

Projekt kluczowy Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

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

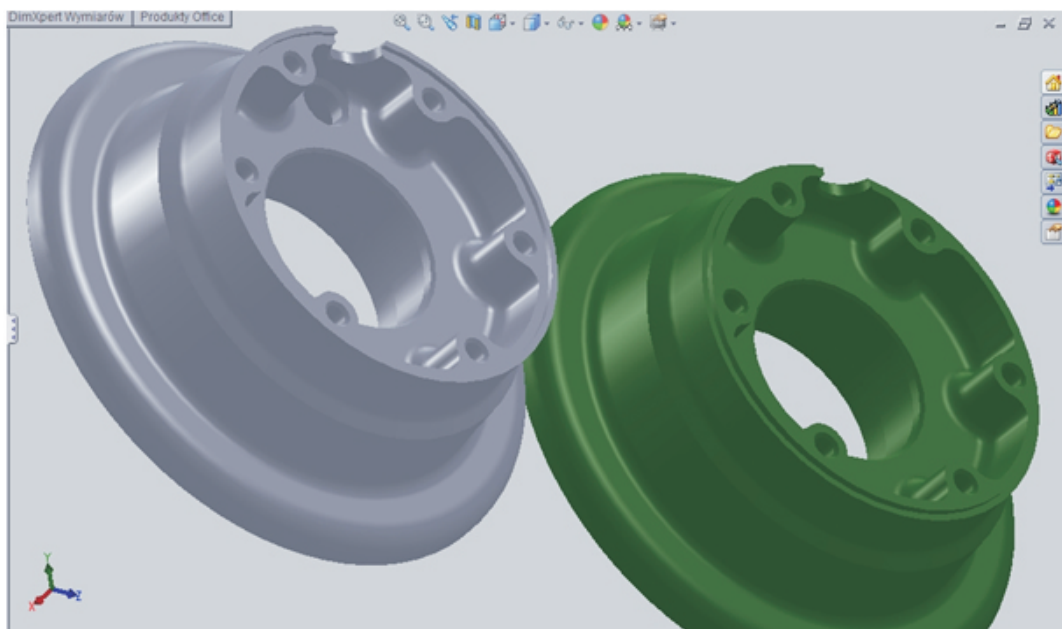
Politechnika Śląska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Instytut Lotnictwa w Warszawie

Wyniki badań

Opracowanie technologii wykonania modelu piasty koła samolotu do przeprowadzenia analizy rozkładu naprężeń

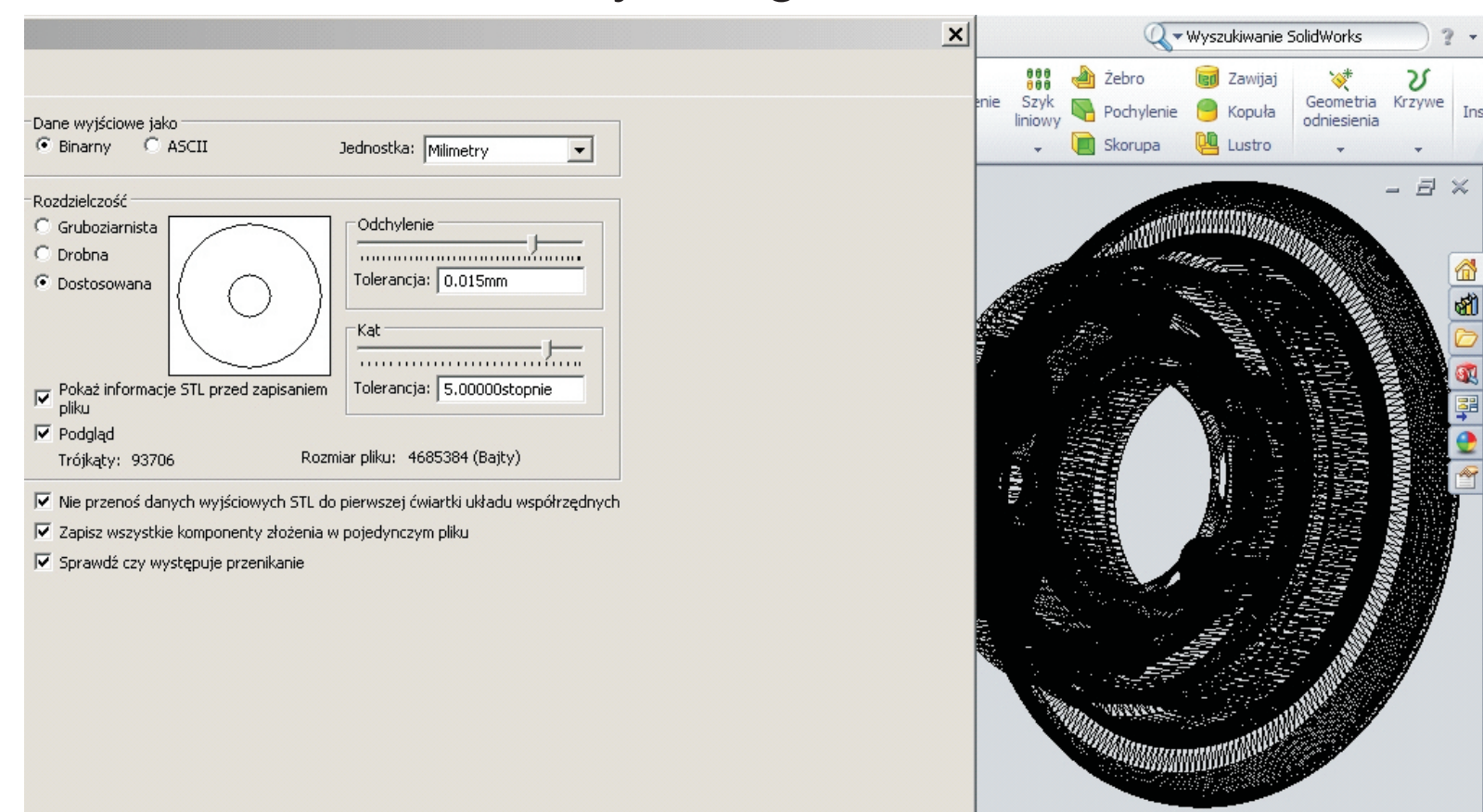
Opracowanie danych numerycznych dla procesu RP – JS

Konstruowanie elementów lotniczych wymaga stosowania zaawansowanych systemów CAD-owskich posiadających możliwości modelowania hybrydowego tzn. bryłowego i powierzchniowego (CATIA, NX – Unigraphics, Autodesk Inventor Professional, SolidWorks). Skomplikowane kształty mogą być wykonywane z zastosowaniem opcji modelowania powierzchniowego. Wytworzenie prototypu fizycznego i eksport danych do formatu urządzeń CNC i RP wymaga przekształcenia modelu powierzchniowego czy krawędziowego w model bryłowy CAD. Kluczowym etapem w przygotowywaniu danych numerycznych dla procesu RP jest wnikliwa analiza modelu CAD celem wyeliminowania ewentualnych błędów konstrukcyjnych oraz wad powierzchni uniemożliwiających przeprowadzenia poprawnego eksportu do formatu *.stl.



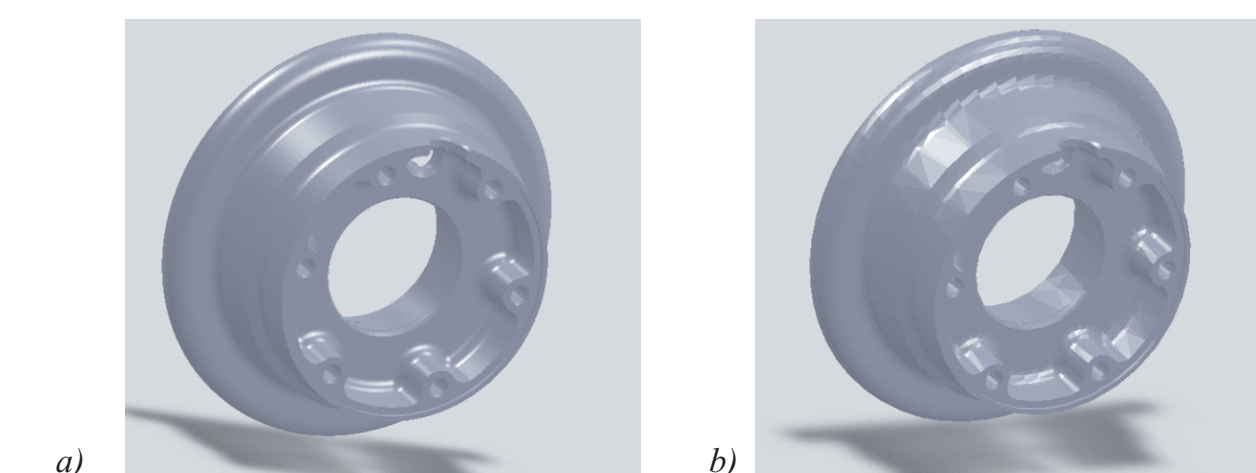
Rys. 1.1. Bryłowe modele prawej i lewej strony piasty koła samolotu

Rys. 1.1. przedstawia bryłowe modele lewej i prawej strony piasty koła lotniczego w oknie programu Solid Works. Na tym etapie prac przeprowadzono weryfikację konstrukcyjną oraz wymiarową uwagę na przeprowadzeniu wszystkim zwrócono uwagę na zarys połączenia części – charakterystyczny „zamek” – właściwa konstrukcja poszczególnych połówek piasty w tym miejscu (tzw. pasowanie) umożliwi poprawne i bezproblemowe zestawienie modelu fizycznego.

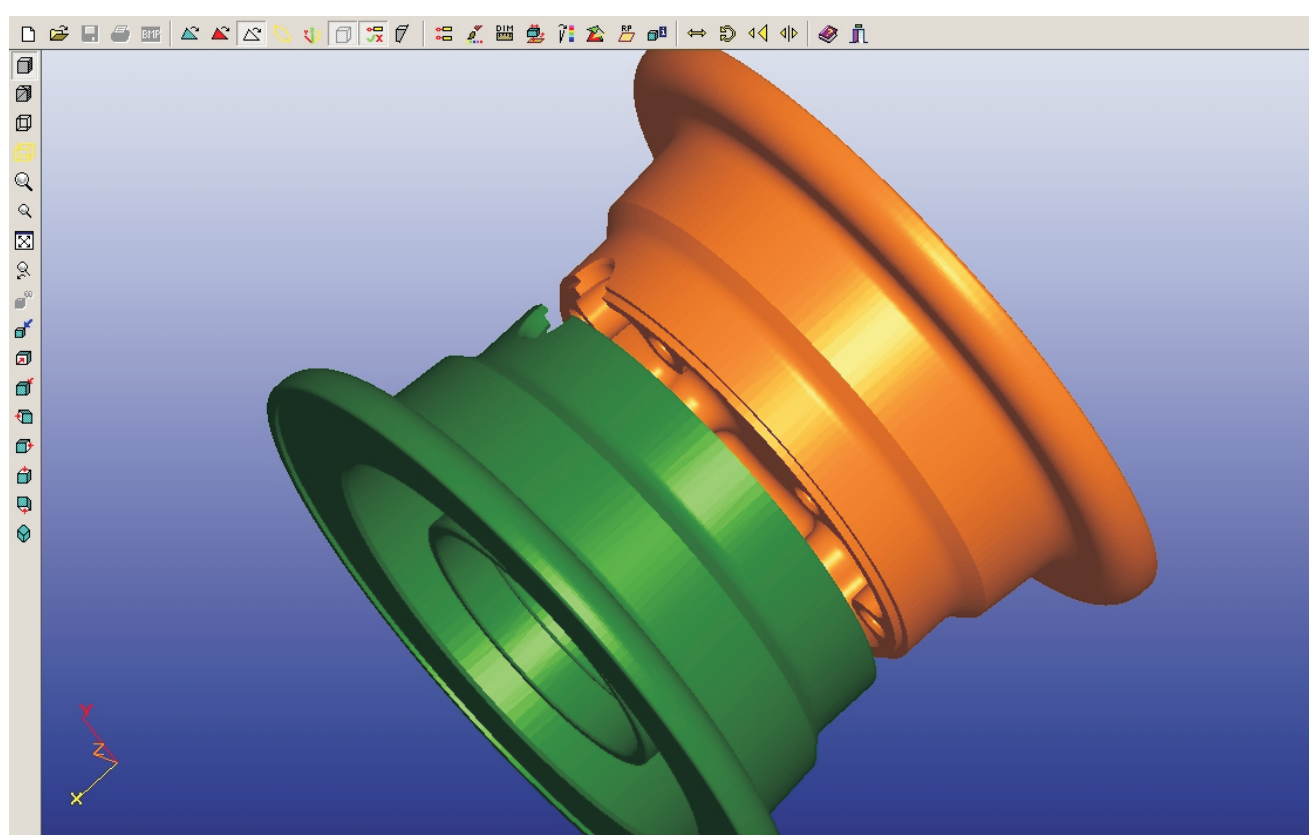


Rys. 1.2. Eksport modelu piasty do formatu .stl

Kolejnym etapem pracy jest przygotowanie modelu RP na podstawie przeanalizowanych modeli bryłowych CAD. Ponieważ w procesie JS – Poly Jet zastosowanie ma format *.stl (ang. STL – Standard Triangulation Language) – podobnie zresztą jak w większości wykorzystywanych obecnie technik – należy skupić szczególną uwagę na przeprowadzeniu poprawnego eksportu STL. Eksport danych realizowany jest najczęściej przez komendy „zapisz jako *.stl”, czasami komendą eksportu do STL-a, najrzadziej osobnym poleceniem wpisywanym w okno dialogowe programu (np. „amstlout” w Mechanical Desktop). W zależności od programu możliwe jest określenie dokładności odwzorowania modelu. Generowanie plików STL nosi nazwę teselacji. Jest to proces, w którym trójwymiarowa geometria modelu zostaje przybliżona trójkątami powierzchniami. Wielkość i kształt trójkątów można regulować przez ustawienie odpowiednich parametrów eksportu danych (Rys. 1.2.) Dokładność aproksymacji jest zależna od kształtu powierzchni modelu oraz od zadanych wartości tolerancji odchylenia oraz kątowej. Błędny dobór w/w parametrów skutkuje niedokładnym odwzorowaniem powierzchni modelu w późniejszym procesie RP.



Rys. 1.3. Modele STL piasty koła samolotu o różnej dokładności odwzorowania powierzchni: wysokiej, b) niskiej



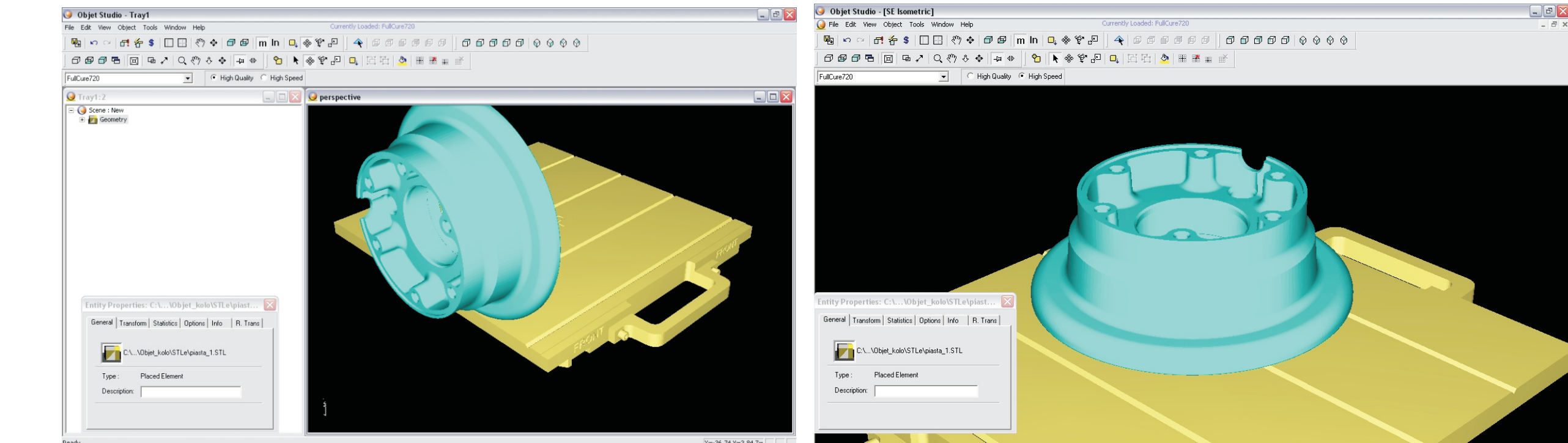
Rys. 1.4. Zweryfikowane modele STL piasty koła samolotu

Dlatego też kolejnym bardzo istotnym etapem w przygotowywaniu danych dla RP jest analiza wygenerowanych modeli STL. Rys. 1.3. przedstawia modele STL piasty koła samolotu o skrajnie różnych parametrach eksportu.

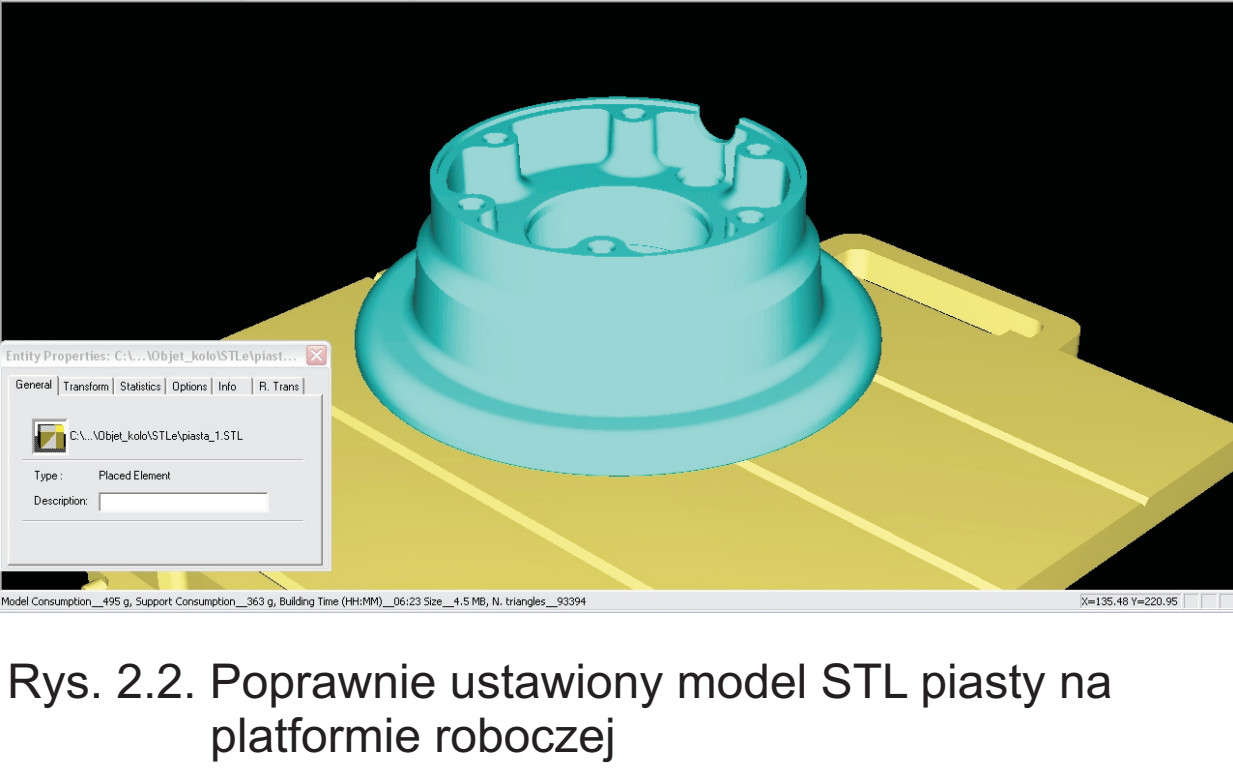
Bardzo często pojawiają się błędy w plikach STL, które uniemożliwiają późniejsze przeprowadzenie procesów RP. Przyczyną jest obarczony błędem projekt wsadowy CAD lub zastosowane podczas eksportu algorytmy programowe (każda konstrukcja jest odrębnym zadaniem wymagającym na module CAD/STL przeprowadzenie indywidualnych relacji matematycznych). Niektóre przeglądarki plików STL umożliwiają edycję i przeprowadzenie korekty elementarnych błędów. Przeważnie jednak należy ponownie wygenerować format *.stl sprawdzając wcześniej poprawność modelu CAD. Rys. 1.4. Przedstawia zweryfikowane przez przeglądarkę STL poprawnie wygenerowane półowki piasty.

Opracowanie technologii JS – Poly Jet dla modelu piasty

Dysponując poprawnie wygenerowanymi plikami STL można przystąpić do przygotowania procesu JS – Poly Jet w opracowanym przez producenta aparatury - firmę OBJET - programie Objet Studio. Pierwszym etapem jest import modelu STL piasty koła samolotu do okna zainicjowanego środowiska programu (Rys. 2.1.).



Rys. 2.1. Import modelu STL na platformę roboczą



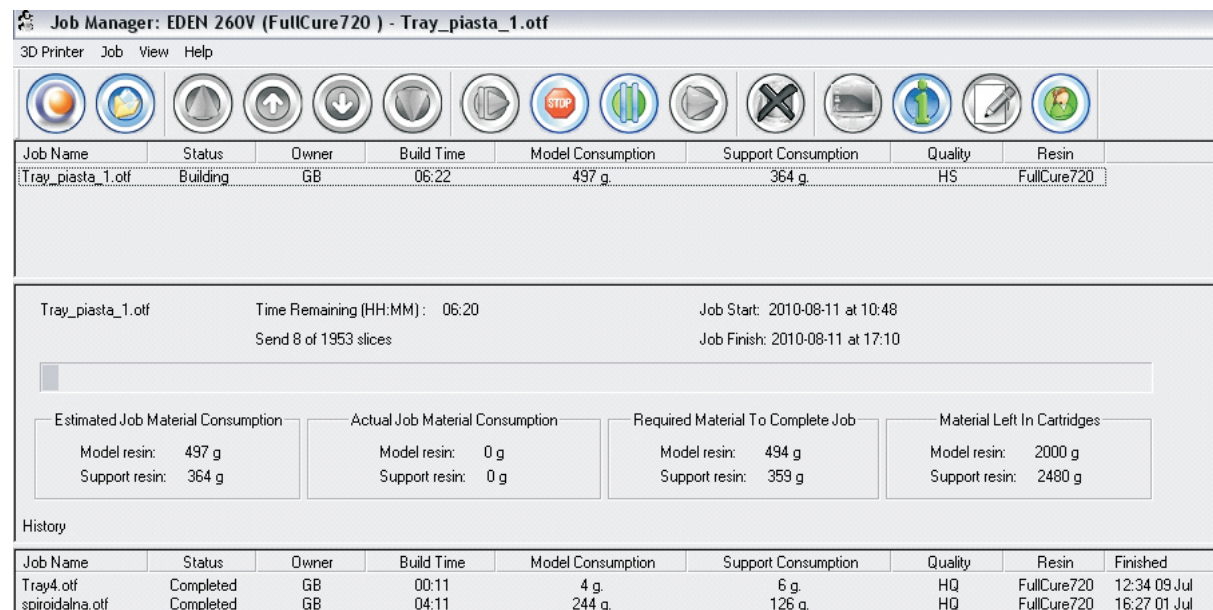
Rys. 2.2. Poprawnie ustawiony model STL piasty na platformie roboczej

Należy pamiętać o odpowiednim ustawieniu modelu tzn. wybrać najkorzystniejszą powierzchnię z punktu widzenia konstrukcji oraz technologii wykonywania prototypu JS. Poprawnie ustawiony model piasty koła samolotu przedstawiono na Rys. 2.2.

Przed przystąpieniem do przeliczenia procesu JS – Poly Jet należy skorzystać z pomocniczej funkcji oferowanej przez oprogramowanie – automatycznego rozmieszczania modeli. Program uwzględniła przeprowadzoną przez użytkownika korektę modelu względem osi „z”, a zmienia jedynie położenie na płaszczyźnie „x – y”, optymalizując je pod kątem pracy modułu drukującego.

Ostatnim etapem pracy w środowisku oprogramowania Objet Studio jest uruchomienie przeliczania procesu, po którym następuje transfer danych do aparatury Objet Eden 260V (Rys. 2.3.).

Dane wydruku kolejnych warstw transferowane są na bieżąco – aparatura nie buforuje kompletnego zadania (jak np.. ma to miejsce w FDM). Postęp procesu możliwy jest do zaobserwowania zarówno w oknie programu Objet Studio zewnętrznego komputera, jak również na ekranie monitora zintegrowanej z aparaturą jednostki sterującej (do maszyny podłączone są obok monitora urządzenia sterujące – klawiatura i mysz – umożliwiające przeprowadzanie operacji serwisowych).



Rys. 2.3. Okno programu Objet Studio z kompletną informacją dotyczącą postępu uruchomionego procesu

Rys. 2.4. Czyszczenie głowic w maszynie Objet Eden 260V

Użytkownik na bieżąco ma aktualizowaną kompleksową informację dotyczącą procesu: czasu trwania, czasu do zakończenia, zużycia materiału, zapotrzebowania na materiał do wykonania pozostałej części. W przypadku braku któregoś z materiałów (modelowego lub podpierającego), możliwa jest wymiana zasobników na nowe lub zainstalowanie ich w dodatkowych gniazdach.

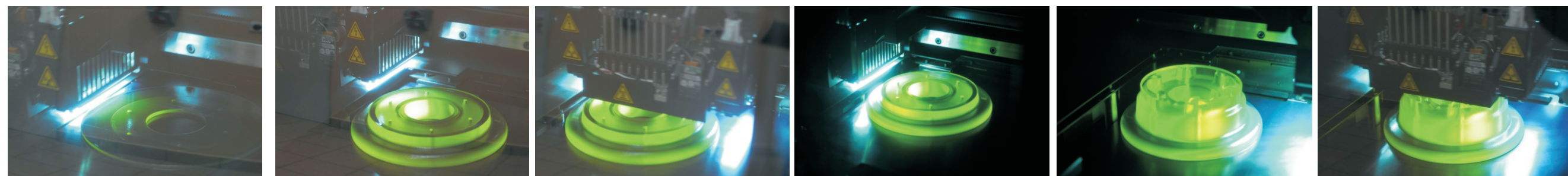
Proces musi poprzedzać przygotowanie maszyny – wyczyszczenie głowic i platformy roboczej przy użyciu propanolu technicznego (Rys. 2.4.), a następnie podgrzanie głowic oraz lamp UV – operacje realizowane automatycznie.

Rys. 2.5. przedstawia aparaturę Objet Eden 260V podczas wydruku modelu piasty.



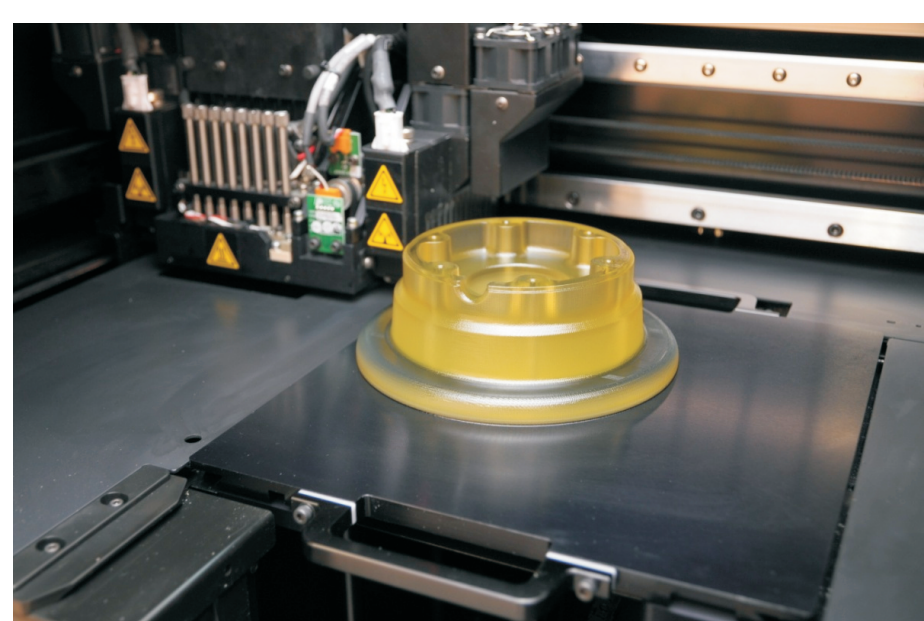
Rys. 2.5. Aparatura Objet Eden 260V podczas wydruku modelu piasty

Głowica drukująca rozpoczyna wydruk od położenia na platformie roboczej warstwy materiału modelowego celem ułatwienia późniejszego usunięcia modelu od platformy roboczej. Następnie następuje nakładanie przez zestaw głowic drukujących oraz naświetlanie przez system lamp UV kolejnych warstw materiału podporowego, a w późniejszej kolejności materiału modelowego – budującego prototyp piasty (Rys. 2.6.).

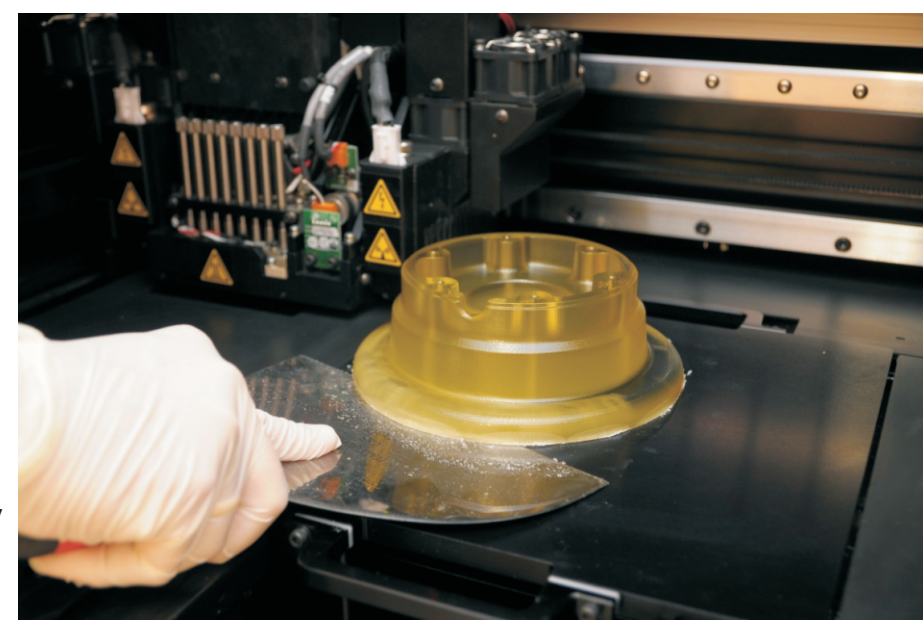


Rys. 2.6. Nakładanie przez głowicę i naświetlanie przez lampy UV (fotopolimeryzacja) kolejnych warstw modelu piasty koła samolotu

Wydruk prototypu piasty koła samolotu przez aparaturę Objet Eden 260V trwał 6 godz. 20 min. (pięciokrotnie krócej od przeprowadzonych wcześniej SLA i FDM). Po zakończeniu procesu platforma robocza wraca do pozycji startowej (Rys. 2.7.)



Rys. 2.7. Platforma robocza wraz z modelem piasty koła samolotu bezpośrednio po procesie JS – Poly Jet



Rys. 2.8. Usuwanie modelu piasty z platformy roboczej

Usunięcie prototypu z platformy przeprowadzono przy użyciu ostrej szpachelki ostrożnie podcinając pierwszą warstwę (Rys. 2.8.). Oczywiście po zakończeniu pierwszego procesu uruchomiony został wydruk drugiej części piasty koła samolotu.

Kolejnym etapem procesu jest wypłukanie struktury podpierającej w komorze ciśnieniowej myjki wodnej (Rys. 2.9.). Materiał podporowy usuwa się przy użyciu strumienia podgrzanej wody – do zgrubnego płukania wykorzystywana jest dysza o większym przekroju (Rys. 2.10. a), natomiast do wypłukiwania struktury podpierającej z trudnodostępnych części modelu, stosuje się cienką dyszę zapewniającą większe ciśnienie (Rys. 2.10. b).



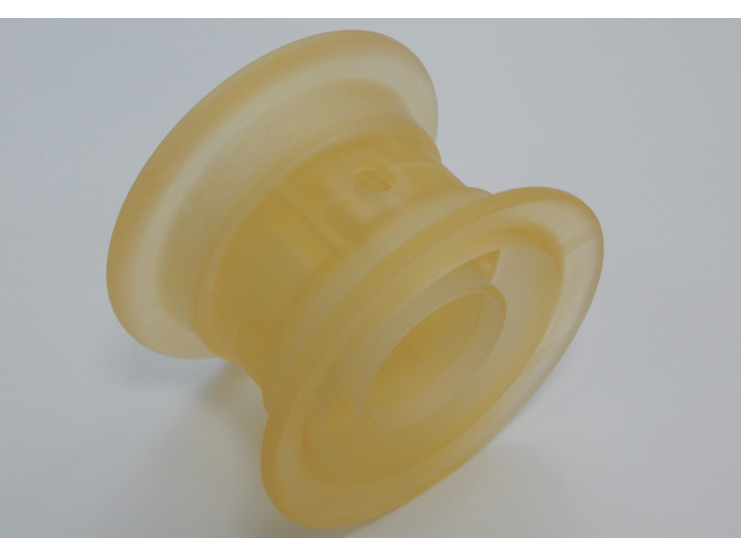
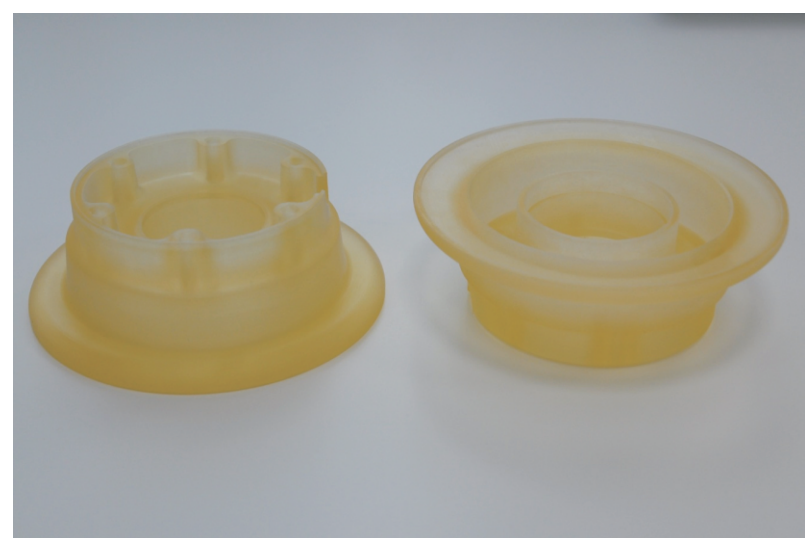
Rys. 2.9. Modele piasty koła samolotu w komorze ciśnieniowej myjki wodnej



Rys. 2.10. Wypłukiwanie materiału podporowego przy użyciu dyszy: a) grubej, b) cienkiej



Po wypłukaniu materiału podporowego model zostaje osuszony i przygotowany do kolejnego etapu – wykonania powłok optycznie czynnych (Rys. 2.11.).



Rys. 2.11. Kompletny model piasty koła samolotu

Opracowanie technologii wykonania powłok optycznie czynnych na powierzchni prototypu piasty

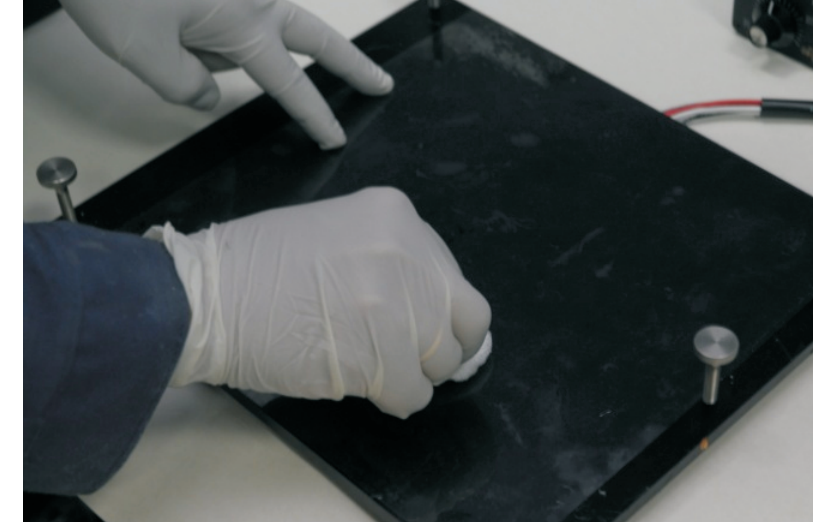
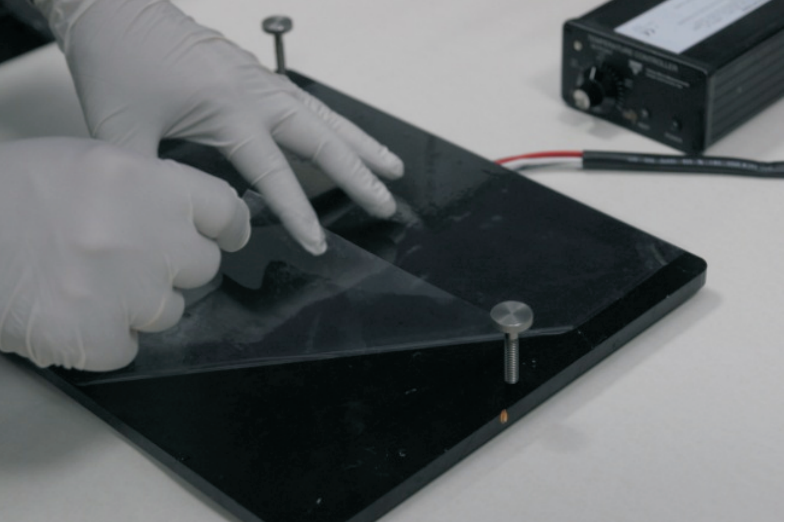
Proces wykonania powłoki optycznie czynnej na powierzchni modelu piasty koła samolotu wymaga wcześniejszego opracowania technologii i szczegółowego zaplanowania kolejnych etapów, które ze względu na ściśle określone progi temperaturowe i czasowe dla wykorzystywanych przyrządów, żywic i odczynników chemicznych muszą zostać precyzyjnie i bezbłędnie przeprowadzone.

Zamieszczony poniżej plan wykonywanych operacji wraz z dokumentacją fotograficzną prezentuje wytworzenie powłoki optycznie czynnej na fragmencie (połowie) lewej części piasty koła samolotu.

Wypoziomowanie teflonowej płyty nagrzejanej do temperatury około 35 °C



Nalożenie podkładu foliowego oraz usunięcie spod niego pęcherzy powietrza w celu uzyskania jednakowej grubości powłoki optycznie czynnej

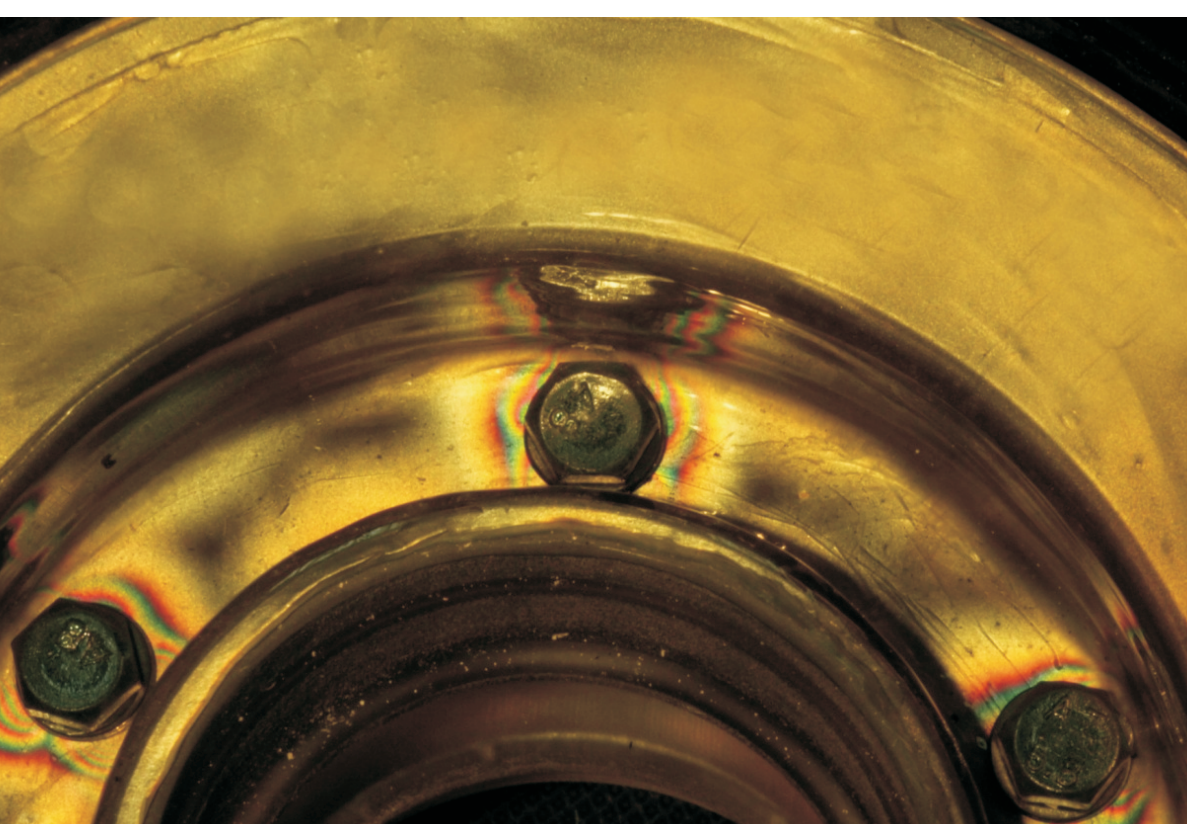


Pokrycie listew ramki silikonem zabezpieczającym przed przyleganiem powłoki oraz ustalenie rozmiarów powłoki optycznie czynnej poprzez odpowiednie rozłożenie silikonowej ramki na płycie grzewczej.

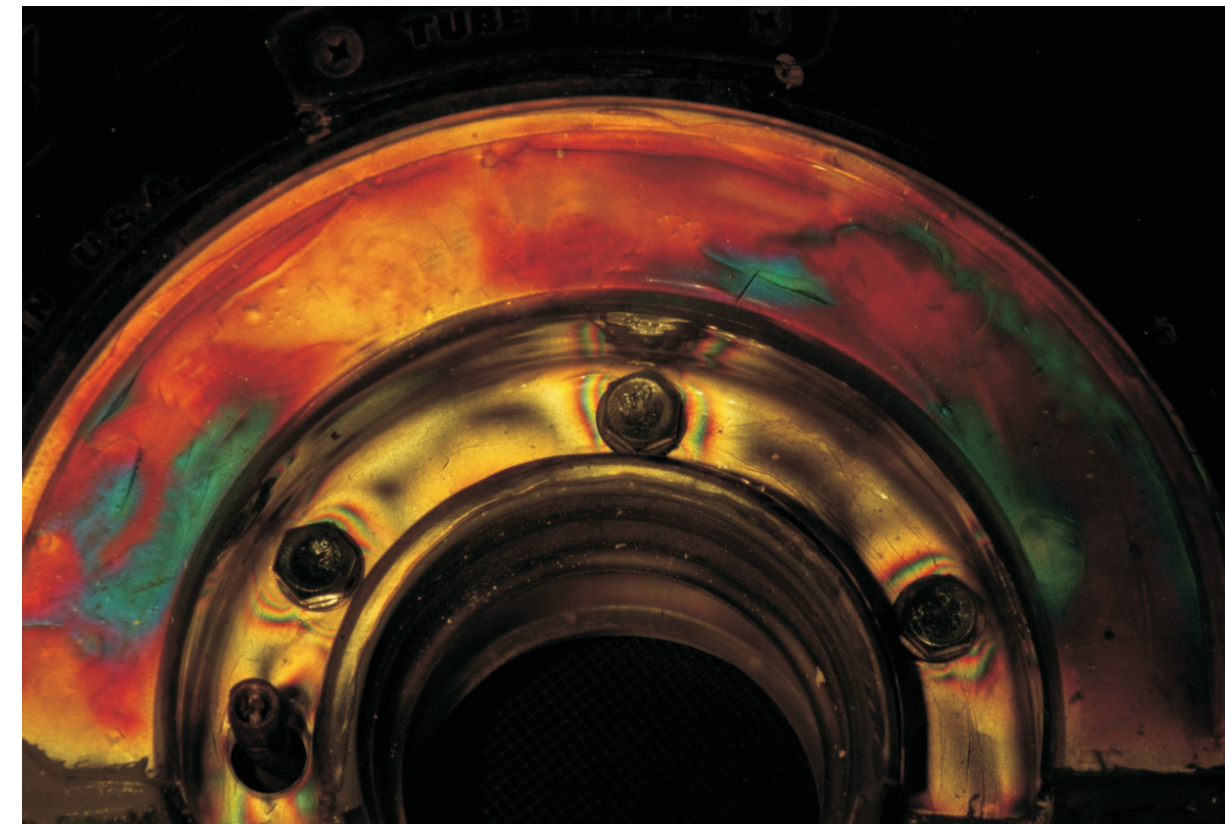


Kolejne etapy wykonania powłoki i badania rozkładu naprężeń w modelu piasty koła samolotu przy wymuszonym obciążeniu.

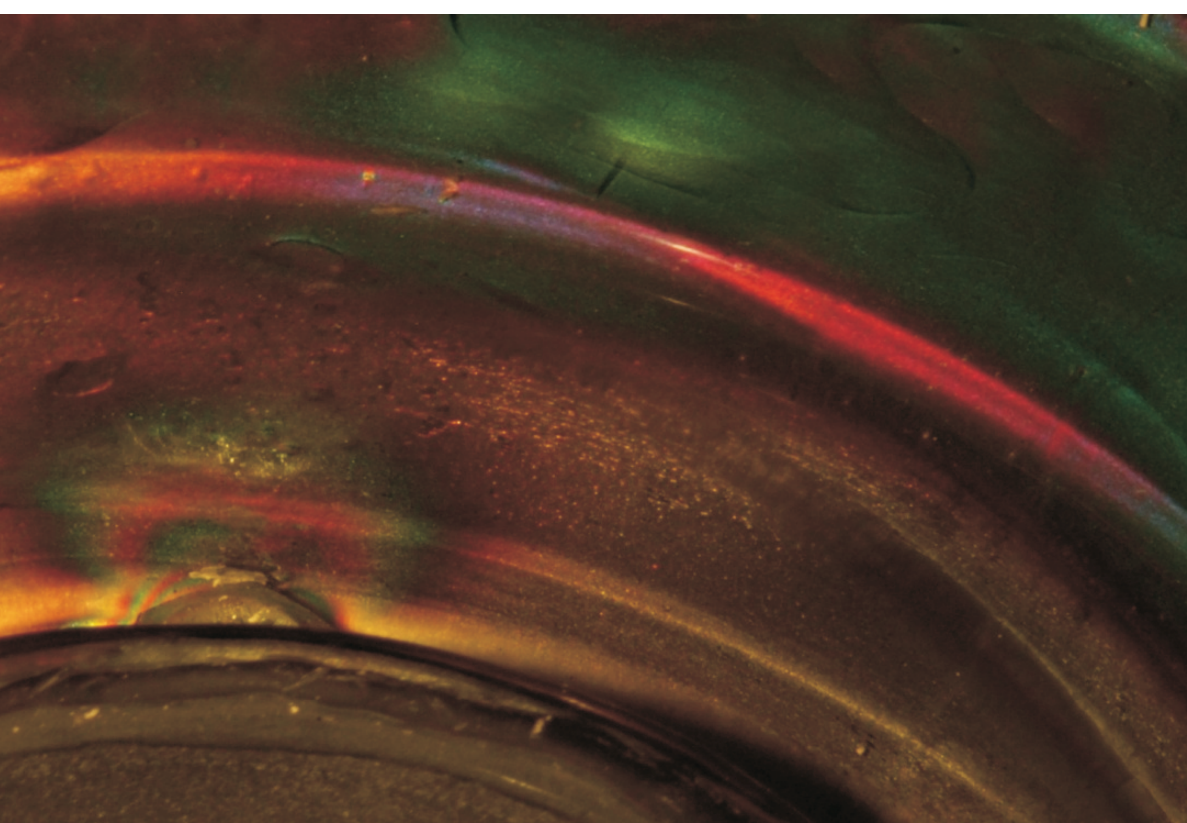
Koło samolotu na stanowisku polaryskopu Vishay Analiza rozkładu naprężeń w piście koła bez ciśnienia – opona nienapompowana – obrazuje występowanie izochrom jedynie w obszarze śrub montażowych (Rys. 3.1.4.). Po napompowaniu opony do ciśnienia ok. jednej atmosfery można zaobserwować pojawienie się izochrom w innych obszarach analizowanej części piasty (Rys. 3.1.5.).



Rys. 3.1.4. Rozkład naprężeń w obszarze śrub montażowych – przed napompowaniem



Rys. 3.1.5. Rozkład naprężeń po napompowaniu opony



Rys. 3.1.6. Naprężenia na rancie kołnierza zewnętrznego oraz na ścianie przylegającej do dętki w okolicy śrub



Dodatkowe izochromy można również zaobserwować w okolicy otworu na wentyl (Rys. 3.1.7.).

Naprężenia występują w obrębie zewnętrznego kołnierza piasty (Rys. 3.1.5.) oraz na jego rancie przy przejściu w kierunku profilu ze śrubami i na powierzchni wewnętrznej bezpośrednio licującej z dętką w okolicy śrub (Rys. 3.1.6.).

Nieregularny rozkład izochrom świadczy o wstępnej fazie procesu „układania się” opony w obrębie kołnierza piasty – zwiększanie ciśnienia w kolejnych próbach pozwoli na precyzyjne określenie rozkładu naprężeń. Przeprowadzenie szczegółowej analizy musi zostać poprzedzone badaniami wytrzymałościowymi próbek wykonanych z materiału modelowego piasty - FullCurve720. Dzięki temu możliwe będzie określenie maksymalnych wartości ciśnienia oraz sił stanowiących obciążenie badanego obiektu.

Wnioski

Opracowanie technologii wykonania modelu piasty koła samolotu do przeprowadzenia analizy rozkładu naprężeń to proces złożony – wymagający szeregu operacji na etapie przygotowania danych numerycznych RP, przeprowadzenia procesu JS – Poly Jet, wykonania powłok optycznie czynnych.

Zwrócono szczególną uwagę na konieczność przeprowadzenia wnikliwej analizy konstrukcji modeli CAD pod kątem montażu kompletnego koła. Podkreślono wagę poprawnego eksportu modeli CAD do postaci STL oraz późniejszą analizę powierzchni pod kątem teselacji (podgląd wygenerowanej siatki trójkątów opisujących model). Przedstawiono opracowanie i przeprowadzenie procesu JS dla modelu piasty koła samolotu – scharakteryzowane zostały operacje w środowisku programu narzędziowego Objet Studio oraz poszczególne etapy obsługi maszyny Objet Eden 260V i finalnego przygotowania prototypów.

Końcowy rozdział prezentuje opracowanie technologii i wykonanie powłok optycznie czynnych na powierzchni modelu piasty koła samolotu. Wstępna analiza rozkładu naprężeń w oparciu o badania na stanowisku polaryskopu Vishay pozwala określić główne miejsca ich koncentracji oraz stopień nasilenia (rząd izochrom występujących w danym obszarze).