Projekt kluczowy
Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

SPOTKANIE PANELI EKSPERTÓW
28-29 Czerwca 2010

ZB 7

Plastyczne kształtowanie stopów magnezu (kucie precyzyjne, tłoczenie, wyciskanie, itd.)

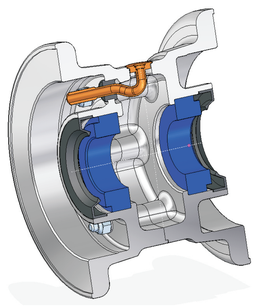
Politechnika Śląska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Instytut Lotnictwa w Warszawie

Wyniki badań

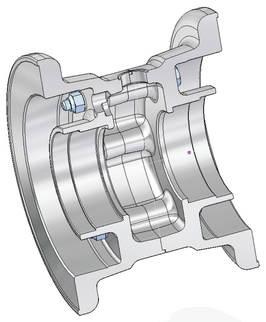
Projekt CAD

Projekt został zrealizowany przy użyciu oprogramowania Solid Edge używanego w Pracowni Podwozi Lotniczych Instytutu Lotnictwa. Zaprojektowano model 3D piasty złożonej z dwóch połówek różniących się jedynie zamkiem pomiędzy połówkami oraz otworem na zawór wentylowy wykonany w jednej pół-piaście widocznym na rysunku 1.

Przy założeniu gęstości materiału na poziomie 1800kg / m^3 obliczeniowa masa dwóch połówek wynosi 1,2kg.



Rys. 1. Model 3D CAD dwóch połówek piasty koła lotniczego



Rys. 2. Model 3D, przekrój ukazujący wewnętrzne obszary projektowanej konstrukcji

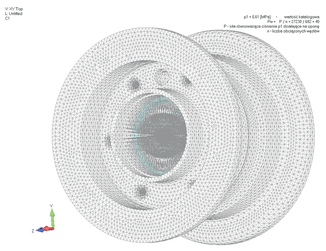
WYZNACZENIE OBCIĄŻEŃ ORAZ ANALIZY MES

Obciążenia i współczynniki zapasu wytrzymałości

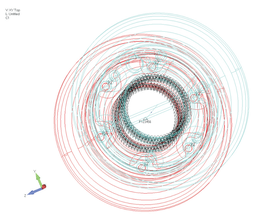
Obciążenia i współczynniki zapasu wytrzymałości przyjęto na podstawie:
TSO – C26dxxAircraft Wheels, Brakes and Wheel/Brake assemblies For Parts 23, 27, 29 Aircraft.
Wymagany współczynnik zapasu wytrzymałości dla obciążeń dopuszczalnych (limit load) w przypadku odlewu jest równy: **n = 1,15.**
Dla obciążeń granicznych (ultimate load) współczynniki zapasu wytrzymałości są:
n = 2 dla obciążenia siłą promieniową i obciążeń złożonych
n = 3,5 dla obciążenia ciśnieniem
Piasta wykonana będzie ze stopu magnezu.

Model MES

Model (rys.3) zbudowano z 50621 węzłów i 231281 elementów, w tym 228212 elementów typu SOLID, 397 elementów typu LBEAM i 2672 elementów typu GAP. Warunki brzegowe pokazano na rys. 4.



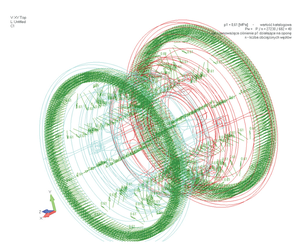
Rys. 3. Model MES analizowanej piasty



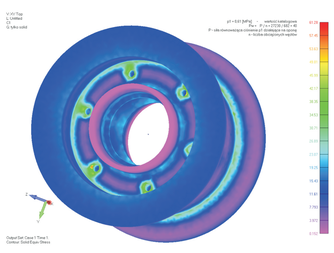
Rys.4. Warunki brzegowe - podparcie

Przypadek obciążenia ciśnieniem

Dla opony 5.00-5 10 PL TT, zgodnie z katalogiem AIRCRAFT TIRE DATA BOOK GOOD YEAR ciśnienie ładowania opony wynosi: **88 [psi] = 0,61 [MPA]** (obciążenie dopuszczalne)
Obciążenie ciśnieniem odwzorowano obciążeniem ciśnieniem p = 0,61 [MPA], powierzchni współpracujących z dętką, oraz węzłów na powierzchni współpracy opony z piastą (rys.5).
Poziomy naprężeń pokazują rysunki 6 i 7.



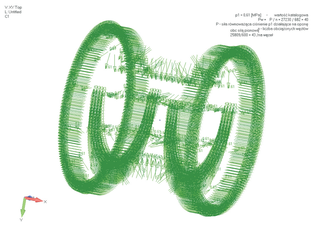
Rys.5. Obciążenia dla przypadku obciążenia ciśnieniem



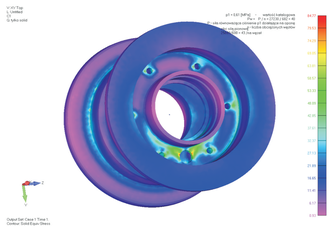
Rys. 6. Poziomy naprężeń w piaście, naprężenia zredukowane

Przypadek obciążenia maksymalna siłą pionową

Dla opony 5.00-5 10 PL TT zgodnie z katalogiem AIRCRAFT TIRE DATA BOOK GOOD YEAR ciśnienie ładowania opony wynosi: **88 [psi] = 0,61 [MPA]**, oraz (bottoming load): **P_z = 5800 [lb] = 25809 [N]** (obciążenie dopuszczalne) .



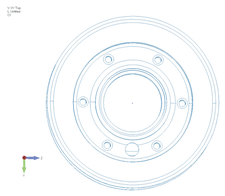
Rys. 7. Obciążenia dla przypadku obciążenia maksymalna siłą pionową



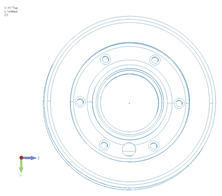
Rys. 8. Poziomy naprężeń w piaście dla przypadku obciążenia maksymalna siłą pionową, naprężenia zredukowane

Przypadek obciążenia maksymalna siłą boczną.

Dla opony 5.00-5 10 PL TT zgodnie z katalogiem AIRCRAFT TIRE DATA BOOK GOOD YEAR ciśnienie ładowania opony wynosi: **88 [psi] = 0,61 [MPA]** oraz obciążenie statyczne (load) **P_z = 2150 [lb] = 9570 [N].** Piasta składa się z dwu praktycznie symetrycznych połówek.



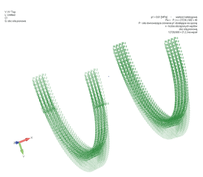
Rys. 9. Zewnętrzna połówka piasty



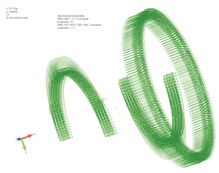
Rys. 10. Wewnętrzna połówka piasty

Przypadek obciążenia maksymalna siłą boczną działającą na zewnątrz

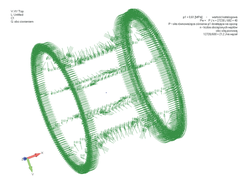
Obciążenie ciśnieniem odwzorowano tak jak w poprzednich przypadkach (rys. 5).
Siłę promieniową przyłożono w 600 węzłach w obszarze współpracy piasty ze stopka opony tak jak dla przypadku maksymalnej siły pionowej (rys. 11). Siłę boczną zredukowano do 682 węzłów obrzeża piasty (rys. 12).
Moment siły bocznej względem piasty, zrównoważono parą sił rozłożonych na 300 węzłów leżących w obszarze obciążeń pionowych. Ostatecznie otrzymujemy obciążenia węzłów współpracujących ze stopką opony (rys. 12).



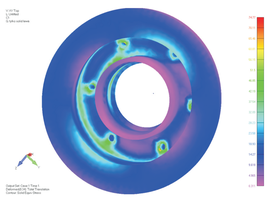
Rys. 11. Przypadek obciążenia siłą boczną siła pionowa



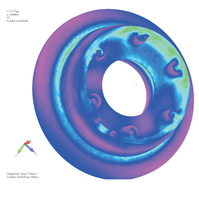
Rys. 12. Przypadek obciążenia siłą boczną siła boczna na zewnątrz



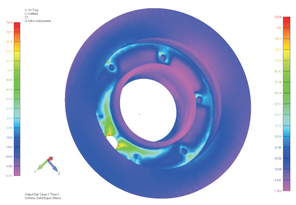
Rys. 13. Przypadek obciążenia siłą boczną obciążenie ciśnieniem



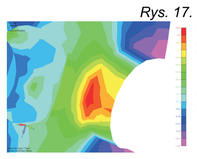
Rys. 14. Poziomy naprężeń w wewnętrznej połowie piasty dla obciążenia siłą boczną na zewnątrz, naprężenia zredukowane



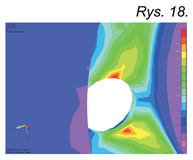
Rys. 15. Poziomy naprężeń w wewnętrznej połowie piasty dla obciążenia siłą boczną na zewnątrz, naprężenia zredukowane



Rys. 16. Poziomy naprężeń w zewnętrznej połowie piasty dla obciążenia siłą boczną na zewnątrz, naprężenia zredukowane



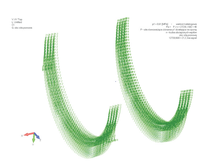
Rys. 17. Poziomy naprężeń w zewnętrznej połowie piasty dla obciążenia siłą boczną na zewnątrz, dla wybranego fragmentu, naprężenia zredukowane



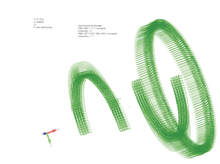
Rys. 18. Poziomy naprężeń w zewnętrznej połowie piasty dla obciążenia siłą boczną na zewnątrz, dla wybranego fragmentu, naprężenia zredukowane

Przypadek obciążenia maksymalna siłą boczną działającą do środka

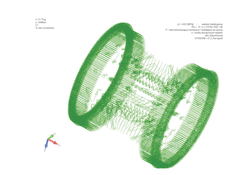
Rysunki 19, 20, 21 przedstawiają obciążenia powierzchni. W związku z tym na rysunku 19 oprócz obciążenia od siły pionowej pojawia się częściowe obciążenie od siły bocznej. Na rysunku 20 oprócz obciążenia od siły bocznej pojawia się częściowe obciążenie od siły pionowej i ciśnienia w oponie, a na rysunku 21 oprócz obciążenia od ciśnienia pojawia się częściowe obciążenie od siły bocznej.



Rys. 19. Przypadek obciążenia siłą boczną siła pionowa



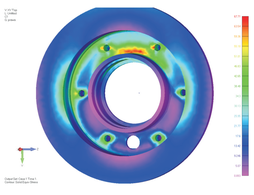
Rys. 20. Przypadek obciążenia siłą boczną siła boczna na zewnątrz



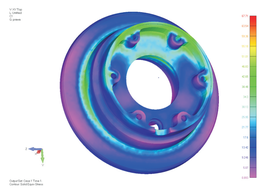
Rys. 21. Przypadek obciążenia siłą boczną obciążenie ciśnieniem

Zmodernizowana piasta. Przypadek obciążenia maksymalna siłą boczną działającą do środka.

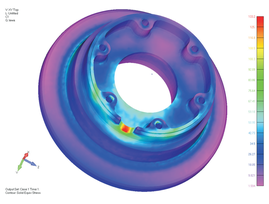
Aby sprawdzić możliwość zmniejszenia naprężeń w obszarze otworu pokazanego na rys. 22 zaproponowano nadlew wokół otworu, o wymiarach 3x1



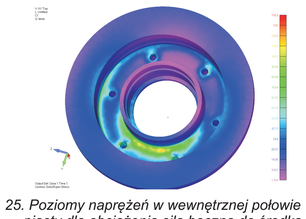
Rys. 22. Poziomy naprężeń w wewnętrznej połowie piasty dla obciążenia siłą boczną na zewnątrz, naprężenia zredukowane



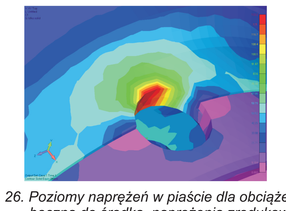
Rys. 23. Poziomy naprężeń w wewnętrznej połowie piasty dla obciążenia siłą boczną na zewnątrz, naprężenia zredukowane



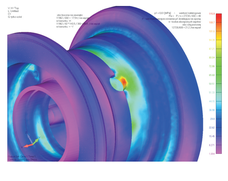
Rys. 24. Poziomy naprężeń w zewnętrznej połowie piasty dla obciążenia siłą boczną na zewnątrz, naprężenia zredukowane



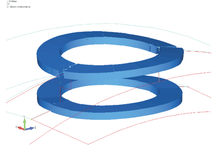
Rys. 25. Poziomy naprężeń w wewnętrznej połowie piasty dla obciążenia siłą boczną do środka, naprężenia zredukowane



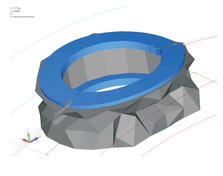
Rys. 26. Poziomy naprężeń w piaście dla obciążenia siłą boczną do środka, naprężenia zredukowane



Rys. 27. Poziomy naprężeń w zmodyfikowanej piaście, dla obciążenia siłą boczną do środka, naprężenia zredukowane



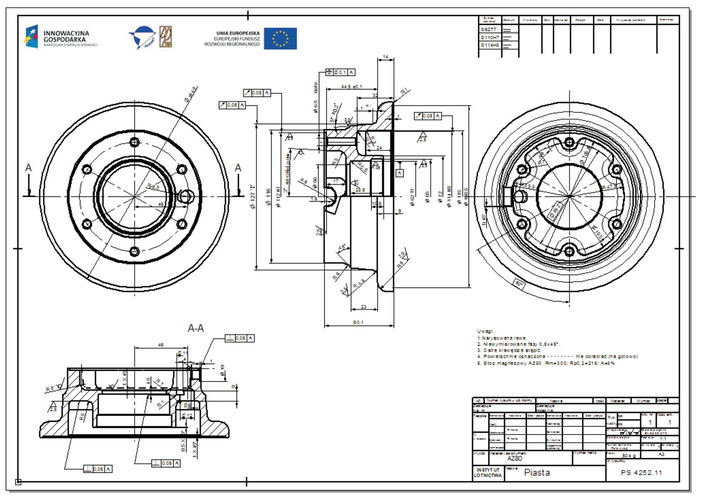
Rys. 28. Przypadek obciążenia siłą boczną siła pionowa



Rys. 29. Zaproponowany nadlew 3x1 wokół otworu na tle wybranych elementów piasty

PROJEKT WYKONAWCZY

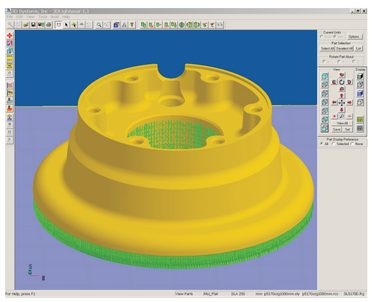
W oparciu o analizy numeryczne, na bazie modelu 3D, wykonano projekt szczegółowy piasty przedstawiony na rysunku poniżej.



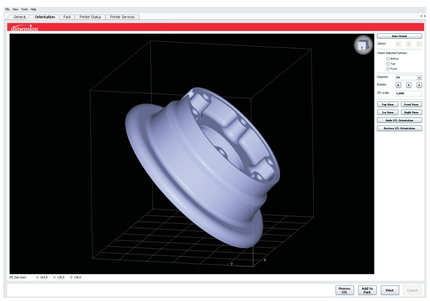
Rys. 30. Projekt szczegółowy piasty

Zastosowanie metod szybkiego prototypowania (SLA i FDM) do wytworzenia modeli piasty koła samolotu.

Wykonywanie prototypów części lotniczych to proces złożony - wymagający przeprowadzenia szeregu operacji na etapie przygotowania danych, obsługi aparatury oraz inspekcji pomiarowej.
Proces RP poprzedza opracowanie konstrukcji piasty oraz projekt CAD, czego efektem jest model bryłowy stanowiący podstawę do przeprowadzenia kolejnych operacji.
Zwrócono szczególną uwagę na konieczność poprawnego eksportu modeli CAD do postaci STL oraz późniejszą analizę powierzchni po teselacji (podgląd wygenerowanej siatki trójkątów opisujących model).
Przedstawiono proces przygotowania danych w dedykowanych programach narzędziowych (Rys. 31, 32) będący kluczowym etapem dla poprawnego wykonania prototypów piasty koła samolotu. Właściwe położenie modeli na platformach roboczych, edycja wygenerowanych automatycznie podpór oraz weryfikacja plików wyjściowych (analiza symulacji nakładania kolejnych warstw) pozwala zminimalizować ryzyko uszkodzenia prototypów podczas samego procesu jak również późniejszej obróbki wykańczającej.

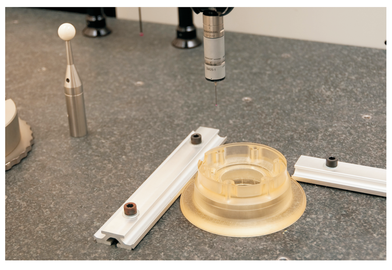


Rys. 31. Przygotowanie procesu SLA w programie 3DLightyear

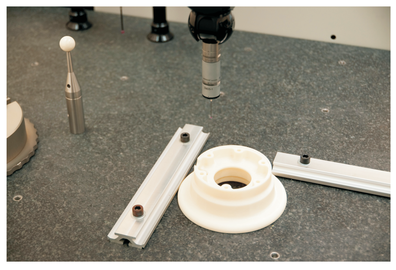


Rys. 32. Przygotowanie procesu FDM w programie QuickSlice

Po przeprowadzeniu procesów SLA i FDM wykonano współrzędnościowe pomiary prototypów, które pozwoliły określić przydatność zastosowanych metod RP we wdrożeniach przemysłowych elementów konstrukcji lotniczych (Rys. 33, 34).
SLA wykazuje co prawda większą poprawkę - niemniej jednak jest to błąd dodatni (Rys. 35) (m.in.. zgrubienia po podporach) łatwy do korekty w tzw. Post Processingu.

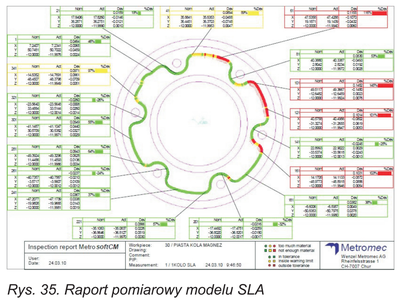


Rys. 33. Pomiary współrzędnościowe prototypu SLA

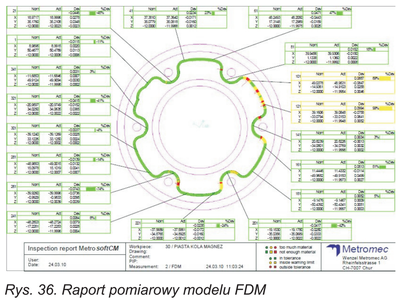


Rys. 34. Pomiary współrzędnościowe prototypu FDM

W przypadku FDM, gdzie odnotowano ujemne wartości błędów, należy przeanalizować możliwość wprowadzenia kompensacji (tzw. Offsetu) na etapie modelowania CAD dla tej metody.



Rys. 35. Raport pomiarowy modelu SLA



Rys. 36. Raport pomiarowy modelu FDM

Wnioski

Dzięki modelom fizycznym otrzymanym w przeprowadzonych procesach można zweryfikować konstrukcje piasty pod kątem materiału docelowego jakim będzie stop magnezu, a właściwie technologii jego kształtowania i późniejszej obróbki.
Prototypy zostaną również wykorzystane do dalszych badań i pomiarów – formowanie, odlewy próżniowe, elastooptyka.

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO