

Modelowanie podwozia samolotu

Podwozie samolotu jest jednym z ważniejszych zespołów funkcjonalnych płatowca, ponieważ znaczna większość uszkodzeń podwozia implikuje zagrożenie bezpieczeństwa transportowanych drogą powietrzną ludzi i towarów. Jednym ze sposobów dążenia do niezawodnego funkcjonowania podwozia podczas jego eksploatacji jest prawidłowa realizacja procesu projektowo-konstrukcyjnego. Jego integralną częścią powinno być zbudowanie przestrzennego numerycznego modelu analizowanego obiektu.

Podwozie samolotu (konwencjonalnego) to będący częścią jego płatowca system podpór, umożliwiający m.in. kołowanie, start, lądowanie i postój. Procesy te zachodzą w miejscu stacjonowania samolotu, jak np. lotnisko (utwardzone lub prowizoryczne), okręt lotniskowy, odpowiednio przygotowana droga publiczna, a także akwen wodny.

Zadania, jakie przyporządkowano podwoziu samolotu, to: pokonywanie terenu i amortyzowanie jego nierówności, przemieszczanie i rozpraszanie większości energii samolotu podczas procesu przyziemienia, oraz utrzymanie właściwej pozycji samolotu względem powierzchni lotniska lub urządzenia startowego.

Dekomponując system podwozia samolotu konwencjonalnego, wyróżnić można podsystem podwozia podporowego, którego zadaniem jest przede wszystkim umożliwienie personelowi latającemu manewrowania samolotem po nawierzchni lotniska, dzięki możliwości jego sterowania skrętnego.

Modelowany obiekt

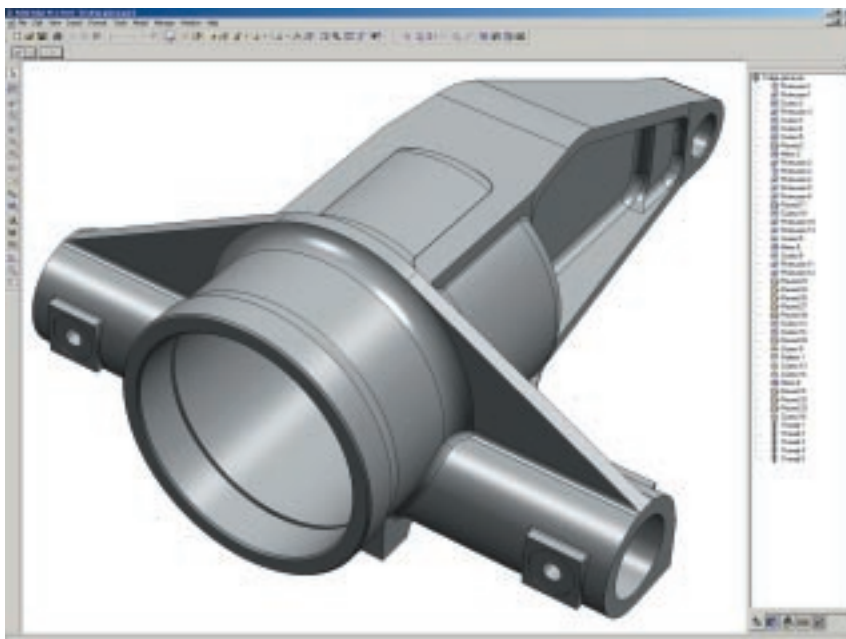
W niniejszym artykule zaprezentowano wybrane efekty numerycznego zamodelowania przedniego podwozia podporowego samolotu. Dodać należy, że jest

to podwozie stałe, tzn. pozycja goleni podwozia względem kadłuba nie zmienia się w czasie (np. nie jest ono chowane do wnęk podwoziowych). Dokonano podziału modelowanego obiektu na 13 podsystemów, np. podsystem amortyzatora, podsystem zespołu siłowników skręcających koło, podsystem zespołu wahaczy itd. Modelowany obiekt składa się z 317 części.

Proces modelowania

Prace w środowisku Solid Edge V11 w większości przypadków rozpoczyna się w module Part, służącym do tworzenia pojedynczych części, nawet bardzo złożonych. Wykonano w nim po jednej (największej lub najbardziej skomplikowanej) części należącej do każdego z 13 podsystemów obiektu. Jedną z nich jest „tuleja górną amortyzatora” (rys. 1).

Warto poświęcić kilka słów na temat filozofii zastosowanej przez twórców programu Solid Edge, wpływającej pozytywnie na łatwość i wydajność pracy w tym środowisku. Każdą z operacji, w wyniku której dana część nabiera ostatecznego kształtu, niezależnie od jej położenia chronologicznego, można w dowolnej chwili edytować, np. zmiany w operacji typu *Revolved Protrusion* (wyciągnięcie obrotowe) mogą polegać na zmianie położenia osi obrotu lub kształtu obracanego profilu (*Profile Step*), lokalizacji płaszczyzny, na której go stworzono (*Plane Step*), lub kierunku, a także kąta wyciągnięcia obrotowego (*Extent Step*). Poszczególne operacje można w dowolnej chwili usunąć, ponownie przeliczyć model, a także chwilowo zamrozić wybrane operacje. Istotnym narzędziem jest *Feature Playback* (rys. 2), dzięki któremu konstruktor może przedstawić technologowi kolejne etapy powstawania danej części, np. w celu zaprojektowania technologicznego procesu wytwarzania.



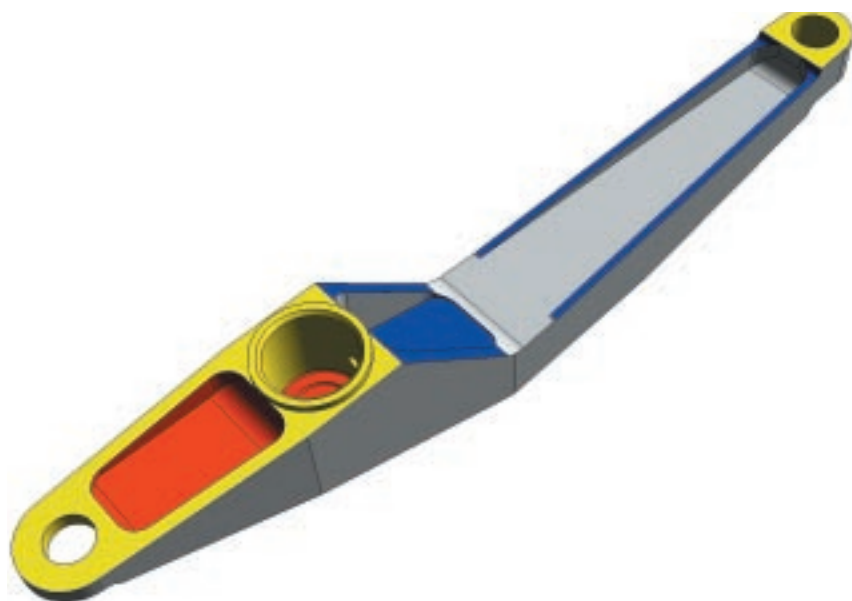
Rys. 1. Przykład wykonania złożonej części podwozia samolotu w module Part



Rys. 2. Wybrane etapy powstawania części, zilustrowane dzięki narzędziu *Feature Playback*



Rys. 3. Umowne wizualizacje złożonych technologicznych części możliwe są dzięki zastosowaniu polecenia *Part Painter*.



Polecenie *Part Painter* (rys. 3) służyć może przyporządkowaniu określonych kolorów do wybranych płaszczyzn, umożliwia np. umowne oznaczenie powierzchni wymagających obróbki jedynie zgrubnej lub szczególnie dokładnej. W celu zademonstrowania złożoności części, np. tulei obrotowej gołeni podwozia, wybrane jej fragmenty można przedstawić jako przezroczyste (rys. 3). Solid Edge umożliwia stworzenie własnej lub skorzystanie z istniejącej biblioteki

operacji technologicznych (*Feature Library*), co skraca czas konstruowania oraz ujednolica proces wytwarzania wielu części technologicznie do siebie podobnych.

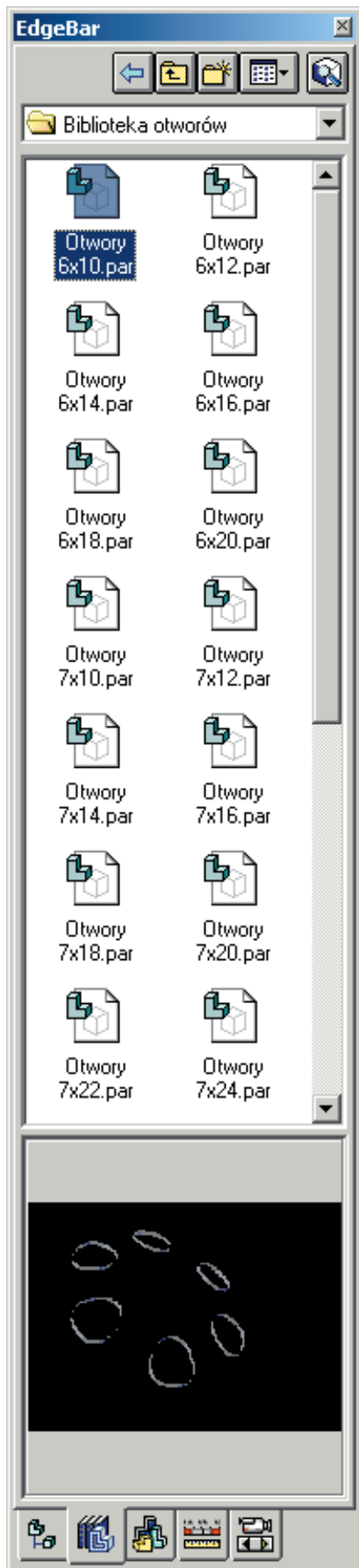
Przykładem jest zapożyczenie operacji wykonania otworów odciążających z jednej półfelgi koła podwozia do drugiej (rys. 4). Warto dodać, że wybierając z *Feature Library* daną operację, można zaobserwować (dzięki podglądowi) jej przyszłe skutki. Skoro mowa o



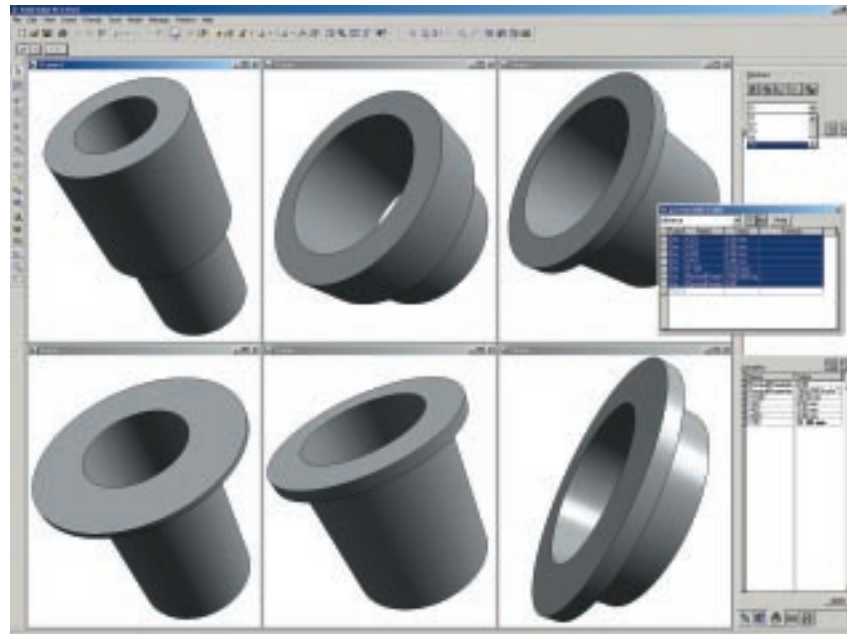
Rys. 4. *Feature Library* – narzędzie umożliwiające szybkie zapożyczanie wybranych operacji technologicznych pomiędzy podobnymi częściami. Na sąsiedniej stronie - okno dialogowe sterujące zmianami.

podobieństwie modeli, wygenerowanie tzw. „rodziny części” również nie stanowi dla użytkownika Solid Edge problemu, służy do tego narzędzie *Part Family*.

Wystarczy jedynie zdefiniować różnice, zarówno geometryczne, jak i materiałowe, pomiędzy „spokrewnionymi” częściami, podać ich nazwy i katalog docelowy. Przykładem takiej „rodziny” może być zbiór nietypowych tulejek ślizgowych (rys. 5).



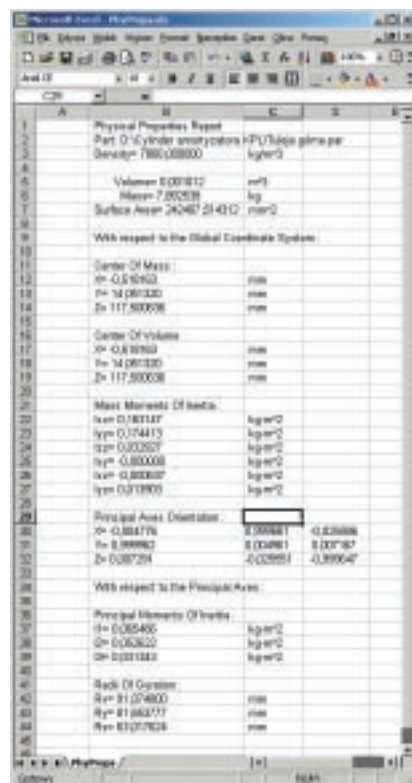
(powyżej) Rys. 4. Feature Library – okno dialogowe.



(powyżej) Rys. 5. Narzędzie *Part Family* umożliwia szybkie wygenerowanie wielu części zbliżonych do siebie np. pod względem wartości parametrów geometrycznych.

Niezbędnym narzędziem w pracy inżyniera jest również *Physical Properties*, służące do wyznaczenia wartości masy, objętości, całkowitego pola powierzchni, momentów bezwładności, zlokalizowania środka ciężkości i dostarczenia wielu innych informacji na temat właściwości fizycznych tworzonej części (rys. 6). Informacją wejściową jest rodzaj materiału, z którego docelowo wykona się konstruowany przedmiot lub wartość

jego gęstości podana w uprzednio zdefiniowanych jednostkach. Informacje, które użytkownik życzy sobie uzyskać, można wyeksportować w postaci pliku *.txt lub arkusza kalkulacyjnego *.xls.



Rys. 6. Przykłady wyeksportowania informacji dotyczących właściwości fizycznych konstruowanej części.



W module *Part* możliwe jest szybkie wykonanie dowolnych pomiarów geometrycznych całej tworzonej części lub jej fragmentów (rys. 7), co znacznie przyspiesza pracę inżyniera. Korzystając z narzędzia *Measure*, po wskazaniu powierzchni roboczej cylindra siłownika hydraulicznego, uzyskać można informacje na temat wartości jej pola powierzchni, średnicy, długości tworzącej itd. Równie przydatne jest narzędzie *Sensors*, dzięki któremu można ustalić, czy wartość wybranej wielkości, np. pole powierzchni otworów w tulejach dławiających przepływ hydroflu, mieści się w dopuszczalnych granicach. Jeżeli tak, polecenie to pozwala na monitorowanie, czy fakt ten nie ulegnie zmianie w wyniku następujących operacji.

Bardzo często modeluje się części, których wymiary są w określony sposób ze sobą powiązane, np. można założyć, że długość tłoczyska amortyzatora ma być całkowitą wielokrotnością jego średnicy zewnętrznej. Wzajemne relacje pomiędzy cechami geometrycznymi danej części można w prosty sposób wyznaczyć dzięki narzędziu *Variable Table*.

Stworzenie odpowiedniej formuły nie różni się zbytnio od wprowadzenia formuły w arkuszu kalkulacyjnym, opisującej relacje pomiędzy wartościami danych komórek.

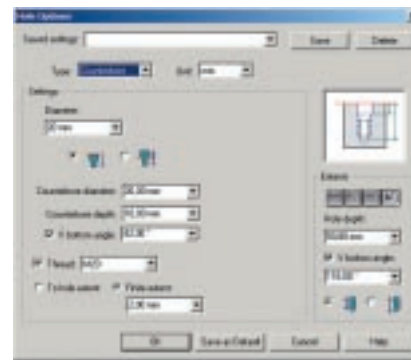
Środowisko *Part* jest bardzo wydajne w procesie modelowania części cienkościennych. Stworzywszy część „pełną” – z wypełnionym wnętrzem, dzięki narzędziu *Thin Wall* można zdefiniować domyślną grubość ścian części oraz ewentualnie zdefiniować odmienną grubość wybranych ścian, a także

wskazać tzw. otwarte lica. Z zastosowaniem *Thin Wall* w krótkim czasie zamodelowano tłoczysko amortyzatora oraz (przedstawioną w widoku częściowym) oponę koła samolotu (rys. 8).

Również proces modelowania złożonych technologicznie otworów nie jest czasochłonny, co zawdzięczać należy łatwości zastosowania polecenia *Hole*. Otrzymujemy do dyspozycji całą bibliotekę otworów, np.: wierconych, frezowanych, stożkowych, gwintowanych, pogłębianych, rozwiercanych oraz ich wzajemnych kombinacji. Zamodelowane otwory są umieszczane na tzw. liście otworów (*Hole Table*) dodawanej automatycznie podczas tworzenia dokumentacji wykonawczej w module *Draft*. Wszystkie otwory w modelu obejmują (do której przytwierdza się siłowniki skręcające koło podporowe) wykonano w wyniku działania jednego tylko polecenia *Hole* (rys. 9).



(powyżej) **Rys. 8. Przykłady części cienkościennych wykonanych przy pomocy narzędzia *Thin Wall*.**



(powyżej i poniżej) **Rys. 7. Polecenia *Measure* oraz *Sensors* umożliwiają uzyskanie informacji na temat własności geometrycznych konstruowanej części lub jej fragmentów.**



W przypadku modelowania podzespołu podwozia lotniczego, składającego się z kilku złożonych geometrycznie części, często korzystniej jest początkowo zamodelować cały podzespół jako jeden element – mamy wówczas pewność co do wzajemnej lokalizacji poszczególnych części i ich fragmentów. Następnie model taki podzielić należy na części składowe, jako granice podziału przyjmując np. własne płaszczyzny odniesienia lub powierzchnie pomocnicze. Do tego celu wykorzystuje się polecenie *Divide Part*, umożliwiające również zapisanie nowo powstałych części w osobnych plikach *.par. Według powyższej metody stworzono model przegrody dławiącej amortyzatora (rys. 10). Wszystkie elementy wykonane w *Solid Edge: Part* zapisywane są w ściśle określonym katalogu, dzięki czemu automatycznie tworzona jest tzw. biblioteka części.



Rys. 10. Model przegrody dławiącej powstał jako integralna całość. Podzielono go na części składowe dzięki poleceniu *Divide Part*.

Assembly

Moduł ten służy przede wszystkim do łączenia pojedynczych części zamodelowanych w środowisku *Part* w jedną funkcjonalną całość. Dokonuje się tego dwoma podstawowymi sposobami. Pierwszy z nich polega na oddzielnym wykonaniu wszystkich modeli w *Solid Edge:Part*, następnie dodaniu ich do siebie, pobrawszy je uprzednio z *Part Library* (biblioteki części). „Montaż” części polega na odbieraniu częściom dodawanym kolejnych stopni swobody w stosunku do części umieszczonych już w złożeniu. Przy wstawianiu do zespołu wielu identycznych części zalecane jest posłużenie się narzędziem *Capture Fit* (zapamiętaj relacje), dzięki czemu nie ma konieczności definiowania odpowiednich relacji oddzielnie dla każdej identycznej części – proces ten dokonuje się automatycznie. W ten sposób po dodaniu do łącznika amortyzatora jednej tulejki ślizgowej w ciągu kilku sekund

użytkownik może dodać do zespołu kilka następnych elementów tego typu (rys. 11). Dodatkowo, jeżeli chcemy umieścić np. kilka śrub w otworach wykonanych w module *Part* poleceniem *Hole*, jeszcze wygodniejsze stanie się zastosowanie narzędzia *Pattern Parts* (wzór części), czego dokonano podczas wstawiania śrub, podkładek i nakrętek podczas łączenia modeli dwóch półteg koła podporowego (rys. 11).



(powyżej) **Rys. 11.** Dzięki narzędziom *Capture Fit* oraz *Pattern Part* można w bardzo krótkim czasie umieścić w zespole wiele identycznych pod względem geometrycznym części.

Druga metoda budowania zespołu polega na stworzeniu w *Part* tylko jednej, wybranej części, która po umieszczeniu w module *Assembly* pełni rolę części odniesienia. Istnieje wówczas możliwość bezpośredniego przejścia z *Assembly* do *Part* i stworzenia następnych części, nadając im takie gabaryty, aby nie kolidowały one z częścią pierwotną. Tego typu modelowanie możliwe jest dzięki zastosowaniu narzędzia *Create In-Place* (modeluj w kontekście zespołu) i jest naprawdę niezwykle wygodne, a co więcej, gwarantuje poprawność wykonania modeli.

Wspomniano, że w module *Solid Edge: Part* można uzyskać informacje na temat wartości masy, objętości, momentów bezwładności i wielu innych właściwości fizycznych projektowanej pojedynczej części. Naturalną konsekwencją tego faktu jest możliwość uzyskania tychże informacji (*Physical Properties*) dotyczących tym razem całego zespołu.

Dla konstruktora możliwość poznania wartości np. momentów bezwładności całego zespołu koła, składającego się z ok. 40 elementów, ma ogromne znaczenie. Wygodny jest również sposób wygenerowania listy części składowych stworzonego zespołu. W tworzonej dzięki poleceniu Reports liście, obok automatycznie umieszczonych numerów oraz nazw części, mogą znaleźć się wszystkie informacje dodane do poszczególnych części *.par przez konstruktora lub administratora sieci, takie jak np.: niezbędne nazwiska, numer dokumentacji, numer stacji roboczej, słowa komentarza itd. Uzyskany raport można wyeksportować np. jako plik *.txt lub *.rtf.



Rys. 12. Widok całkowity amortyzatora oraz jego widok częściowy uzyskany dzięki poleceniu Cutaway View.

Wizualizacja pracy inżyniera ma bardzo istotne znaczenie. Dzięki stosowaniu odpowiednich efektów oraz umiejętnie wyeksportowanym obrazom stworzyć można nie tylko eleganckie i estetyczne foldery reklamowe, ale również pomocne i czytelne instrukcje montażowe oraz dla prac remontowo-konserwacyjnych.

Narzędziem, którego stosowanie wydaje się wręcz niezbędne, chociażby w celu ułatwienia montażu, jest *Cutaway View*, czyli kreator widoków częściowych, dzięki któremu można np. ukazać wnętrze stworzonego zespołu. Stosować można kilka widoków częściowych jednocześnie oraz deklorować, które części nie mają zostać „przecięte”. Na rys. 12 przedstawiono przykład złożenia, którym jest model amortyzatora podwozia podporowego, oraz jego widok częściowy. Równie pomocna, w celu ułatwienia montażu,



Rys. 13. Stosując narzędzie Exploded View, uzyskać można tzw. widoki rozstrzelone.

jest możliwość wygenerowania tzw. widoków rozstrzelonych (*Exploded View*). Można je otrzymać automatycznie lub samodzielnie zdefiniować wartość parametrów „rozstrzelenia”. Na rys.13 przedstawiono „eksplodujący” model zespołu sworznia głównego łącznika amortyzatora.

W *Solid Edge: Assembly* można w bardzo prosty sposób definiować kolor, w którym wyświetlane są wybrane części lub ich fragmenty, a także wyznaczać kierunek i intensywność jednego lub kilku źródeł światła (rys. 14). Równie szybko pokrywa się wybrane powierzchnie teksturami, dobiera odpowiednie tła, ustala sposób wyświetlania cieni oraz wyznacza rodzaj perspektywy.

Znacznie bardziej złożone, lecz równie przystępne, są narzędzia umożliwiające wyeksportowanie animacji w formie pliku *.avi, na której można np. przedstawić pracę modelowanego mechanizmu – służą do tego narzędzia *Virtual Studio* oraz *Motion*. Wydaje się, że jest to najdoskonalszy sposób przedstawienia modelowanego obiektu osobom zajmującym się eksploatacją obiektu rzeczywistego oraz potencjalnym jego nabywcom.

Wspomniano, że jednym ze sposobów łączenia części ze sobą jest zdefiniowanie ich wzajemnego położenia przestrzennego. Modelując przednie podwozie samolotu, a więc zespół części zmieniających swą lokalizację podczas pracy, warto skorzystać z narzędzia *Family of Assemblies*. Umożliwia ono np. zdefiniowanie dwóch skrajnych położeni modelu, np. w wyniku jego odciążenia po starcie i obciążenia po przyziemieniu samolotu. Efekt zastosowania tego narzędzia przedstawiono na rys. 15.



(ponizej i powyzej) **Rys. 14. Nadanie wybranym częściom efektu przezroczystości lub pokrycie ich kontrastującymi ze sobą kolorami wpływa na jakość wizualizacji zespołu części.**





Rys. 15. Zastosowanie narzędzia *Family of Assemblies* umożliwia m.in. natychmiastową zmianę konfiguracji modelu odpowiadającą np. dwóm jego skrajnym położeniom.

Draft

Moduł *Draft* służy przede wszystkim do wykonywania dokumentacji wykonawczej i złożeniowej obiektów. Modelowanie 3D w programie Solid Edge V11 jest na tyle łatwe, że numeryczną dokumentację wykonawczą oraz złożeniową wykonuje się przeważnie po stworzeniu przestrzennych modeli w modułach *Part* i *Assembly*. W przypadku modelowania omawianego obiektu skorzystano z modułu *Draft*, ponieważ modele jego części składowych oraz ich złożenie wykonano na podstawie klasycznej, tj. „papierowej” dokumentacji.

Solid Edge: Draft umożliwia wykonanie dowolnego rzutu obiektu, zarówno części pojedynczej (pliku *.par), jak i złożenia (pliku *.asm). Żadnego problemu nie stworzy użytkownikowi również wykonanie dowolnego przekroju, kładu, a także nanoszenie wymiarów, oznaczeń technologicznych oraz komentarzy. Na rys. 16 przedstawiono uproszczony widok izometryczny goleni podwozia podporowego samolotu.

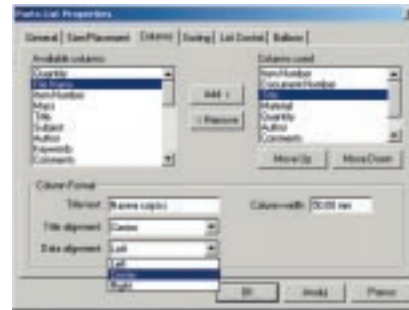
Na życzenie użytkownika na rysunku złożeniowym umieszczana jest tzw. *Part List* (tabliczka części), w której mogą

pojawić się informacje wprowadzone w kartach *Properties* części składowych, tj. plików *.par. Do informacji tych należą np.: nazwa własna części, materiał,



Rys. 16. W module *Draft* wykonać można m.in. widoki izometryczne zespołów.

z którego została ona wykonana, niezbędne Polskie Normy itd. Na rys. 17 przedstawiono zaopatrzony w tabliczkę części izometryczny widok rozstrzelony zespołu sworznia głównego łącznika amortyzatora, a także wybraną kartę okna dialogowego służącego do formatowania *Part List*. Dodać należy, że warunkiem stworzenia w module *Draft* widoku rozstrzelonego jest jego uprzednie zdefiniowanie w module *Assembly*.



Rys. 17. Dokumentację złożeniową zespołu można zaopatrzyć w tabliczkę części dzięki poleceniu *Part List*.

Podsumowanie

Faza projektowo-konstrukcyjna jest nieomalże początkową fazą istnienia każdego obiektu technicznego. Co więcej, konstruktor jest pierwszym ogniwem struktury szeregowej, w skład której wchodzi również technolog (wspomagający wytwarzanie) oraz odbiorca (personel eksploatujący) – jest to powód do zrozumienia spoczywającej na nim olbrzymiej odpowiedzialności. W obecnym przemyśle lotniczym nie ma miejsca na długotrwałe i złożone procesy projektowo-konstrukcyjne, jak również nie można sobie pozwolić na tolerowanie najmniejszych błędów popełnionych podczas projektowania. Z tych właśnie względów należy poszukiwać najdoskonalszych (w świetle potrzeb określonych grup konstruktorów) programów CAD, aby umożliwić im najlepsze efekty pracy. Program Solid Edge dzięki swej modułowości, ogromnej liczbie narzędzi, łatwości wprowadzania danych oraz możliwości ich edytowania jest doskonałym narzędziem. Stosując je, w krótkim czasie zamodelowano zespół podwozia podporowego samolotu, mając pewność poprawności geometrycznej stworzonych modeli.

Adam Budzyński
top-tech@cad.pl

Akademia Techniczno-Rolnicza w
Bydgoszczy