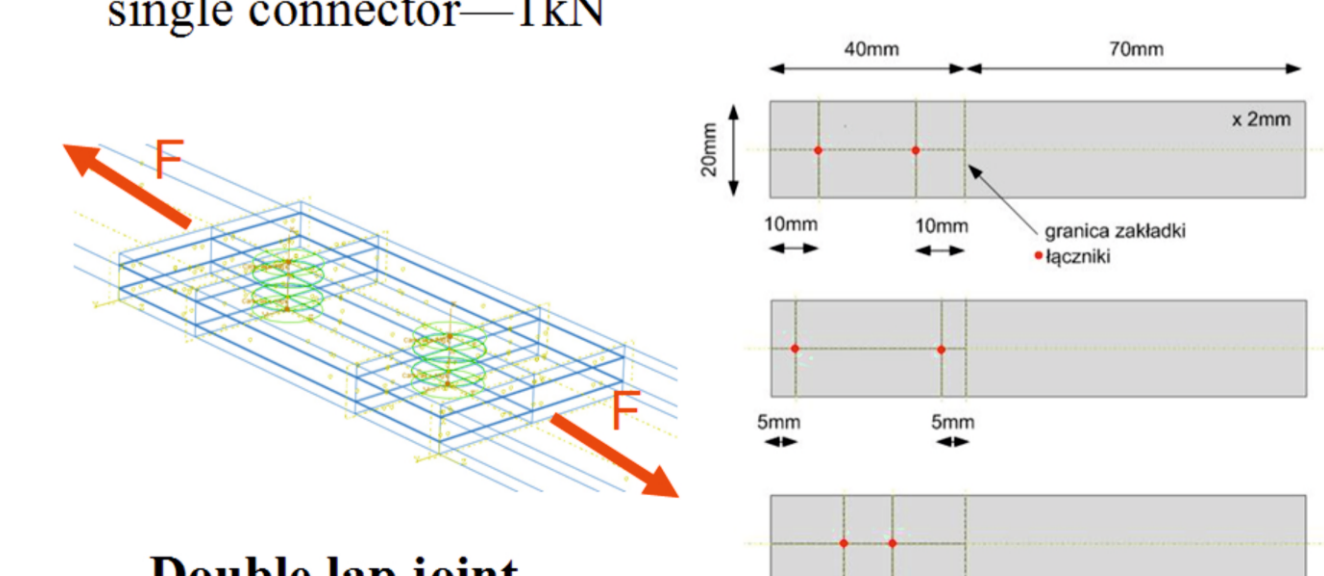
Celem przeprowadzonych badań było określenie jak wpływa sprężenie łączników w połączeniach hybrydowych w złączach zakładkowych oraz dwunakładkowych także przy różnym rozmieszczeniu łączników.

The aim of this study was to determine how it affects compression from connectors in hybrid: single and double-lap joints with different distribution of connectors.



Wzrost nośności połączenia o 14,2% dla ustawienia 2, spadek nośności o 24% dla ustawienia 3.

Increase the connection capacity by 14.2% for setting 2, the decrease in capacity by 24% for the third set.



Wzrost nośności połączenia o 33,8% dla ustawienia 2, spadek nośności o 10% dla ustawienia 3.

Increase the connection capacity by 33.8% for setting 2, the decrease in capacity by 10% for the third set.

Wnioski Conclusions

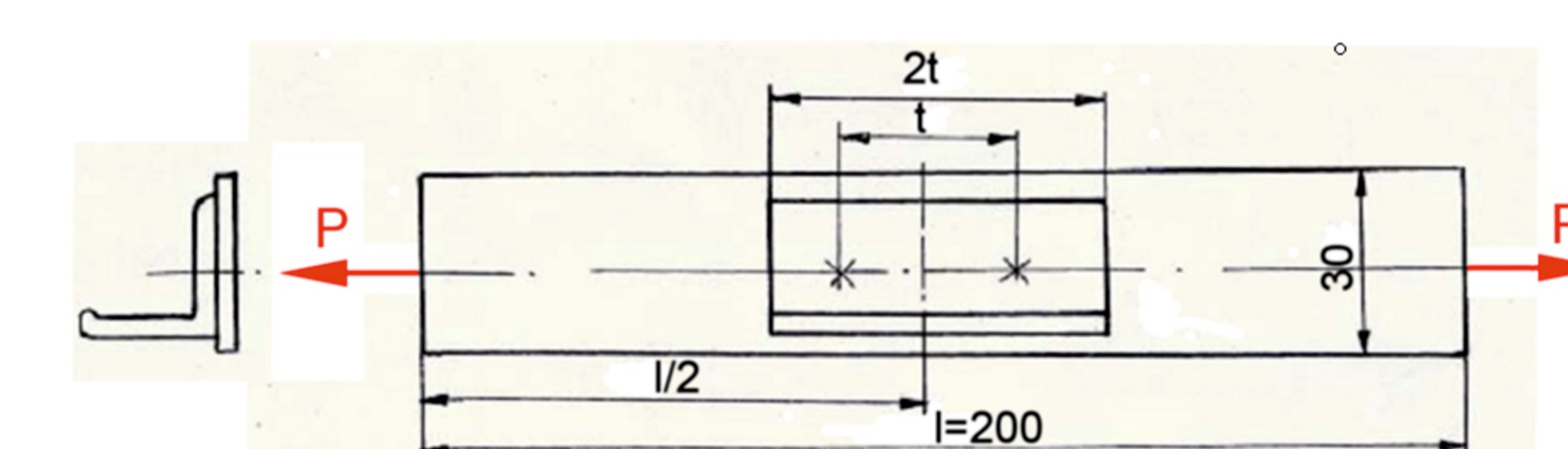
- Sprężenie połączeń hybrydowych zakładkowych podnosi nośność połączenia o 7,5% dla siły sprężającej 500N oraz o 14,2% dla siły 1500N
- Istotne znaczenie dla wytrzymałości połączeń ma rozsuniecie łączników. Należy je umieszczać jak najdalej od osi zakładki prostopadłej do kierunku działania siły rozciągającej połączenie

- Compression of hybrid single lap joint raises the capacity of 7,5% for the prestressing force 500N and 14,2% for the strength of 1500N
- It is important for the strength of joints is to slide open the connectors. They should be placed as far away from the axis perpendicular to the direction of the lap of force extending the connection

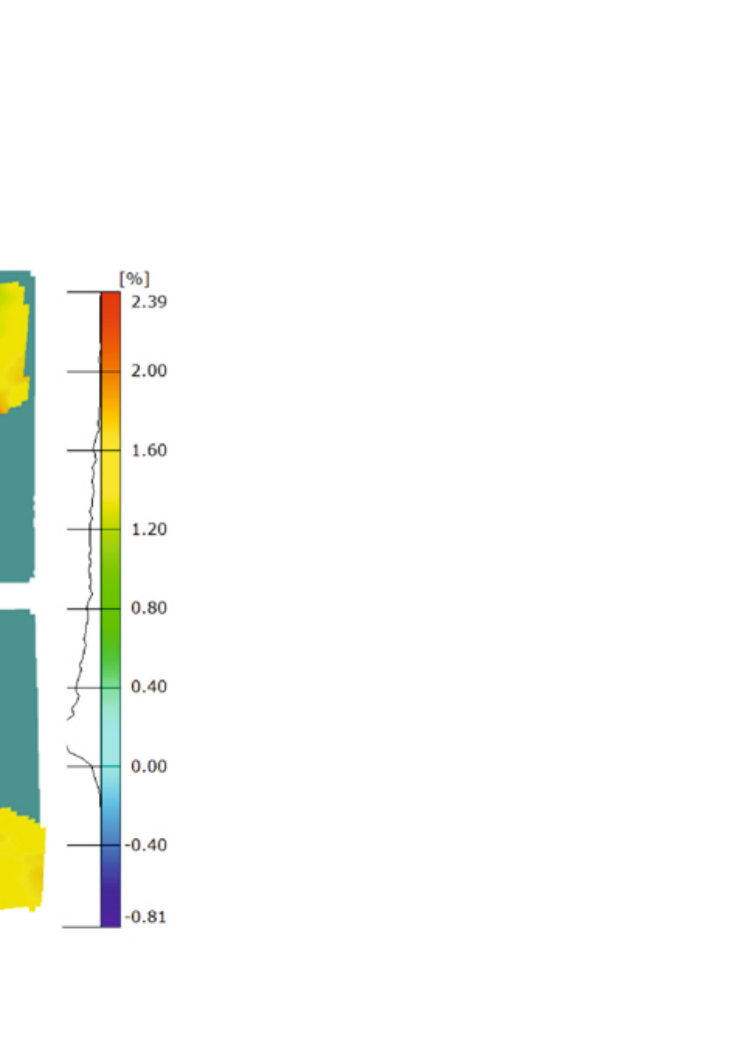
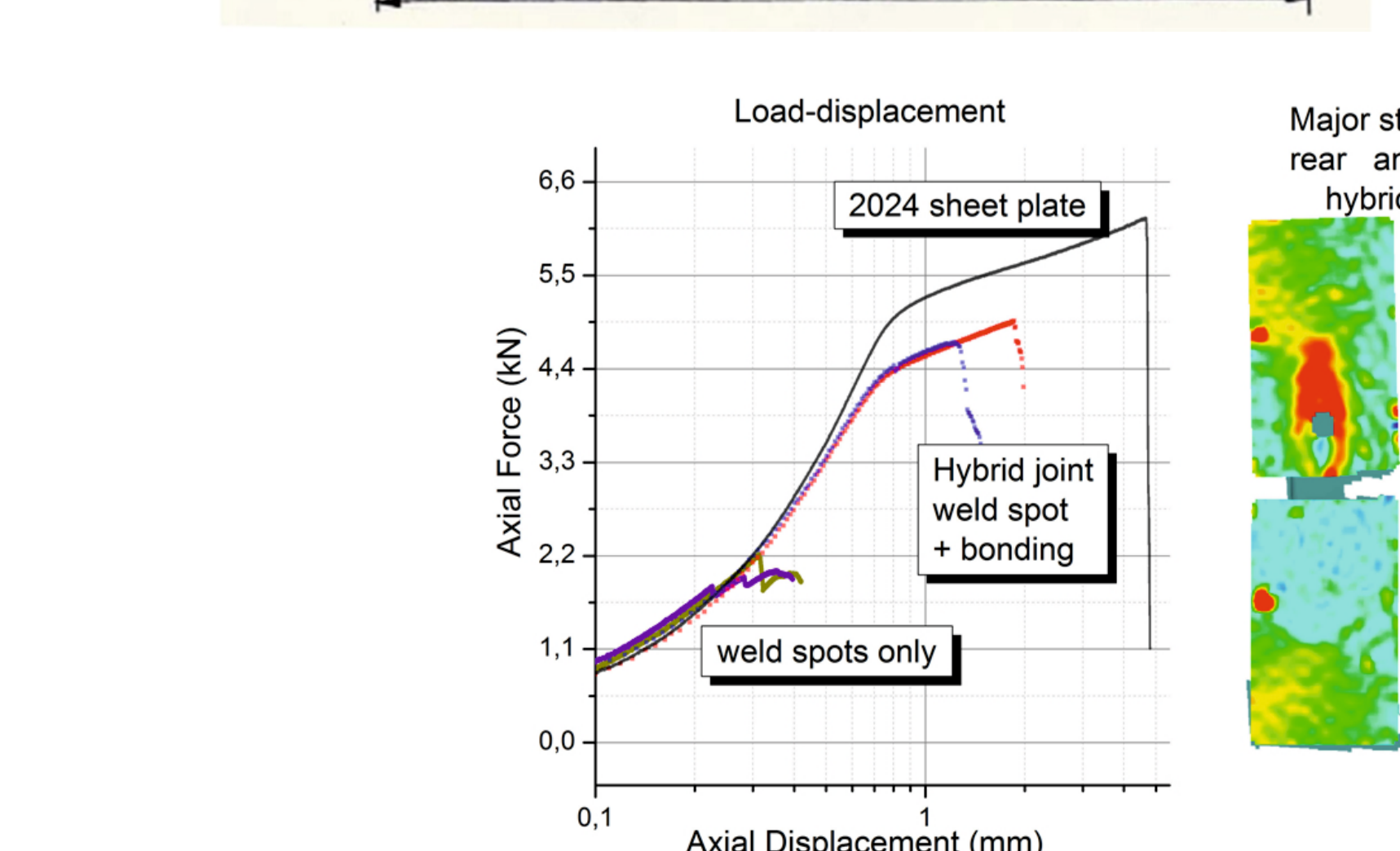
Wyniki badań Results

Celem przeprowadzonych badań było określenie rozkładów odkształceń oraz miejsc ich koncentracji dla próbek obserwowanych jednocześnie z dwóch stron za pomocą systemów DIC.

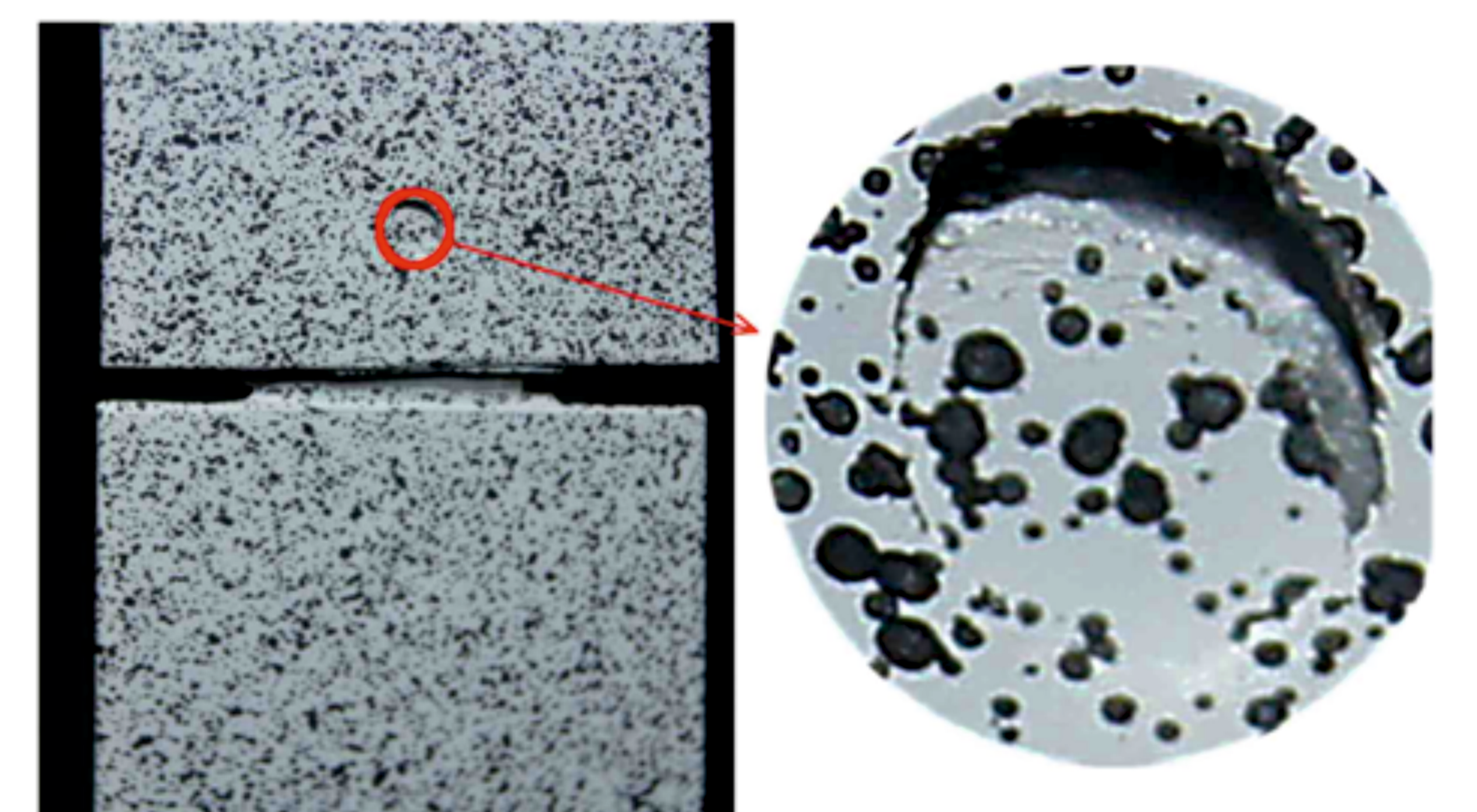
The aim of performed tests was determination of distribution and strain concentrations for specimens observed simultaneously from both sides using two DIC systems.



Badana próbka: Wymiary, kształt oraz sposób obciążenia.
Tested specimen: Dimensions, shape, and testing condition



Z uwagi na złożony kształt próbki do pełnej analizy odkształceń wymagane są minimum dwa systemy DIC. Jeden obserwujący próbkę od strony kątownika, a drugi od strony blachy. Ważnym elementem całego systemu pomiarowego jest jednocześnie wyzwolenie pomiaru na obu systemach DIC jednocześnie, jak i rejestracja momentu wyzwolenia w oprogramowaniu maszyny wytrzymałościowej. Wyniki z obu czujników zostały połączone za pomocą SVIEW. Całość procedury została opracowana w związku z zadaniem ZB15



Widok zniszczenia po próbie rozciągania
Final failure view after tensile test.

Wykres siła—przemieszczenie dla kolor czarny: materiału rodzimego (2024 T5) Rm=331 MPa; kolor czerwony i hybrydowe; fioletowy i żółty: złącze zgrzewane. Zdjęcia obok przedstawiają obraz odkształceń dla wykresu czerwonego w chwili osiągnięcia maksymalnej siły. Load—Displacement curve for material (black); hybrid joints (blue, red); weld spot only (yellow, purple). Pictures on the right shows major strains for red curve in moment of maximal load.

Specimens has complex shape—this involves at least two DIC system to be used. One recording side with stiffening angle, and second other side of the specimen. Very important for these systems (two DICs, and fatigue machine is to trigger everything exactly in the same time. Only this way gives possibility to properly compare results. All the measuring procedure was developed within the AB15 task.