



Nr zadania ZB nr 15

Niekonwencjonalne technologie łączenia elementów konstrukcji lotniczych



Partnerzy - ZB 15

- 1) Politechnika Lubelska - prof. dr hab. inż. Tomasz Sadowski
- 2) Politechnika Rzeszowska - dr hab. inż. Jarosław Sęp, prof. PRz
- 3) Politechnika Częstochowska - dr inż. Piotr Lacki
- 4) Instytut Maszyn Przepływowych PAN (Gdańsk) - prof. dr hab. inż. Piotr Doerffer



1. Przedstawienie głównych wniosków z wykonanych zadań badawczych,

2. Propozycje rozwiązań technologicznych

Przeprowadzona analiza literatury wskazuje, że współcześnie prowadzone są badania mające na celu **doskonalenie** wszystkich technologii stosowanych w konstrukcjach lotniczych.

W przypadku **połączeń spawanych** doskonalenie jest ukierunkowane na:

- poszukiwanie optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych spoin,
- dobór najodpowiedniejszych sposobów obróbki cieplnej
- modyfikacje technologii wykonywania spoin
- poszukiwanie możliwości łączenia przy wykorzystaniu tej technologii różnych materiałów (przykładowo metali i kompozytów).

Doskonalenie **połączeń lutowanych** jest ukierunkowane na:

- poszukiwanie nowych stopów lutowniczych, które będą pozwalały na efektywne łączenie różnorodnych materiałów (w tym metali i kompozytów).
- badania nad obróbką cieplną i rozwiązaniami konstrukcyjnymi złączy poprawiającymi ich wytrzymałość.

Badania zmierzające do doskonalenia **połączeń klejowych** są ukierunkowane na:

- modyfikowanie klejów,
- poszukiwanie nowych sposobów przygotowania powierzchni klejonych elementów,
- określenia wpływu różnorodnych czynników środowiskowych na trwałość połączenia,
- ocenę właściwości połączeń klejowych materiałów kompozytowych.

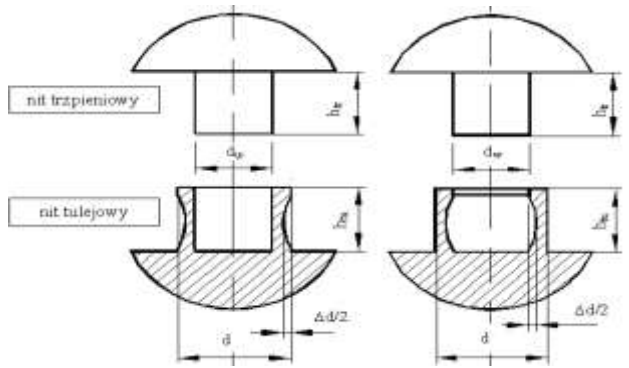
Doskonalenie **połączeń zgrzewanych** jest ukierunkowane na poszukiwanie możliwości łączenia różnych materiałów (w tym metalicznych z kompozytowymi); połączenia takie są możliwe dzięki wprowadzaniu pomiędzy łączone elementy dodatkowych materiałów.

Analiza literatury wskazuje, że nowoczesne technologie to **połączenia HYBRYDOWE** np. łączenie różnych materiałów, nitowo-klejowe, śrubowo-klejowe, spawane z klejeniem, zgrzewane z klejeniem, zaciśnięcie z klejeniem (clinch-adhesive joint).

W konstrukcjach lotniczych obserwuje się również współcześnie tendencje do **minimalizowania liczby połączeń** części poprzez wykonywanie różnorodnymi technologiami części o bardzo złożonych kształtach.

Połączenia nitowe w konstrukcjach lotniczych


Nowa koncepcja nitu dwuczęściowego



Zgłoszenie patentowe pt. „Nit dwustronny”, nr P - 387468, z dnia 11.03.2009r

Eksperymentalne wyniki swobodnego zakuwania nitów dwuczęściowych wykonanych z różnych materiałów

trzczeń:	duraluminium	miedź	aluminium
tuleja:	duraluminium	miedź	miedź



Wnioski z badań eksperymentalnych

Zamykanie nitów dwuczęściowych polega na spęczaniu trzonów, bez odkształceń plastycznych łbów. Proces zakuwania można w znacznym stopniu kontrolować dobierając optymalne długości trzonów nitów składowych i zakrzywienie zewnętrznej powierzchni trzonu tulejowego.

Nie na ograniczeń w doborze materiału na elementy składowe nitu dwuczęściowego. Nity te mogą być wykonywane ze wszystkich plastycznych materiałów metalicznych. Nit dwuczęściowy może być stosowany do łączenia różnych metali (np. stali ze stopami aluminium) oraz metali z niemetalami (np. stop aluminium z kompozytem o osnowie polimerowej lub metalicznej).

Zastosowania nitu w konstrukcjach lotniczych mogą napotkać ograniczenia w doborze materiałów wynikające ze specyficznych uwarunkowań technicznych stosowanych w lotnictwie (stosunek wagi do wytrzymałości, wytrzymałość zmęczeniowa, odporność na korozję i inne). Ten sposób nitowania może być szczególnie przydatny do łączenia kruchego laminatu na osnowie polimerowej z ciągliwym metalem. Kształt łba i rodzaj materiału nitu po stronie laminatu może być inny niż nitu po stronie metalu. Określenie przydatności i zakresu zastosowań tego typu łączników będzie efektem dalszych badań.



Połączenia śrubowe w konstrukcjach lotniczych

Materiały współcześnie stosowane:

- stale stopowe żarowytrzymałe,
- stale stopowe odporne na korozję
- stopy na bazie niklu
- stopy na bazie kobaltu i niklu
- stopy na bazie tytanu
- stopy metali kolorowych (miedzi i cynku)
- stopy aluminium

Wnioski:

- są to połączenia 'wysokowytrzymałe' lub 'wysokoobciążone'
- konieczność zastosowania materiałów na bazie niklu i tytanu
- optymalizacja połączeń – zaproponowanie rozwiązań alternatywnych

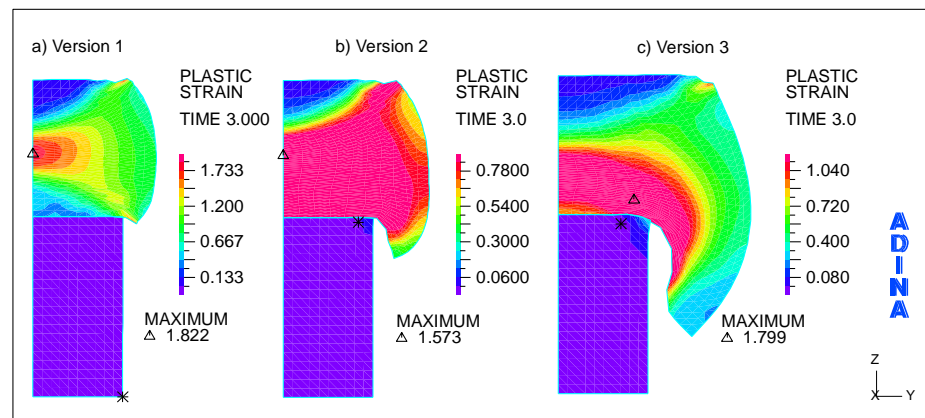
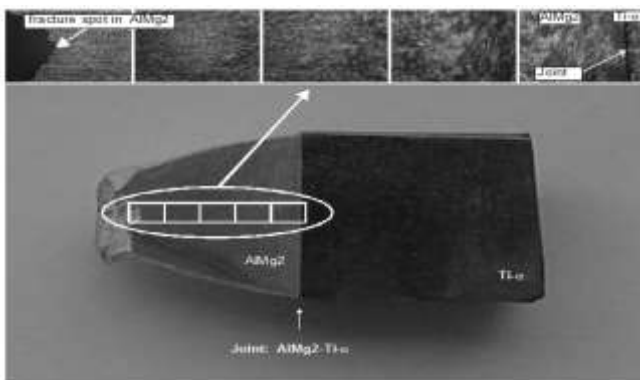


Zastosowania:

- połączenie centroplata ze skrzydłem doczepnym samolotu PZL M28 SKYTRUCK,
- mocowanie silnika do ramy samolotu
- mocowanie wirnika śmigłowca

Zgrzewanie tarciowe w konstrukcjach lotniczych

1. zgrzewanie tarciowe stopów lekkich o krańcowo różnych właściwościach mechanicznych (miękkie aluminium z twardymi stopami tytanu)



Zastosowania:

- aparat kierujący szepiany będzie przedlutowniczo zaawansowaną technologią wykorzystującą elektrodę topliwą o składzie materiału podstawowego lub nietopliwą bez materiału dodatkowego

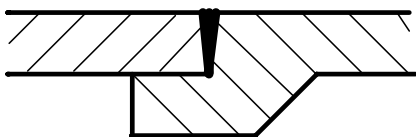
Wnioski:

- opracowano kompletną technologię zgrzewania tarciowego stopów tytanu z aluminium, która oczekuje na aplikację ze strony partnerów przemysłowych

Wpływ parametrów **spawania wiązką elektronów** na wytrzymałość doczołowych złączy ze stopu Ti-6Al-4V

W dotychczasowych cienkościennych konstrukcjach lotniczych spawane elektronowo części ustalano na kołnierzu, który po wykonaniu spoiny był usuwany metodami obróbki skrawaniem.

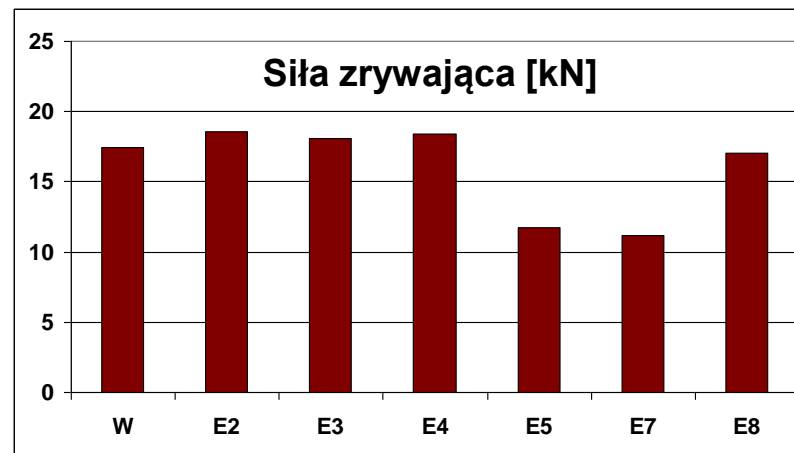
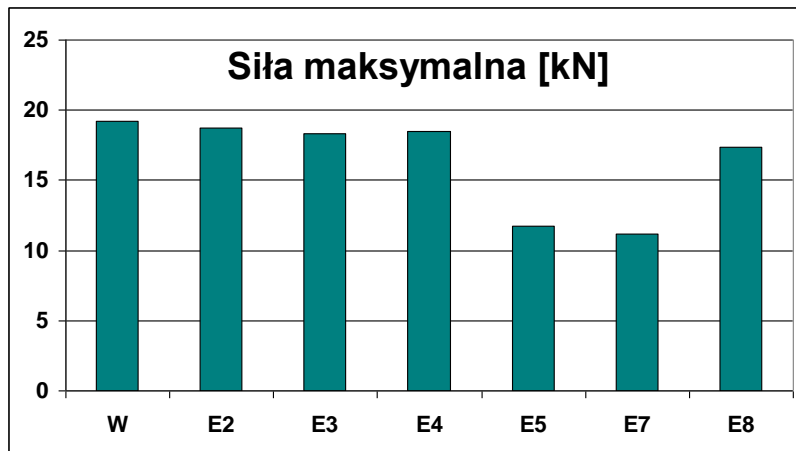
a)

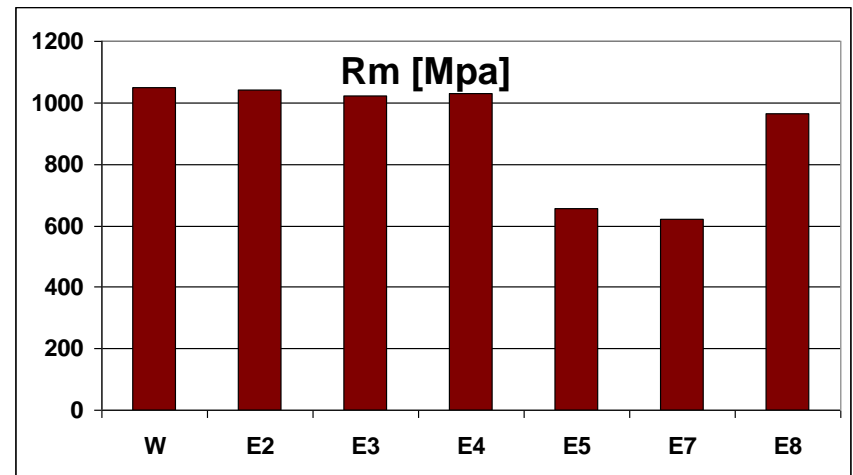
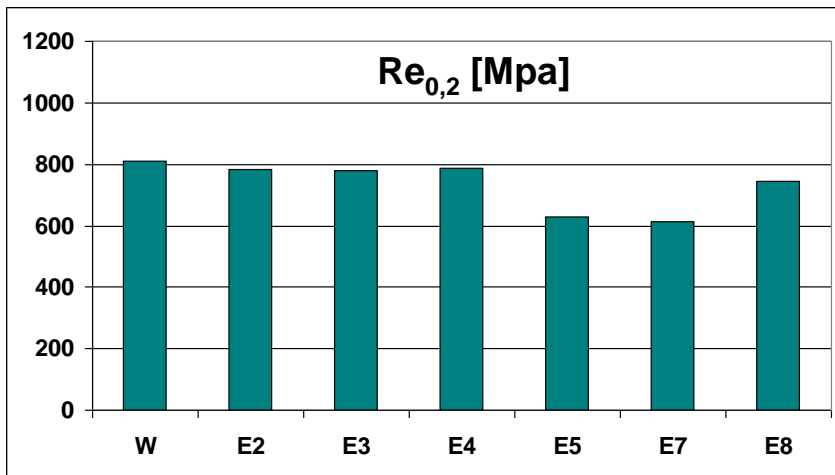


b)



Stosowana technologia jest kosztowna i pracochłonna, dlatego też zaistniała potrzeba opracowania technologii spawania elektronowego cienkościennych połączeń doczołowych wykonywanych ze stopów tytanu oraz stopów żaroodpornych.





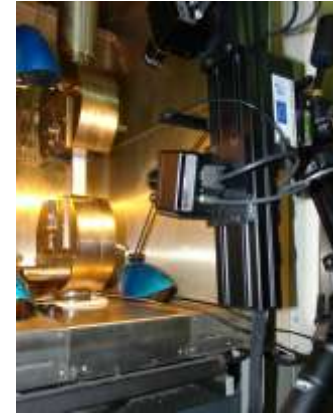
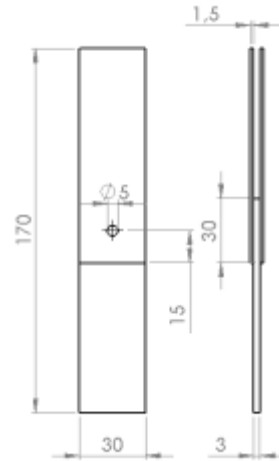
WNIOSKI

- wyniki badań wskazują na możliwość wykonywania wiązką elektronów doczołowych złączy spawanych cienkościennych elementów wykonanych ze stopów tytanu.
- wytrzymałość na rozciąganie doczołowych złączy spawanych wykonanych ze stopu tytanu Ti-6Al-4V jest porównywalna z wytrzymałością materiału rodzimego.

Połączenia hybrydowe w konstrukcjach lotniczych

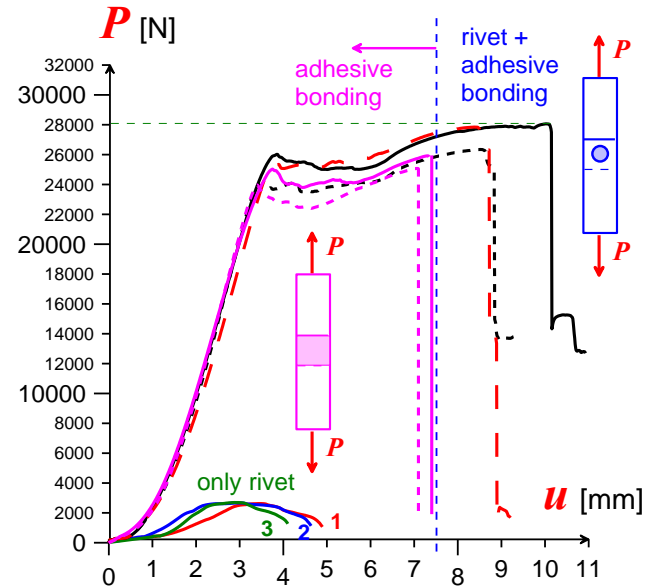
Zalety:

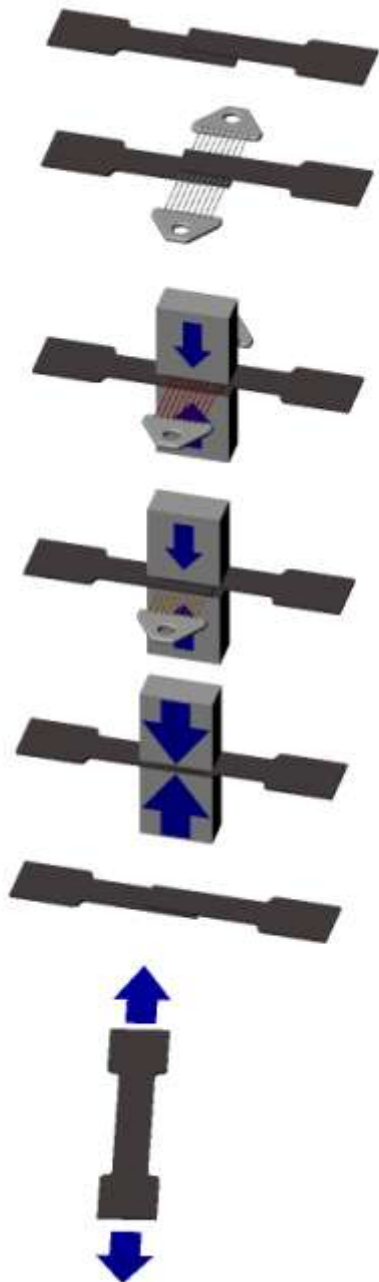
- większa wytrzymałość na rozciąganie,
- sztywniejsza struktura,
- dwuetapowy proces pęknięcia przed całkowitym zniszczeniem,
- lepsza odporność na korozję



Wnioski:

- zastosowanie kleju Hysol 9514 tworzy bardzo efektywne połączenie stalowych blach, wykazujące dużą absorpcję energii,
- wzmacnianie połączenia dwunakładkowego poprzez wprowadzenie nita wpływa na poprawę jego wytrzymałości i sztywności,
- dwuetapowy proces zniszczenia w odniesieniu do połączenia hybrydowego znacząco podnosi **(35%) absorpcję energii** prowadzącą do ostatecznego zniszczenia.





Połączenia zgrzewane konstrukcji lotniczych z kompozytów epoksydowo węglowych

Celem pracy jest opracowanie technologii połączenia zakładkowego bez stosowania kleju.

Jednym z głównych parametrów, które będą decydowały o jakości połączenia jest proces nagrzewania próbki i utrzymanie temperatury przez odpowiedni okres czasu.

Zalety:

- brak dodatkowego lepiszcza - kleju
- stałe parametry mechaniczne,
- proste połączenie przy obliczeniach mes ,
- brak starzenia, spadku adhezji w czasie



3. Przedstawienie głównych wniosków z dokonanych wizyt studyjnych w przedsiębiorstwach Doliny Lotniczej w kontekście uwzględnienia potrzeb przemysłu lotniczego dotyczących B+R

W ramach ZB15 w okresie sprawozdawczym przeprowadzono 4 wizyty studyjne w następujących Zakładach Doliny Lotniczej:

WSK „PZL-Rzeszów” S.A. (25.03.2009 – wizyta w zakładzie),

PZL-Mielec Sp.z o.o. (30.04.2009 – wizyta w zakładzie),

Pratt & Whitney Kalisz (13.05.2009 – wizyta w zakładzie),

PZL-Świdnik S.A. (03.06.2009 – wizyta w zakładzie),



Potrzeby sygnalizowane przez WSK Rzeszów:

- opracowanie technologii spawania (metodą TIG, spawania plazmowego, spawania EBW i LBW) nadstopów niklu ze stalami stopowymi dla różnych typów złączy z zachowaniem lotniczych wymagań jakości spoin.
- opracowanie technologii spawania (metodą TIG, spawania plazmowego, spawania EBW i LBW) stopów tytanu ze stalami stopowymi dla różnych typów złączy z zachowaniem lotniczych wymagań jakości spoin.
- opracowanie optymalnych parametrów spawania EBW połączeń doczołowych (bez zamka) dla stali stopowych, nadstopów niklu i stopów tytanu z zachowaniem lotniczych wymagań jakości spoin.
- opracowanie technologii zautomatyzowanego napawania zamków łopatek metodą spawanie TIG i laserowego (LBW).
- opracowanie i wdrożenie technologii lutowania próżniowego i indukcyjnego komponentów lotniczych o obniżonej strefie dyfuzji.
- symulacja procesów spawania metodami TIG i plazmowego z wykorzystaniem istniejących programów MES.



Potrzeby sygnalizowane przez Pratt&Whitney Kalisz:

- opracowanie i wdrożenie metody przygotowania powierzchni pod złącza klejone masami silikonowymi poliuretanowymi;
- zwiększenie zwilżalności lutowia podczas procesu lutowania twardego części typu aparat kierujący, (stal martenzytyczna), przewód rurowy (stal austenityczna);
- opracowanie metody efektywniejszego wykonywania uszczelek poliuretanowych: (opracowanie instalacji do napełniania form, optymalizacja procesu.
- niedostateczne wykalibrowanie szczelin lutowniczych złącz rurowych charakteryzujących się niedostatecznym współczynnikiem pewności technologicznej.



Potrzeby sygnalizowane przez PZL Mielec:

- spawanie elementów wykonanych ze stali 30HGSA, technologia spawania wspornika tytanowego w komorze argonowej wymaga udoskonalenia,
- doskonalenia wymagają połączenia klejowe elementów kompozytowych;
- opracowanie technologii spawania tulei z manganowej stali niskostopowej;
- zainteresowanie rozwojem technologii nitowania



Potrzeby sygnalizowane przez PZL Świdnik:

- eliminacja problemów związanych ze spawaniem elektronowym drążków wykonanych ze stali 30HGSA;
- modernizacja procesu spawania wiązką elektronów w ramach istniejącego potencjału Zakładu;
- zbadanie przyczyn niskiej jakości połączeń spawanych wiązką elektronów w oparciu o pozyskane próbki oraz zbadania możliwości zastąpienia połączeń spawanych wiązką elektronów innymi spawalniczymi metodami niskoenergetycznymi;
- łączenie bezazbestowej nakładki ciernej z klockiem hamulcowym.



4. Wykazanie rzeczywistych wskaźników realizacji celów projektu w ramach danego ZB15:

A. Realizowane prace habilitacyjne:

- „Modelowanie tarcia w procesach objętościowej obróbki plastycznej” – dr inż. Piotr Lacki
- "Energia liniowa spawania i możliwości jej obliczania " – dr inż. Kwiryn Wojsyk rozpoczęta w 2008r.
- „Niekonwencjonalne połączenia nitowe, w tym do zastosowań w lotnictwie” - dr inż. Tadeusz Balawender
- "Zagadnienia modelowania połączeń hybrydowych elementów konstrukcyjnych w warunkach obciążeń termicznych i uderzeniowych" – dr inż. Ewa Zarzeka-Raczkowska - rozpoczęta w 2009r.



B. Realizowane prace doktorskie:

- „Badania eksperymentalne oraz modelowanie teoretyczne rozwoju pęknięć w połączeniach klejonych” – mgr Marcin Kneć;
- „Analiza cech mechanicznych i materiałowych elementów połączeń śrubowych silnie obciążonych” – mgr inż. Janusz Czaja

C. Realizowane prace magisterskie i inżynierskie:

- 3 prace obronione w 2009
- 11 prac planowanych do obrony w 2010

D. Działalność publikacyjna:

- publikacje z „Listy Filadelfijskiej” – Elsevier – 3 szt.
- publikacje krajowe – 4 szt.
- konferencje – 13 prezentacji



F. Zgłoszenia patentowe:

1. propozycja nowej konstrukcji nitu - zgłoszenie patentowe nr 387468
(T. Balawender)

5. Przedstawienie stanu realizacji zakupów u Partnerów dla ZB15 (wyposażenie laboratoryjne, materiały i surowce , usługi obce)

Zakupiono:

1. system do badań udarnościowych wraz z komorą temperatur – **25 luty 2010**
2. doposażenie systemu ARAMIS do badań odkształceń 3D.
3. ekstensometr
4. wzmacniacz pomiarowy z panelem pomiaru sił i przemieszczenia
5. elementy stanowiska do spawania termicznego:
 - prasa,
 - rejestrator pomiarowy,
 - czujnik ciśnienia w prasie,
 - termopary i przepływomierz do pomiaru odprowadzanego ciepła,
 - termopary do pomiaru temperatury w złączu

Przetargi na zakup materiałów: 2 – krotnie nierozstrzygnięte,

Należy usprawnić procedury zakupów: materiałów, surowców i próbek do badań

6. Podsumowanie efektów realizacji zadań za I i II półrocze 2009r.

1. uszczegółowiono zadania badawczego dotyczącego połączeń śrubowych (w konsultacji z PZL Mielec)
2. na przykładzie rozwiązania konstrukcyjnego połączenia ze skrzydłem doczepnym zakończenia centroplata skrzydła samolotu PZL M28 SKYTRUCK zaproponowano następujący harmonogram prac badawczych:
 - szczegółowa analiza węzła konstrukcyjnego - budowa modelu i analiza MES.
 - propozycja optymalizacji (zastosowanie alternatywnych rozwiązań konstrukcyjnych)
 - weryfikacja numeryczna (w tym praktyczna, modelowa) proponowanych rozwiązań.
 - wprowadzenie rozwiązań do zastosowania (ewentualna zmiany norm)

6. Podsumowanie efektów realizacji zadań za I i II półrocze 2009r.

3. analiza wpływu parametrów geometrycznych połączenia nitowego na efekt wytrzymałości połączenia - określenie optymalnej krzywizny trzonu nitu ze względu na właściwości wytrzymałościowe złącza.
4. optymalizacja właściwości wytrzymałościowych połączenia nitowego jako zastosowanie nitów dwuczęściowych, o konstrukcji trzonu typu tuleja i trzpień.
5. uszczegółowienie zadań badawczych dotyczących połączeń klejowych i klejowo-nitowych (w konsultacji z PZL Mielec, PZL Świdnik oraz Pratt and Whitney Kalisz).
6. badania procesów spawania stali 30HGSA, stopów Inconel 625 i 718 oraz stopów tytanu. Równolegle prowadzone będą badania metalograficzne i symulacyjne dla wielu warunków i metod spawania w celu optymalizacji parametrów tych procesów.

6. Podsumowanie efektów realizacji zadań za I i II półrocze 2009r.

7. opracowanie matematycznego i numerycznego modelu propagacji pęknięć w warstwie kompozytu polimerowego dla układu pęknięć równoległych.
8. wykonanie testów opisujących pola przemieszczeń dla układu pęknięć równoległych w warstwie kompozytu polimerowego z wykorzystaniem systemu ARAMIS
9. modelowe badania teoretyczne i doświadczalne połączeń hybrydowych: klejowo-nitowych, z zastosowaniem różnych typów klejów i materiałów łączonych.
10. uruchomienie stanowiska pomiarowego w ramach badania procesu spawania kompozytów węglowych oraz przeprowadzone zostaną pierwsze testy mające na celu sprawdzenie funkcjonowania aparatury pomiarowej.
11. uruchomienie stanowiska do zgrzewania kompozytów epoksydowo-węglowych

7. Przedstawienie perspektywy działań na 2010r.

Realizacja części zadań ulegnie opóźnieniu ze względu na **unieważnienie przetargów** dotyczących zakupów materiałów:

- 1) do wykonywania różnych typów połączeń: blachy, nity, kleje, elektrody i druty do spawania itd.
- 2) do wykonywania badań eksperymentalnych
- 3) usługa przygotowania próbki do spawania łopatek w aparacie zespołu 3043822-01 (bez użycia kulek) z materiału AMS 5613

Planuje się w 2010r.

1. kontynuację badań połączeń śrubowych w zastosowaniu do konstrukcji samolotu PZL M28 SKYTRUCK (w konsultacji z PZL Mielec)
2. badania dotyczące optymalizacji właściwości wytrzymałościowych połączenia nitowego jako zastosowanie nitów dwuczęściowych, o konstrukcji trzonu typu tuleja i trzpień

3. Kontynuacja badań i modelowania teoretycznego dotyczących połączeń klejowych i klejowo-nitowych (w konsultacji z PZL Mielec, PZL Świdnik oraz Pratt and Whitney Kalisz).
4. Opracowanie technologii szepiania punktowego metodą MIG (TIG) aparatów silników lotniczych w celu ograniczenia lub eliminacji technologii szepiania z użyciem kulki z obcego materiału.
5. Opracowanie technologii spawania wiązką elektronów stali 30HGS, 30HGSA, 30 HGSNA z ograniczeniem twardości złącza do 420 HV oraz z uzyskiwaniem właściwego lica i grani spoiny wraz z minimalizacją karbu strukturalno kształtowego w złączu. Opracowanie dotyczy złącz o symetrii osiowej i polegać będzie m.in. na próbie wdrożenia spawania wiązką elektronów na podkładkach formujących.



6. opracowanie ekonomicznej technologii spawania wsporników tytanowych w osłonie gazów obojętnych
7. opracowanie technologii niskoenergetycznego spawania stopów typu Inconel 625, 718, 738
8. badania i modelowanie procesów uszkodzania i pęknięcia w połączeniach hybrydowych przy obciążeniach mechanicznych z uwzględnieniem oddziaływania temperatur
9. badania doświadczalne dotyczące zgrzewania kompozytów epoksydowo-węglowych