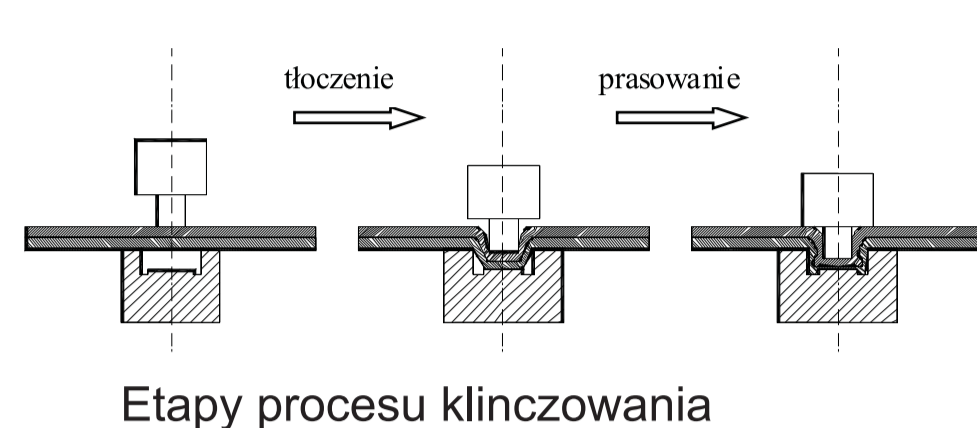


Niekonwencjonalne technologie łączenia elementów konstrukcji lotniczych

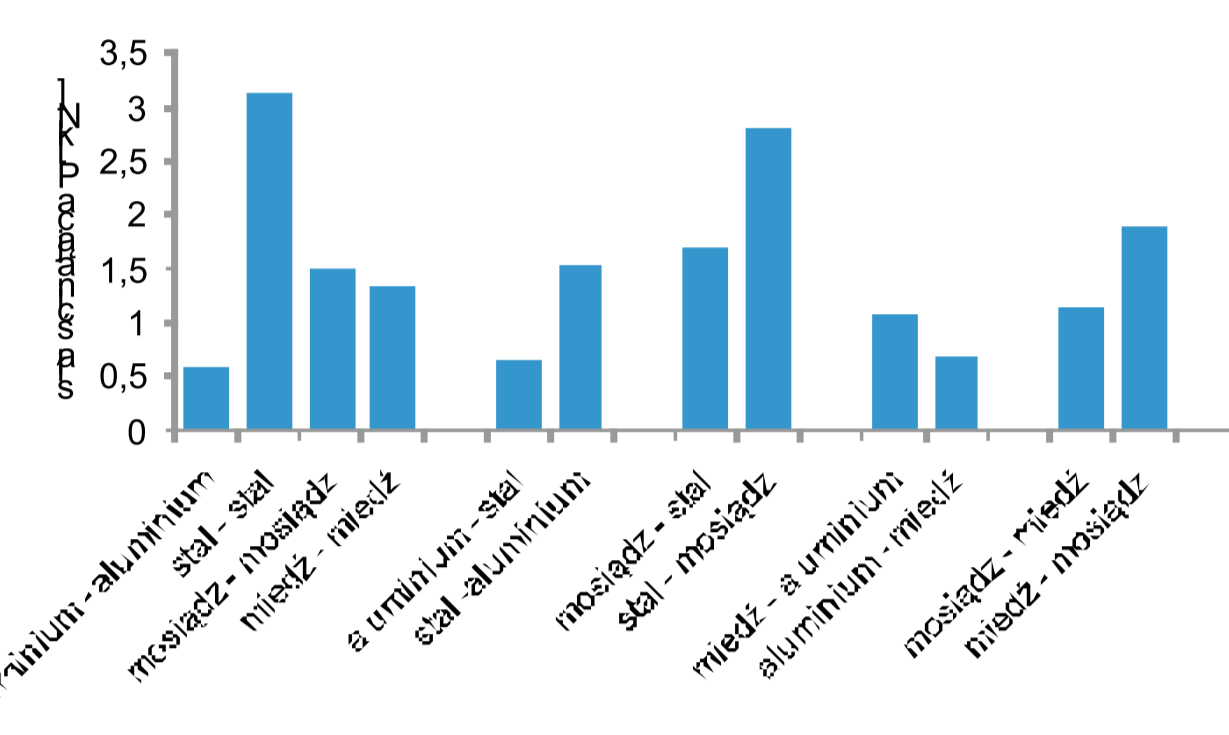
Politechnika Lubelska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Częstochowska, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk

Wyniki badań

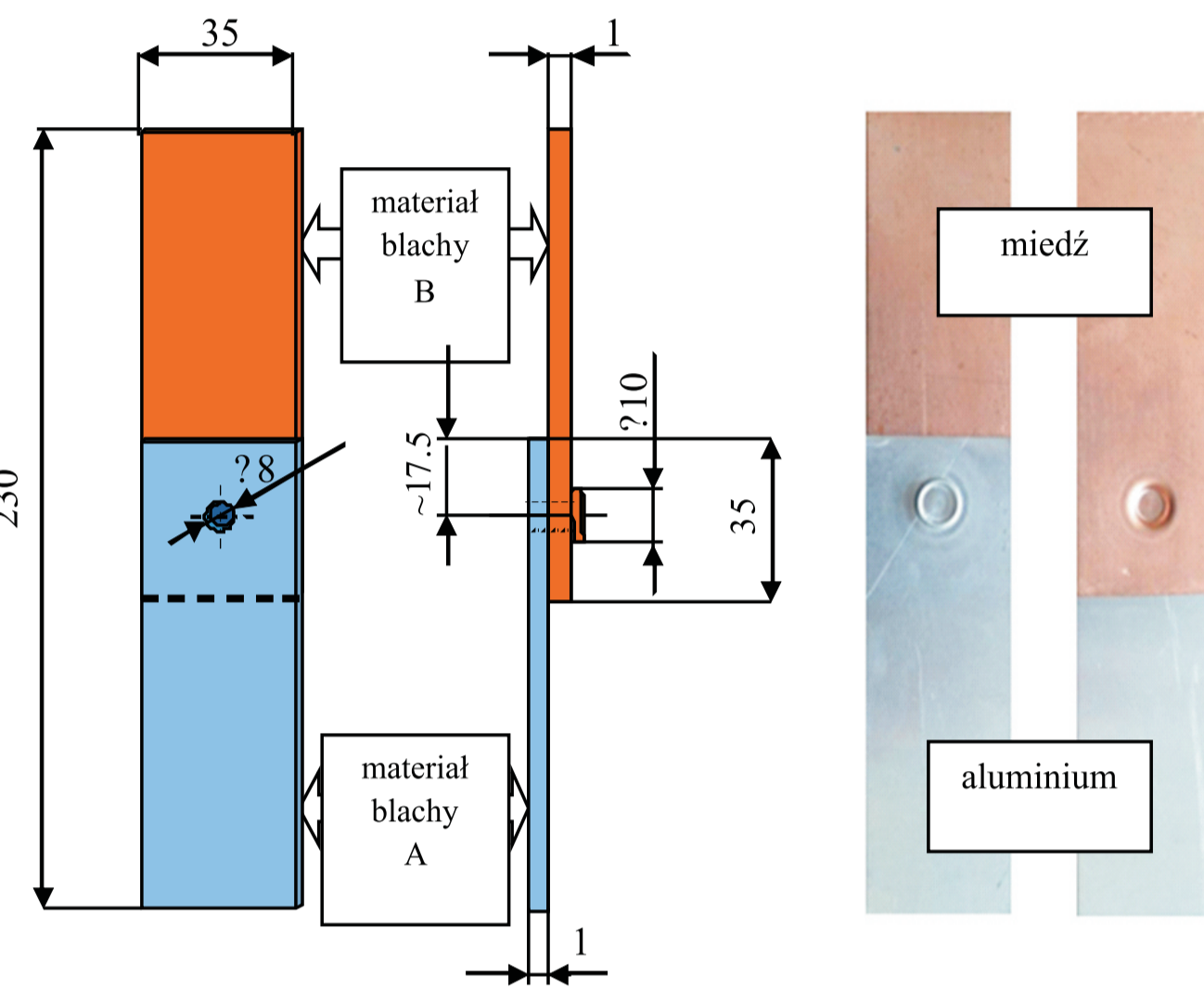
Klinczowanie



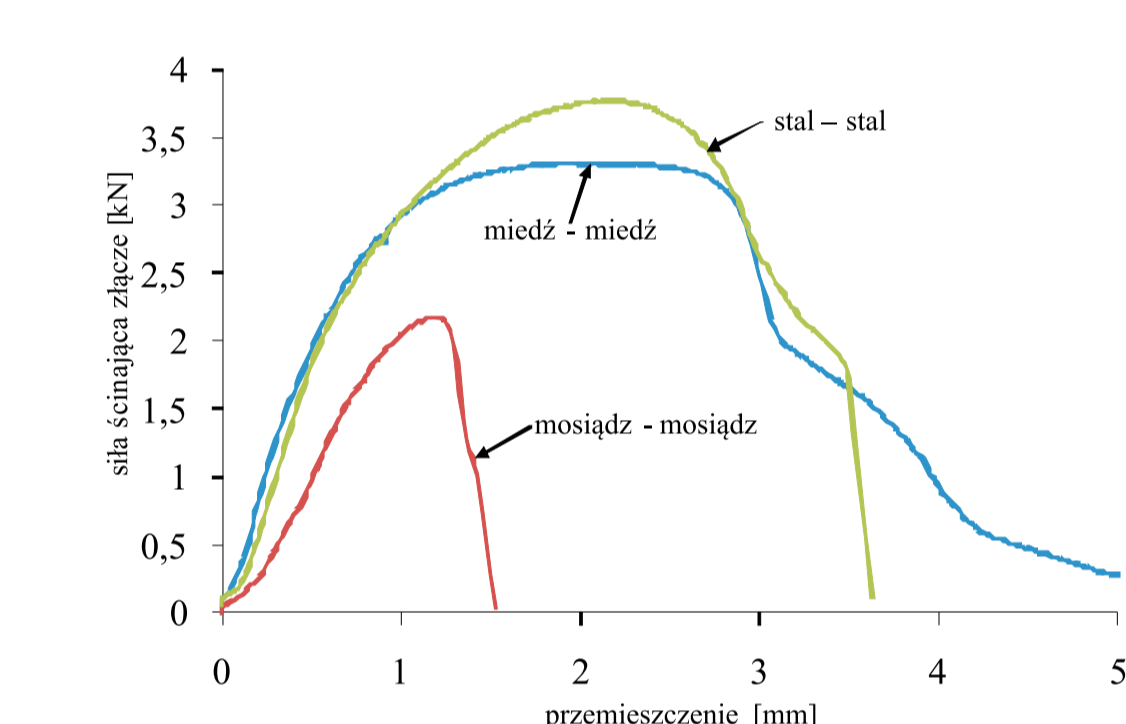
Etapy procesu klinczowania



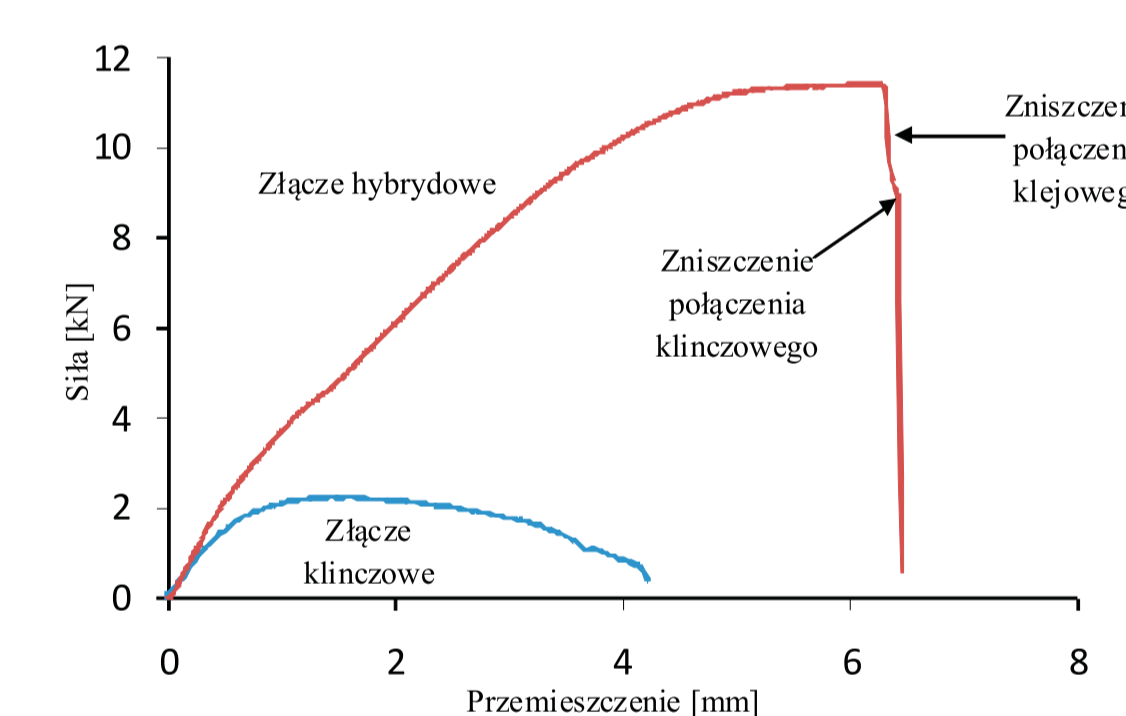
Zależność maksymalnej siły ścinającej złącze klinczowe od rodzaju łączonych materiałów



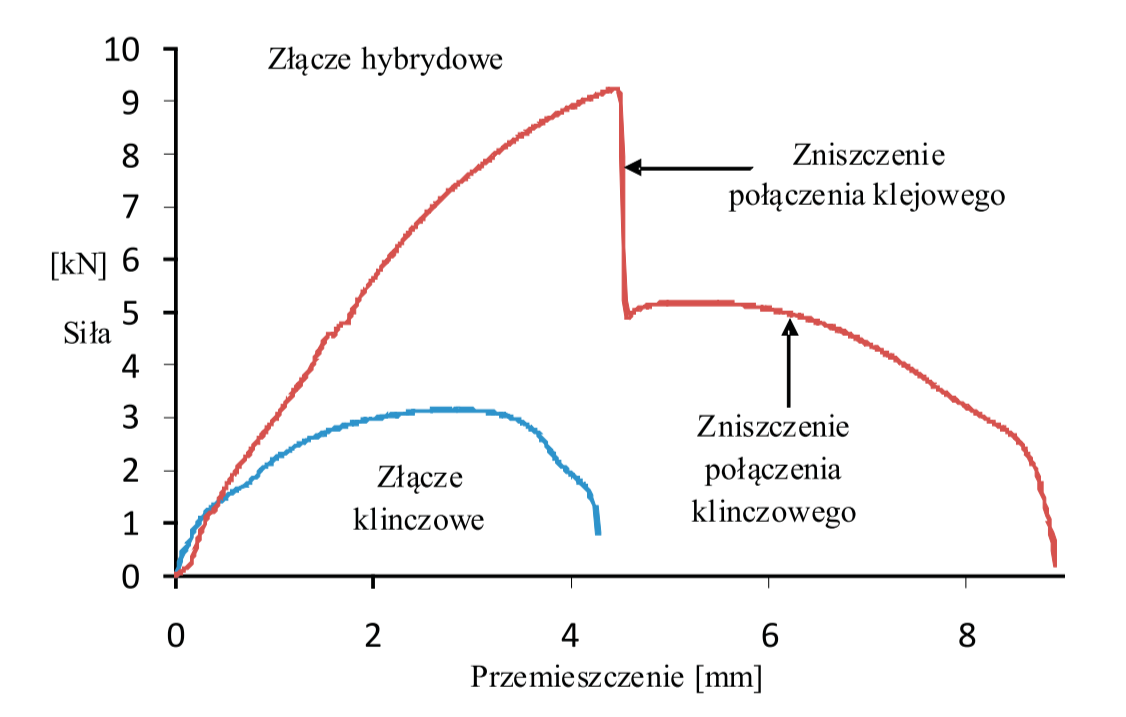
Geometria połączenia zakładkowego (złącze klinczowe A - B)



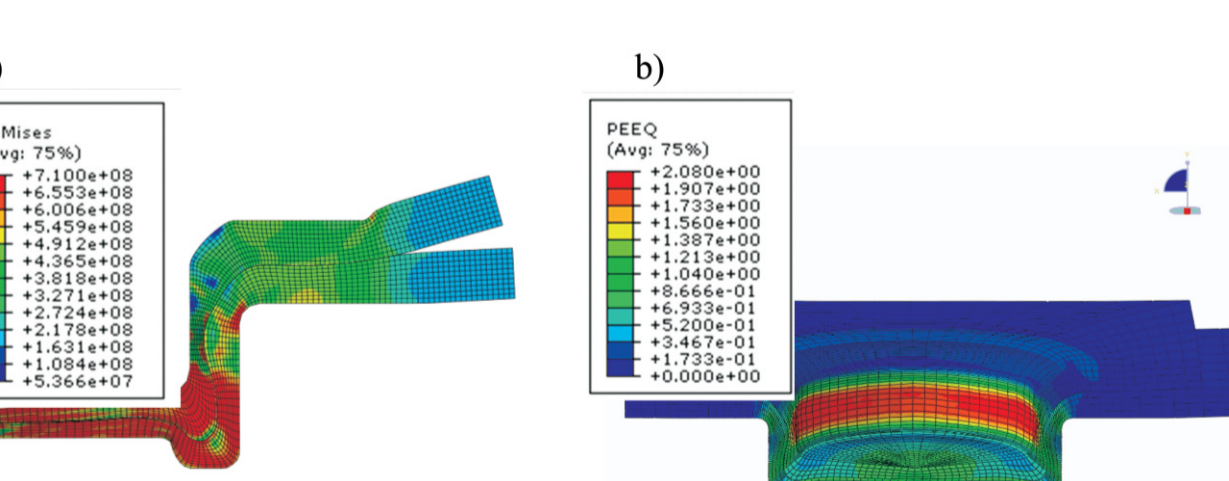
Eksperymentalne krzywe siła - przemieszczenie otrzymane dla złącza klinczowego badanych materiałów



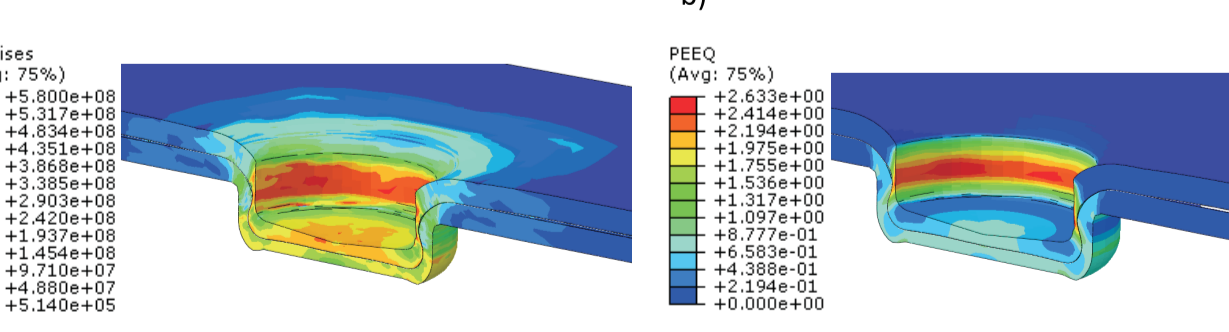
Eksperymentalne krzywe siła - przemieszczenie otrzymane dla złącza klinczowego i hybridowego blach miedzianych



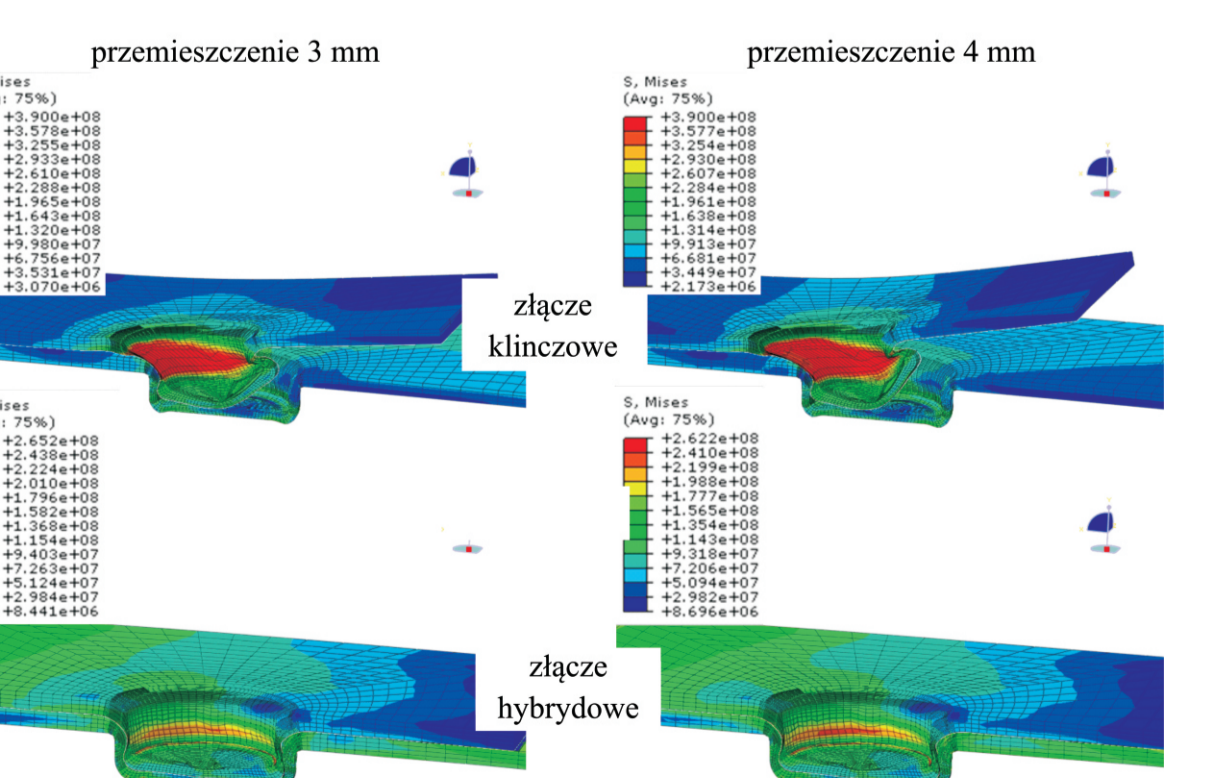
Eksperymentalne krzywe siła - przemieszczenie otrzymane dla złącza klinczowego i hybridowego blach stalowych



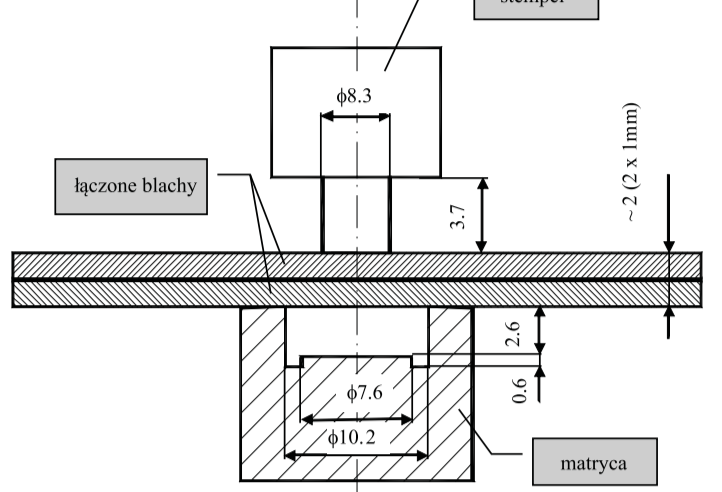
Wyniki symulacji MES kształtowania złącza klinczowego stal-miedź: a) rozkład zastępczych naprężeń, b) rozkład zastępczych odkształceń



Wyniki symulacji MES kształtowania złącza hybridowego stal - miedź: a) rozkład zastępczych naprężeń, b) rozkład zastępczych odkształceń



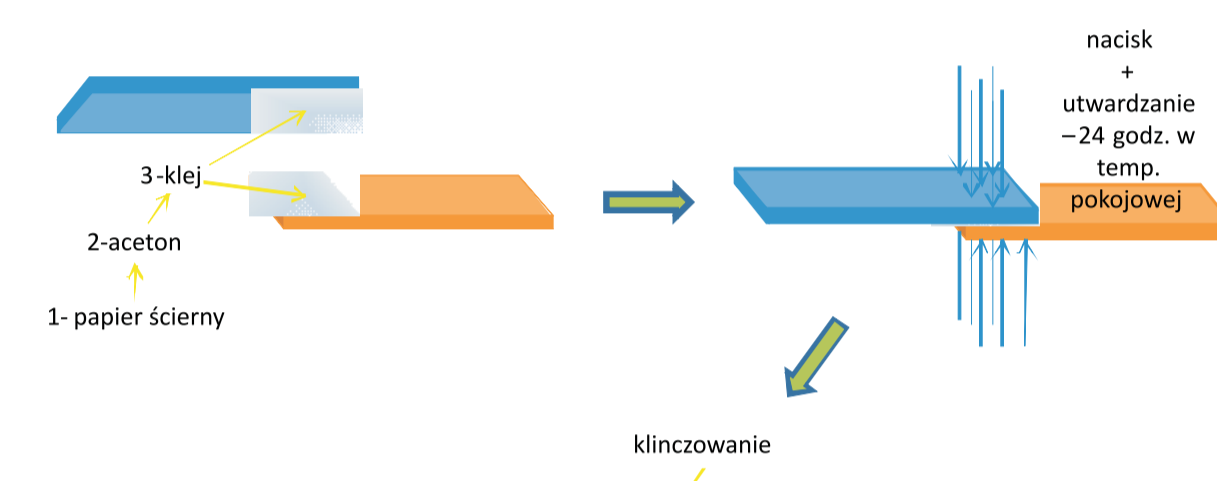
Porównanie wyników symulacji MES (program ABAQUS) otrzymanych dla złącza klinczowego i hybridowego klejowo - stalowego blach stal - miedź



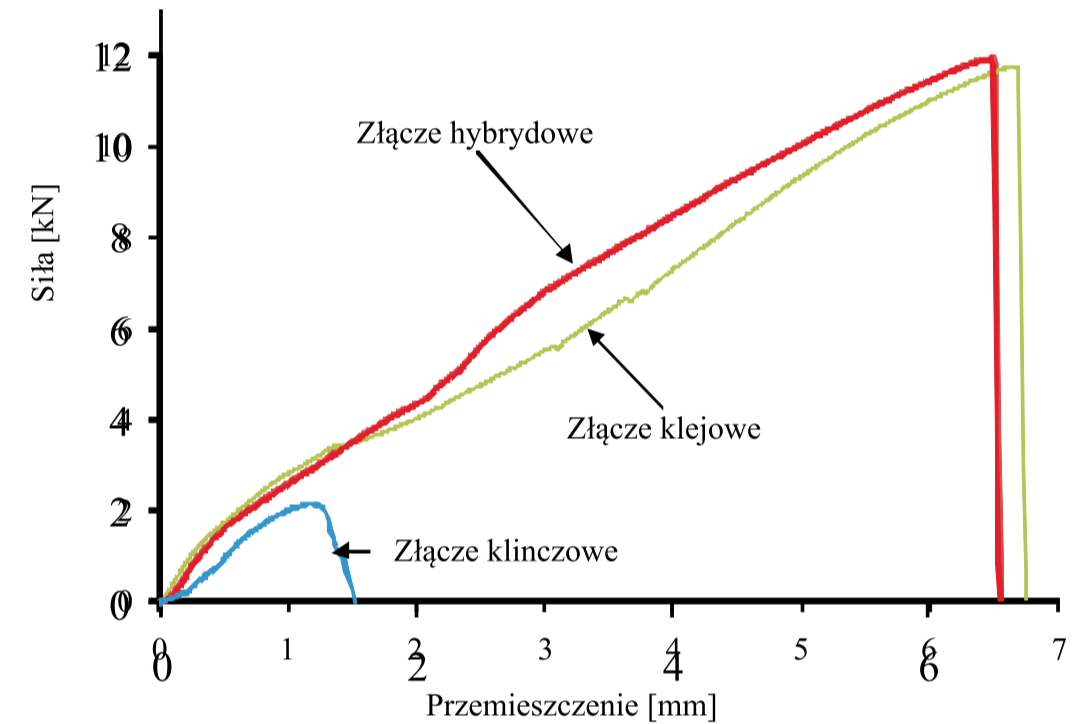
Geometria narzędzi klinczujących



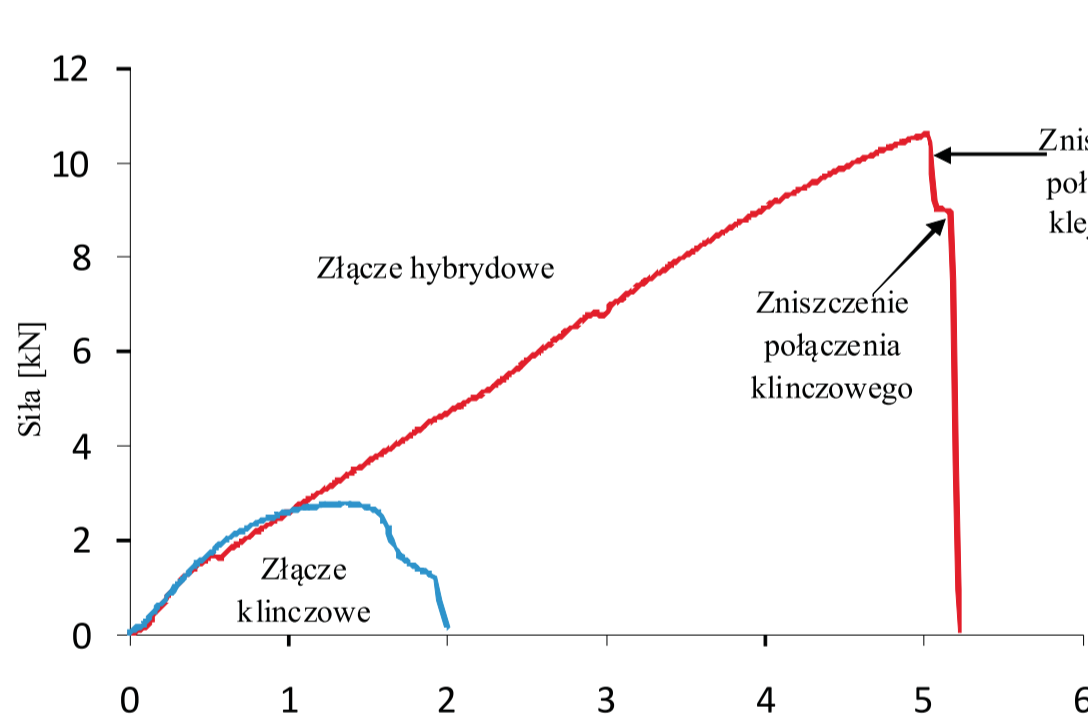
Klej stosowany w badaniach



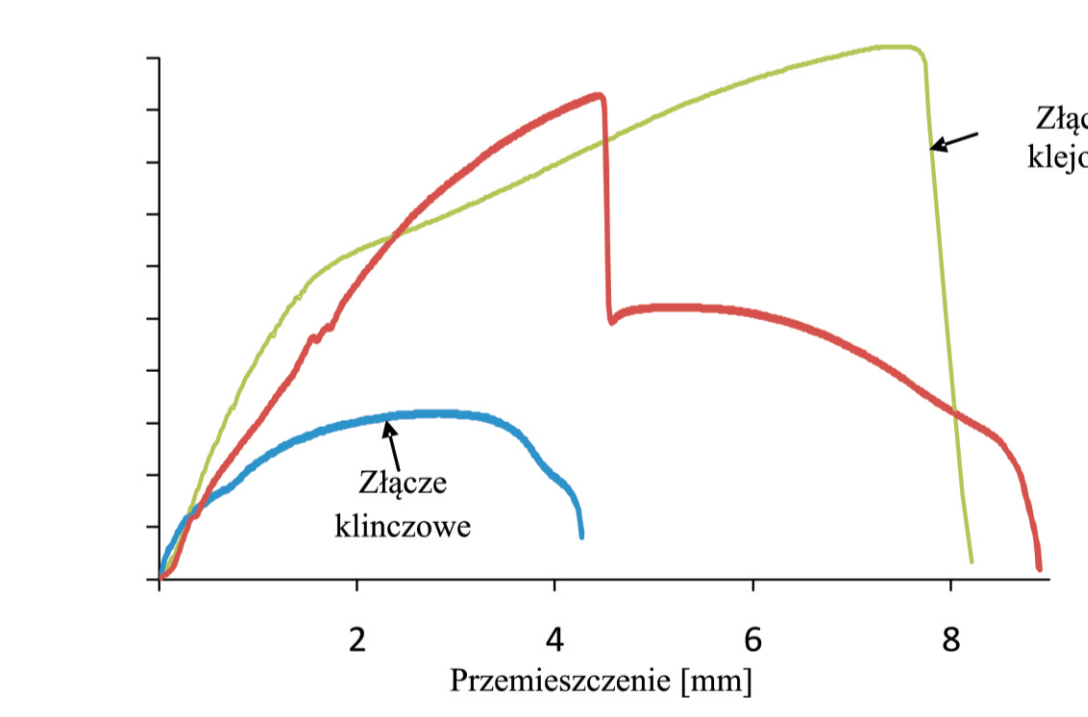
Metodologia wykonania próbek hybridowych



Eksperymentalne krzywe siła - przemieszczenie otrzymane dla złącza klinczowego i hybridowego blach mosiężnych



Eksperymentalne krzywe siła - przemieszczenie otrzymane dla złącza klinczowego i hybridowego blach stal - miedź



Eksperymentalne krzywe siła - przemieszczenie otrzymane dla złącza klinczowego i hybridowego blach stal - tytan

łączane materiały	złącze klinczowe	złącze hybridowe		całkowita energia złącza hybridowego
		średni punkt max. siły ścinającej	na punkcie max. siły ścinającej	
stal - miedź	10,4	25,9	19,3	44,2
stal - stal	9,6	31,5	10,5	42,1
miedź - miedź	9,9	44,9	3,7	50,6
mosiądz - miedź	3,7	25,9	1,9	30,8
mosiądz - mosiądz	1,9	44,0	0,4	44,5

Energia zniszczenia złącza klinczowego i hybridowego badanych blach

przemieszczenie 1 mm

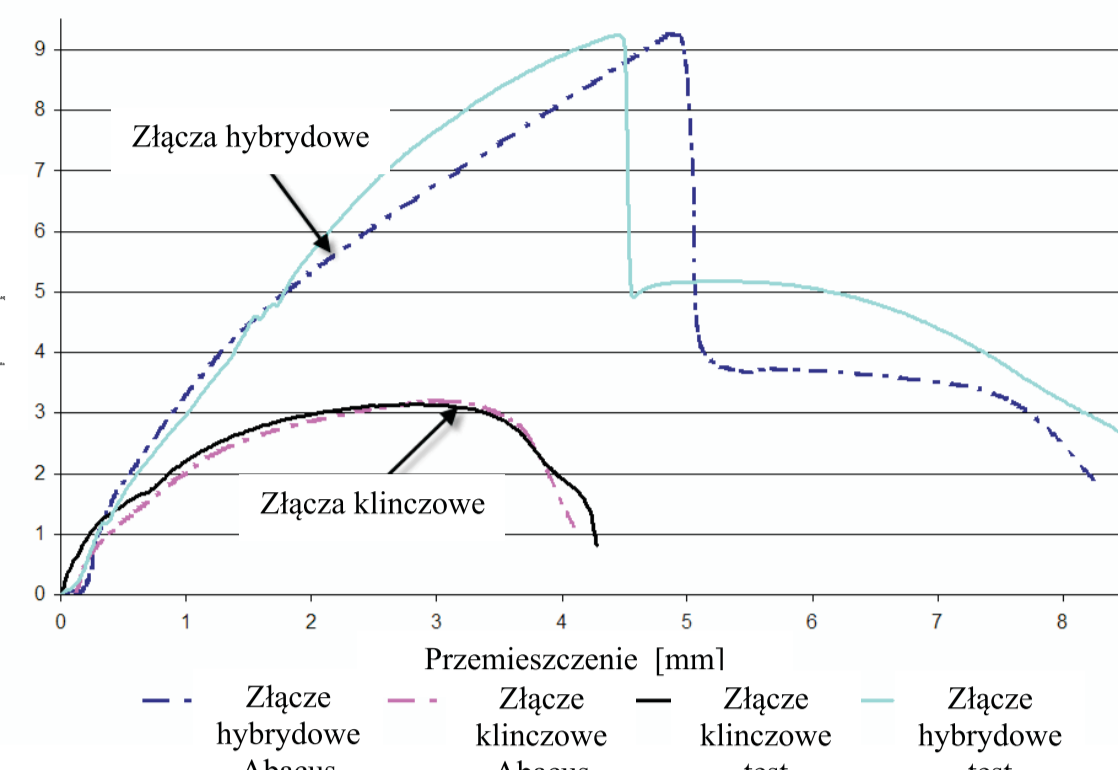
przemieszczenie 2 mm

przemieszczenie 3 mm

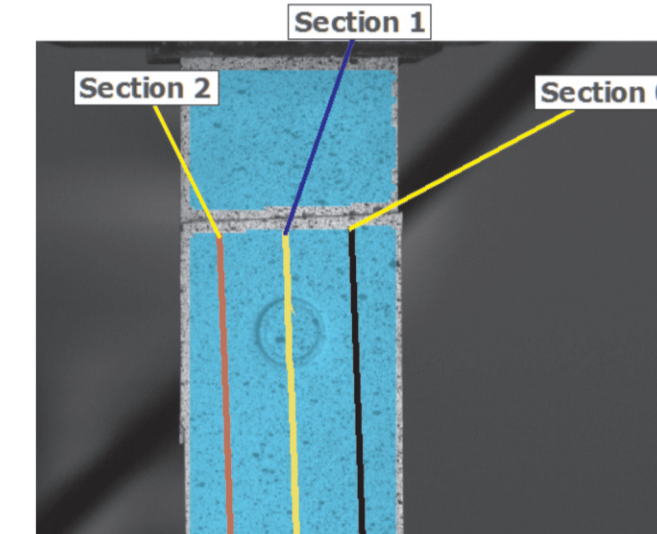
przemieszczenie 4 mm

przemieszczenie 5 mm

warstwa kleju po 5 mm przemieszczenia suwaka maszyny



Porównanie krzywych ścinania (eksperymentalnych i MES) dla złącza klinczowego i hybridowego blach stal - miedź



Section 0 Section 1

Stage 8 Time: 8.00 s

Stage 13 Time: 13.20 s

Stage 50 Time: 50.00 s

Stage 8 Time: 8.00 s

Stage 13 Time: 13.20 s

Stage 50 Time: 50.00 s

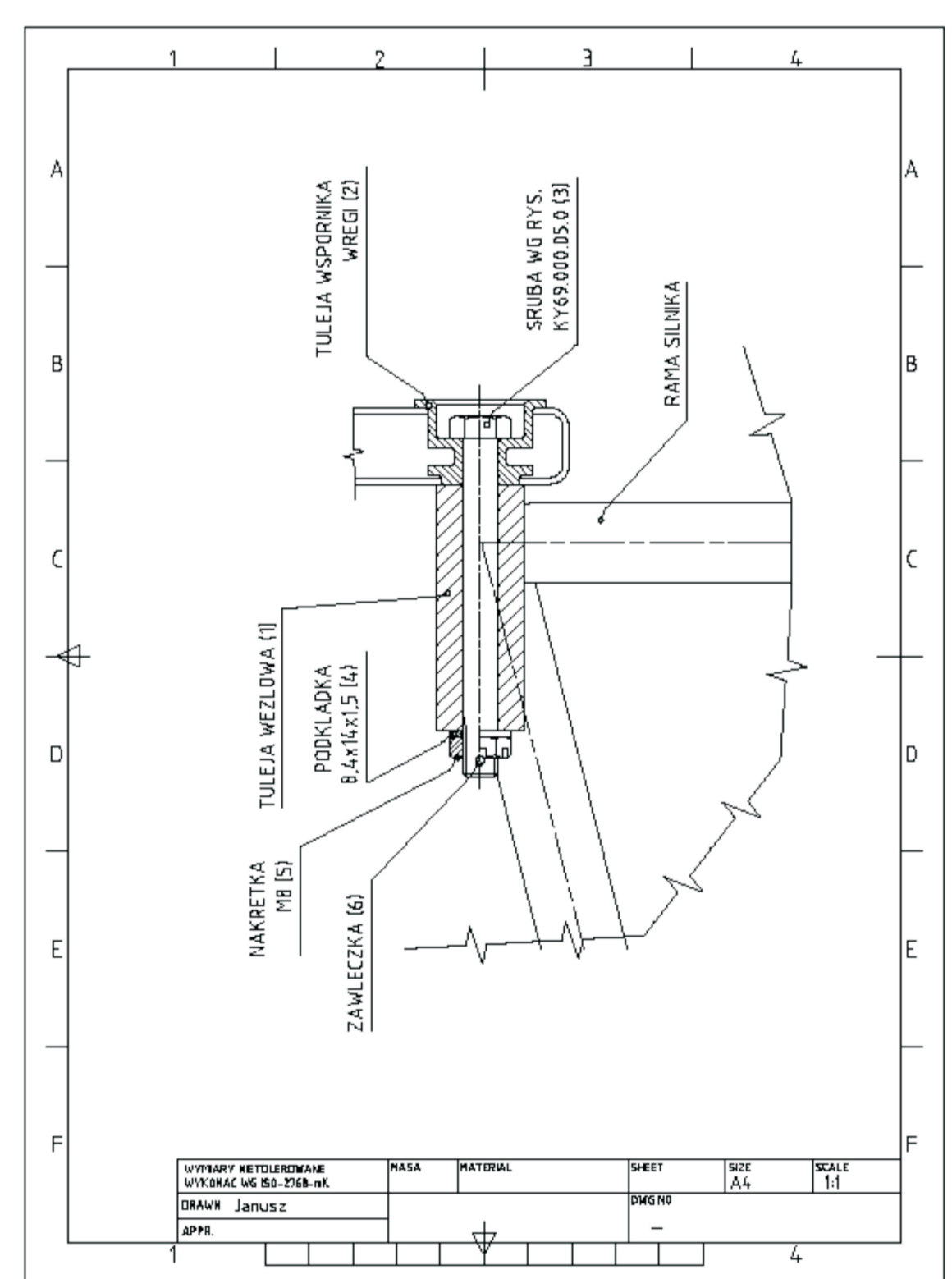
Rozkłady odkształceń zmierzone systemem pomiarowym ARAMIS dla złącza hybridowego miedź - stal

Wnioski

- Geometria narzędzi klinczujących (matrycy i stempla) ma duży wpływ na jakość wytrzymałość kształtowanego złącza i jest zależna od właściwości łączonych blach - nie ma uniwersalnych narzędzi do łączenia różnych materiałów.
- Wytrzymałość na ścinanie zakładkowych złączy klejowych jest znacznie większa niż złączy klinczowych stosowanych w badaniach.
- Wytrzymałościowe charakterystyki ścinania złącza hybridowego klejowo - klinczowego mają różne przebiegi, uzależnione od wytrzymałości złącza klinczowego; gdy łączące materiały tworzą złącze klinczowe o dużej wytrzymałości, to warstwa kleju powoduje dodatkowe jego wzmocnienie, większa jest również droga zniszczenia połączenia i następuje 'przeniesienie' znacznej części zaabsorbowanej energii poza maksymalny punkt siły ścinającej złącza.
- Klej Dragon®, stosowany w badaniach, jest klejem kruchym i sztywnym, i dlatego warstwa kleju podczas klinczowania i ulegała uszkodzeniu wewnątrz i dookoła złącza klinczowego.
- Zastosowanie klinczowania przed utwardzeniem kleju powinno powodować większe wzmocnienie złącza hybridowego, jednakże trzeba w tym przypadku rozwiązać technologiczny problem wyciskania kleju podczas klinczowania z pomiędzy powierzchni zakładkowych łączonych blach.

Wyniki badań

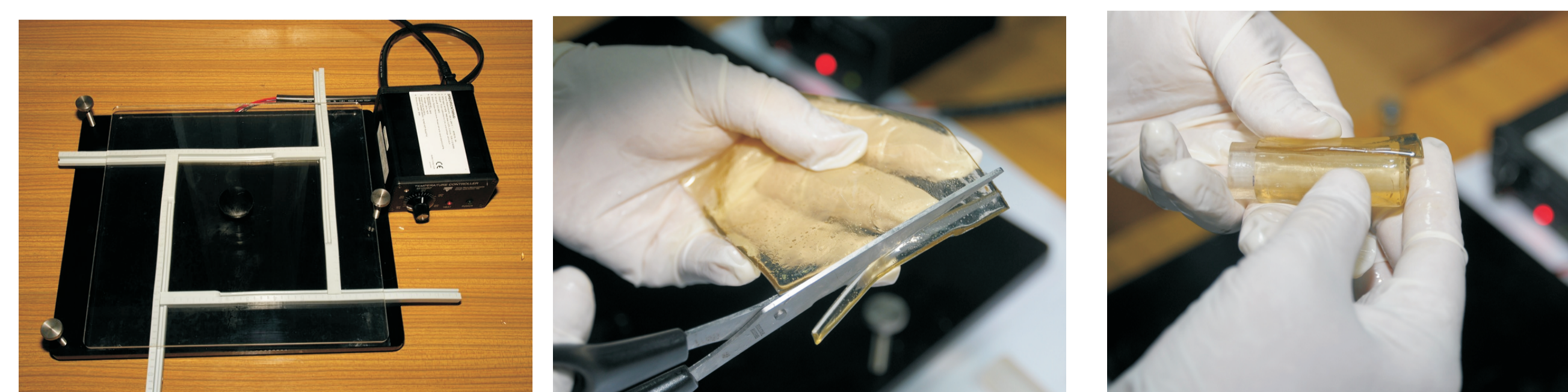
Wykonanie analizy modelu węzła śrubowego wysoko obciążonego w konstrukcji lotniczej metodą elastoptyczną



Rys.1. Rysunek konstrukcyjny badanego węzła (fragment)

Możliwość bezpośredniego przejścia z deski kreślarskiej, jaką są obecnie zaawansowane systemy CAD, do modelu fizycznego dają techniki szybkiego prototypowania - RP (Rapid Prototyping) umożliwiając konstruktorom i technologom na niemal nieograniczone modelowanie geometrii brył, eksport opracowanych elementów do systemów wytwarzania CAM a następnie testowanie węzłów konstrukcyjnych różnymi metodami. Jedną z tych metod jest metoda stereolitografii laserowej - SLA. Wykorzystując tą metodę wykonano prototypy elementów zespołu węzła lotniczego po wcześniejszym przygotowaniu niezbędnych dla procesów danych numerycznych oraz technologii wytworzenia. Z kolei na podstawie modeli SLA wykonano silikonowe formy pod odlew próżniowy. Odlewy części węzła z żywicy do badań elastoptycznych wykorzystano do dalszych badań i pomiarów - określenie powstających pod wpływem zadanego obciążenia naprężeń - ustyutowania ognisk występowania oraz oszacowania ich wartości.

Przygotowanie modelu i powłok elastoptycznych



Rys.2. Przygotowanie powłoki elastoptycznej

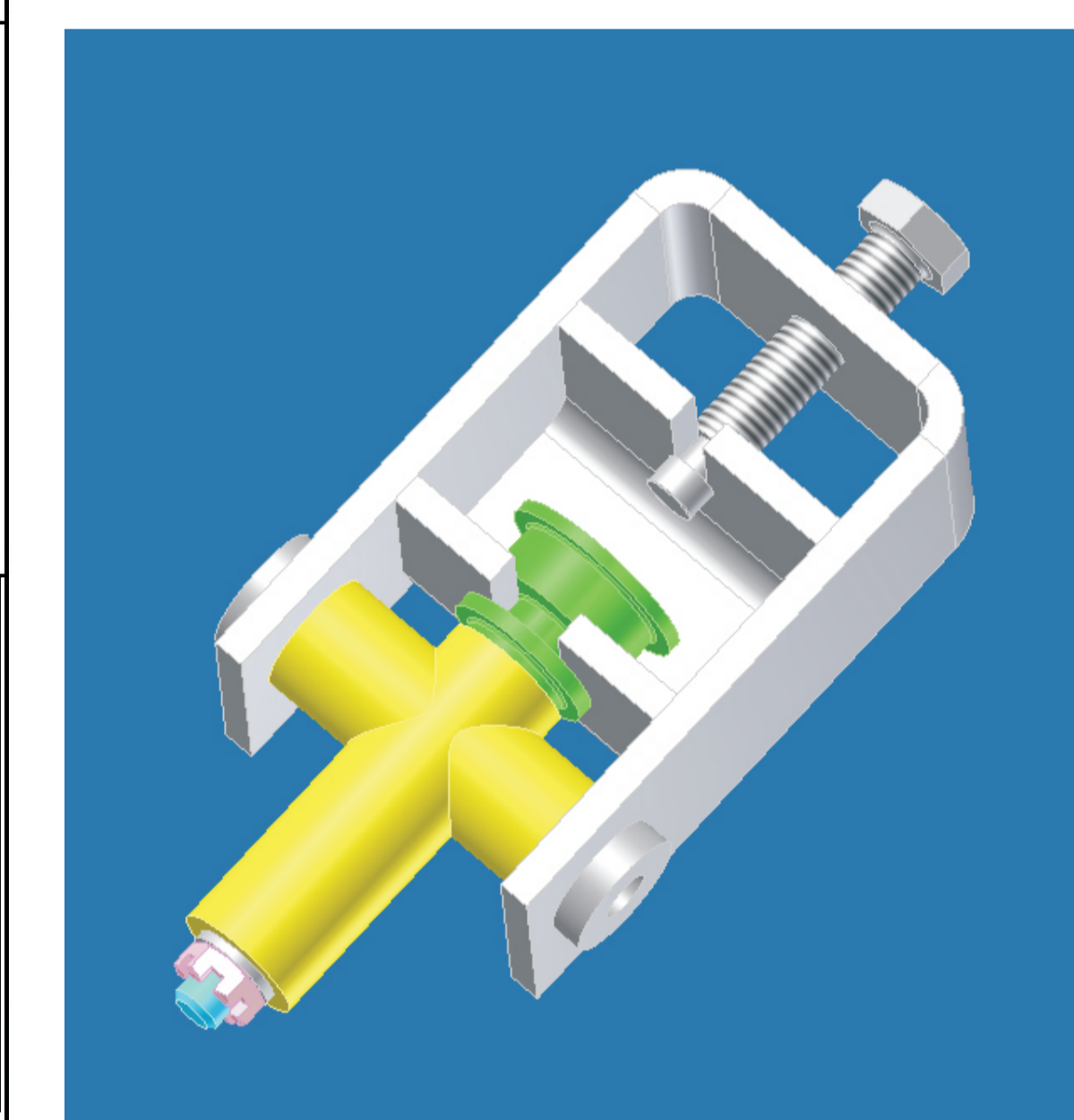
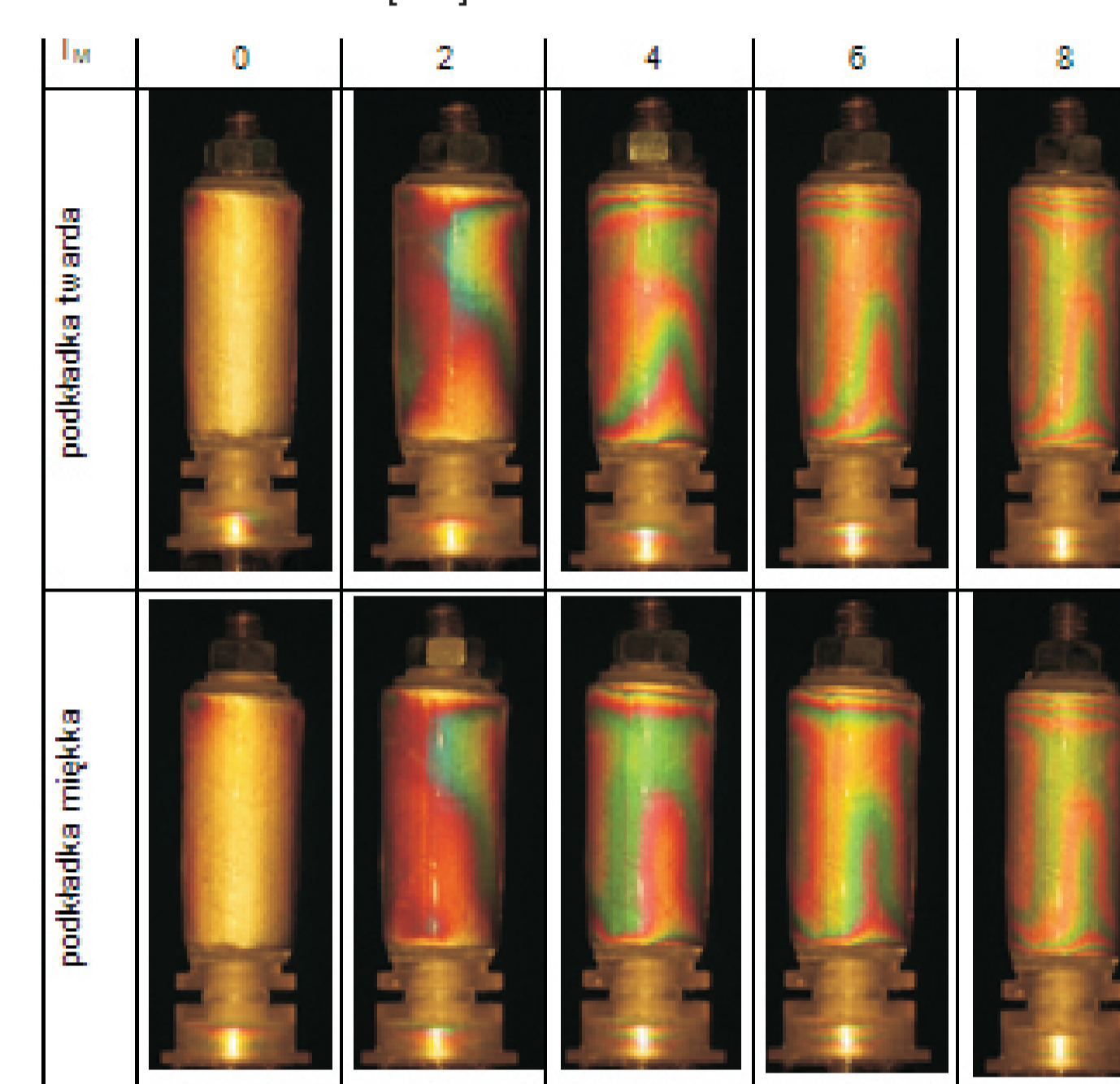
Wstępne obciążenie modelu.

Analizie poddano model węzła lotniczego obciążonego momentem w zakresie: $M = 2 \cdot 8 \text{ [Nm]}$ z wykorzystaniem podkładki twardej (metalowej) i miękkiej (z tworzywa sztucznego). Obciążenie zadanym momentem prowadzono stopniowo co $0,5 \text{ [Nm]}$ w celu dokładnego określenia obszaru pojawienia się izochrom rzędu $m=1$ jak i kierunku rozchodzenia się tych izochrom pod wpływem obciążenia. Ze wstępnej analizy wynika, że pierwsze izochromy pojawiły się w obszarze środkowym tulei i rozchodziły się w kierunku jej brzegów. Po zastosowaniu podkładki miękkiej zaobserwowano pojawienie się izochromy rzędu $m=4$ jeden rząd większej niż w przypadku zastosowania podkładki twardej.

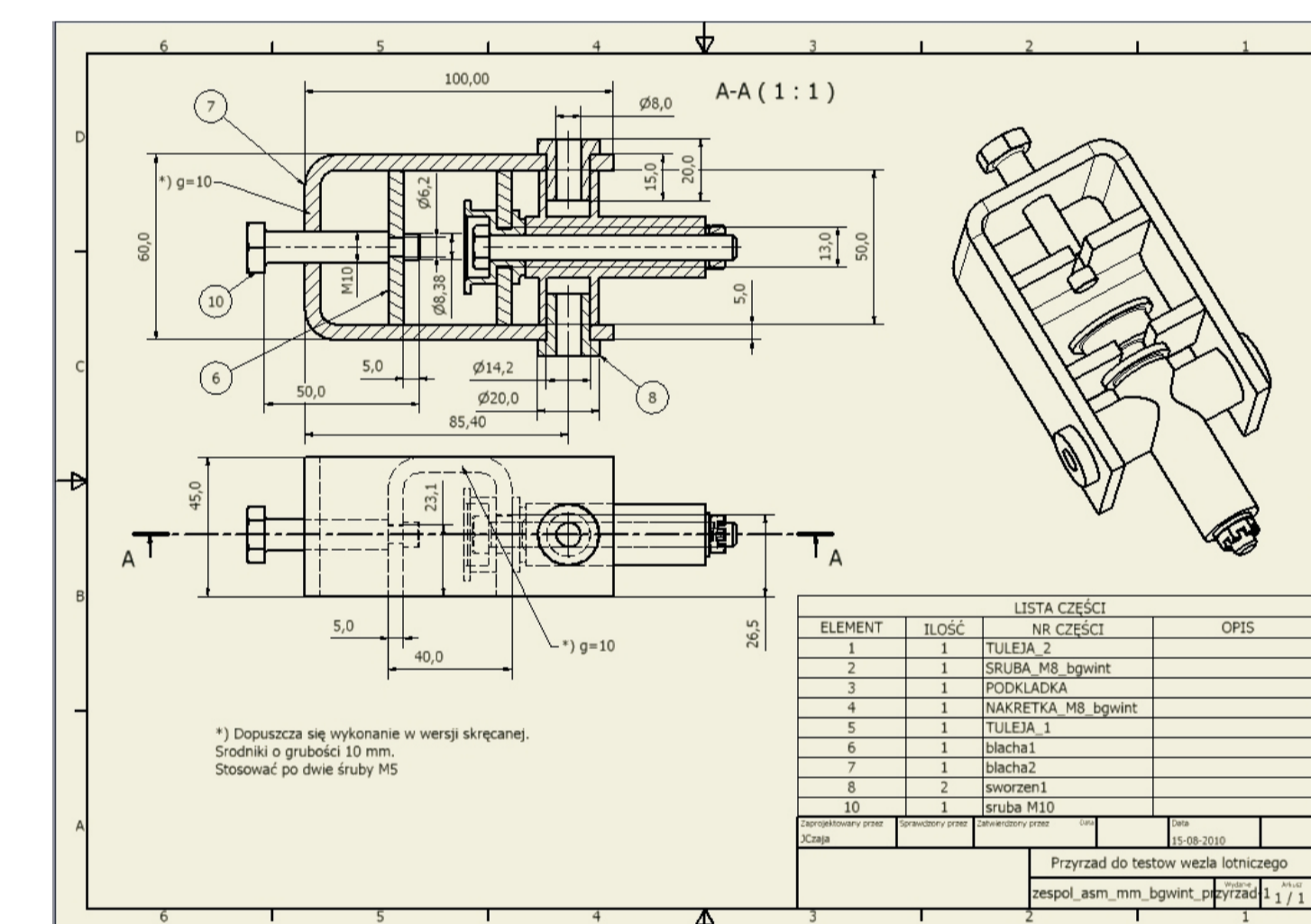
Budowa stanowiska badawczego

Dla zamodelowania stanu obciążenia zbliżonego do stanu rzeczywistych obciążeń w badanym węźle konstrukcyjnym opracowano i wykonano przyrząd do testów. W przyrządzie za pomocą sworznia 8 mocujemy badaną tuleję oraz pozostałe elementy połączenia. Śruba 10 poprzez suwak 6 umożliwia przemieszczanie tulei ruchomej co powoduje obciążenie węzła wzdłuż osi śruby.

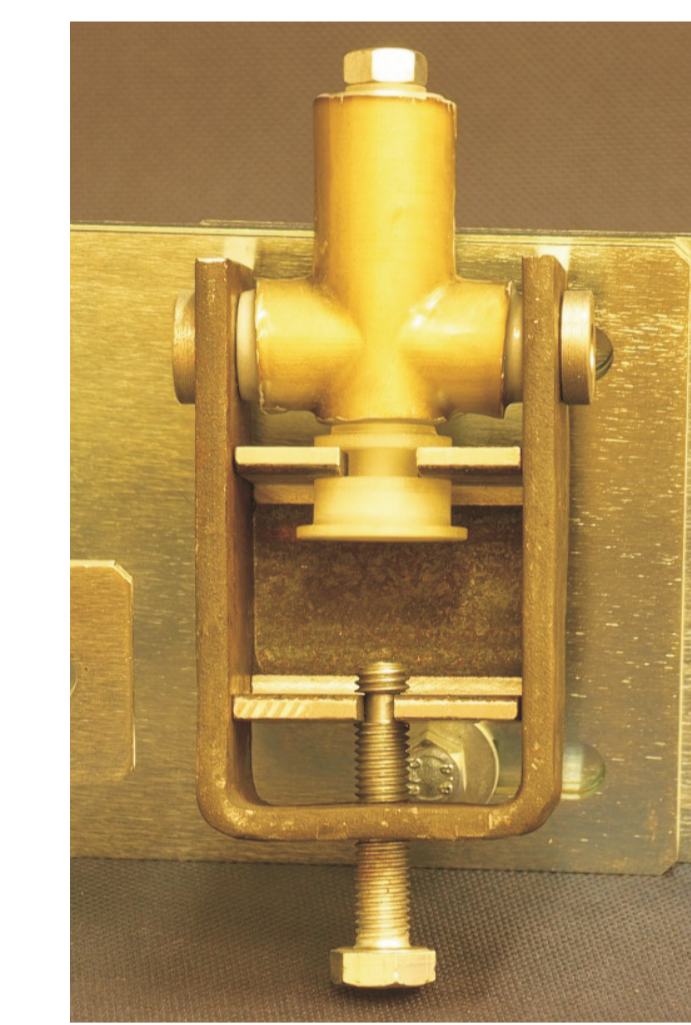
Tab.1. Rozkład izochrom na powierzchni tulei obciążonej momentem $M = 0 + 8 \text{ [Nm]}$



Rys.3. Projekt przyrządu do badania modelu węzła

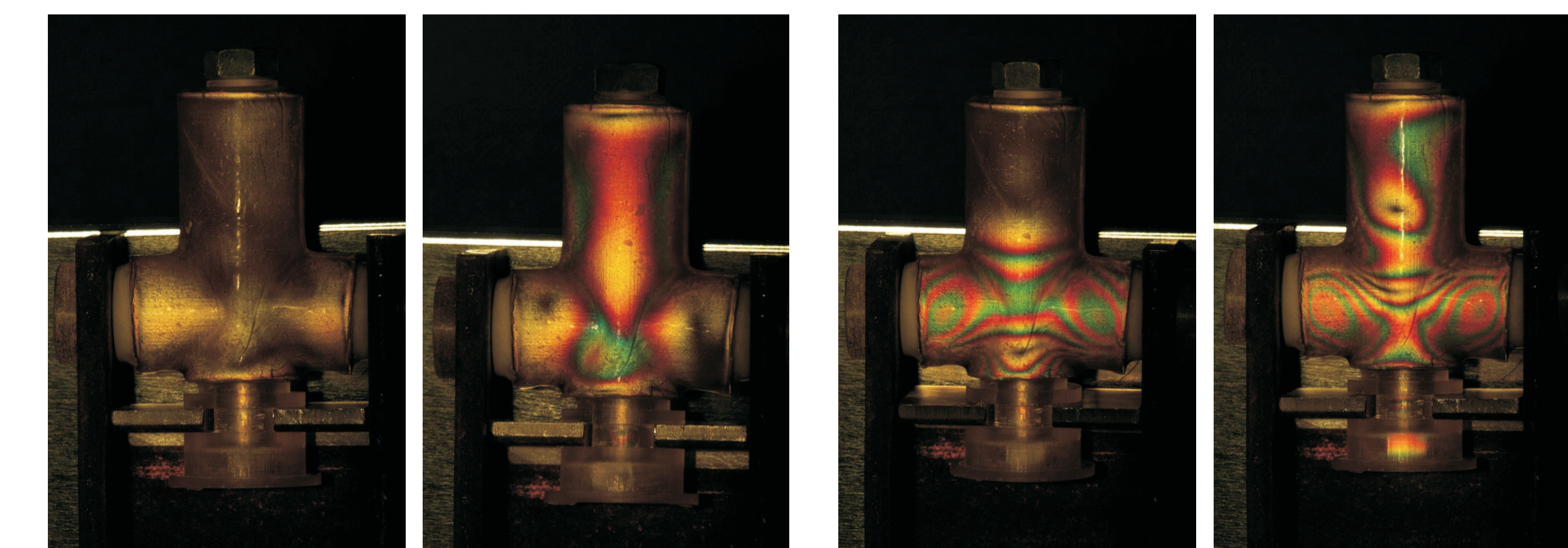


Rys.4. Rysunek wykonawczy przyrządu



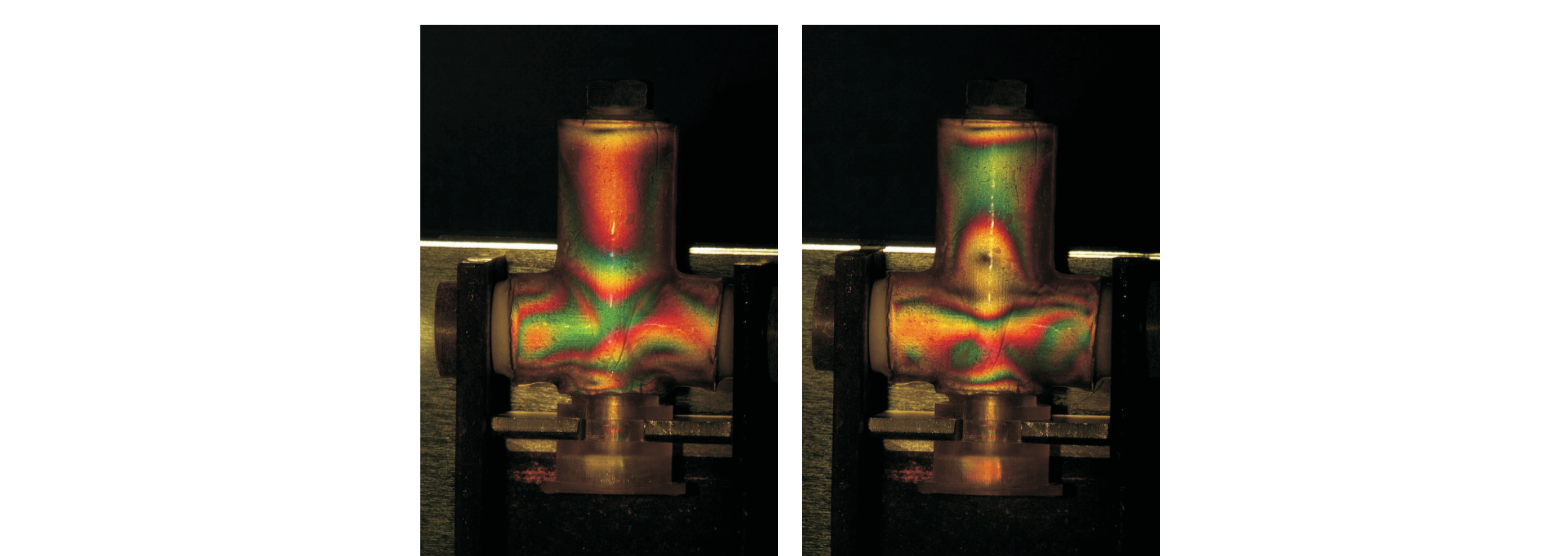
Rys.5. Badany węzeł lotniczy w przyrządzie

Wyniki modelowania.



Rys.6. Rozkład izochrom na modelu nieobciążonym i po obciążeniu zaciskiem wstępnym 6 Nm

Rys.7. Rozkład izochrom na modelu bez zacisku wstępnego ścisakim i rozciągany



Rys.8. Rozkład izochrom na modelu z zaciskiem wstępnym 6 Nm ścisakim i rozciągany

Wnioski

- Metoda światła odbitego umożliwia analizę rozkładu naprężeń na powierzchni badanego modelu na podstawie rozkładu izochrom. Izochromy są to miejsca geometryczne punktów stałych różnic naprężeń głównych przez co pozwalają określić rozkład maksymalnych naprężeń stycznych.
- Przeprowadzone wstępne badania elastoptyczne węzła lotniczego przedstawiają rozkład naprężeń w tulei głównej oraz wpływ rodzaju zastosowanej podkładki na wielkość naprężeń.
- Zastosowanie powłok optycznie czynnych w modelowaniu węzła lotniczego pozwala określić rozkład naprężeń dla różnych stanów obciążenia węzła.
- Celowe jest poszukiwanie innych materiałów modelowych o charakterystykach zbliżonych do charakterystyk modelowanych elementów.