

CZAPLA Robert¹
PRZYBYŁEK Paweł²

WIRTUALNE MODELE CAD 3D W PROCESIE NAUCZANIA BUDOWY KONSTRUKCJI PŁATOWCÓW I SILNIKÓW

Wykonywanie modeli wirtualnych w technice inżynierii odwrotnej lub wstecznej (ang. reverse engineering) znajduje zastosowanie w procesie projektowania nowych wyrobów, przy rekonstrukcji obiektów zużytych lub uszkodzonych, kontroli jakości oraz coraz częściej również w dydaktyce. W niniejszej pracy przedstawiono metodologię tworzenia modeli CAD 3D konstrukcji lotniczych techniką inżynierii odwrotnej. Na bazie silnika lotniczego zaprezentowano przebieg procesu modelowania. Ponadto opisano przykłady zastosowania wygenerowanych modeli w procesie nauczania budowy konstrukcji lotniczych. Podsumowaniem efektywności wykorzystania inżynierii wstecznej w procesie dydaktycznym są wyniki jednej ze zrealizowanych w WSOSP prac badawczych.

VIRTUAL CAD MODELS APPLIED IN THE PROCESS OF AIRFRAME AND ENGINE STRUCTURE TEACHING

Virtual models made in reverse engineering technology are applied in the process of designing new products, reconstructing used or damaged objects in the quality control, and lastly, in teaching. In the above work, the methodology of creating CAD 3D models of aviation structures by means of reverse engineering is used. The process of modeling was presented on the basis of aircraft engine. Moreover, the examples of how the created models may be used in the process of teaching about the structure of airplanes. The summary of the effectiveness of application of reverse engineering in the didactic process are the results presented in one of the research papers carried out in the Air Force Academy in Deblin.

1. WSTĘP

Postęp technologiczny, którego jesteśmy świadkami, wymusza konieczność stosowania najnowszych osiągnięć branży informatycznej również w dziedzinie dydaktyki. Ewolucja w procesie nauczania jest nieunikniona. Ma to wpływ na podniesienie atrakcyjności

¹ Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Katedra Płatowca i Silnika; 08-530 Dęblin, ul. Dywizjonu 303 12; tel. (+48) 81 551-74-31, e-mail: robert.czapla@o2.pl

² Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Katedra Płatowca i Silnika; 08-530 Dęblin, ul. Dywizjonu 303 12; tel. (+48) 81 551-74-31, e-mail: sqcdr@wp.pl

studiowania oraz wzrost efektywności kształcenia przy jednoczesnej minimalizacji kosztów. Efektem tego jest wzrost poziomu kompetencji studentów – przyszłych inżynierów.

Obecny rozwój oraz spadek cen oprogramowania i sprzętu informatycznego istotnie wpłynął na upowszechnienie się systemów CAD/CAM/CAE (skrót: CAx) wspierających pracę inżyniera na każdym etapie cyklu życia produktu, poczynając od fazy konceptowania, a na jego użytkowaniu kończąc. Jesteśmy świadkami przenoszenia z desek kreślarskich na monitor komputerowy nie tylko projektów budynków, ale i konstrukcji samolotów, statków, silników i wszystkiego, co można zamodelować za pomocą kodu zerojedynkowego stanowiącego fundament informatyki.

Współcześni inżynierowie, działający w branży CAx, często zobligowani są do wykonywania modeli numerycznych będących dziełem człowieka obiektów już istniejących. Techniki te noszą miano inżynierii odwrotnej lub wstecznej (ang. reverse engineering). W przemyśle polega to na określaniu cech geometrycznych obiektów oraz materiałów, z jakich są wykonane. Inżynieria odwrotna znajduje zastosowania w procesie projektowania nowych wyrobów (np. pomiary skomplikowanych kształtów obiektów, dla których nie ma dokumentacji technicznej, czy obiektów po badaniach optymalizacyjnych w tunelu aerodynamicznym), w procesie rekonstrukcji obiektów zużytych lub uszkodzonych (dla oceny stopnia zużycia lub odtworzenia kształtów pierwotnych) oraz w kontroli jakości (przez porównanie części wyprodukowanej z jej pierwotnym modelem konstrukcyjnym). [1]

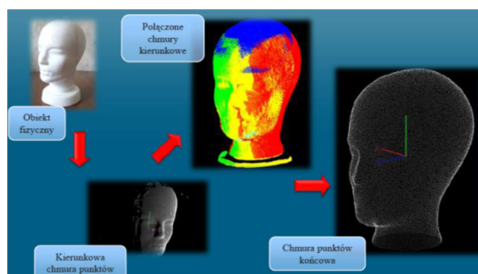
Inżynieria odwrotna i systemy CAx mogą też znaleźć zastosowanie właśnie w dydaktyce, w szczególności w kształceniu personelu inżynierijno-lotniczego celem podniesienia efektywności kształcenia z zakresu budowy płatowca i silnika statków powietrznych. Dziedzina ta nabiera szczególnego znaczenia w przypadku braku pełnej dokumentacji, materiałów dydaktycznych lub niemożliwości przeprowadzenia zajęć praktycznych na rzeczywistym samolocie.

2. METODOLOGIA TWORZENIA MODELI CAD 3D KONSTRUKCJI LOTNICZYCH TECHNIKĄ INŻYNIERII ODWROTNEJ

2.1 Dokonywanie pomiarów obiektów rzeczywistych

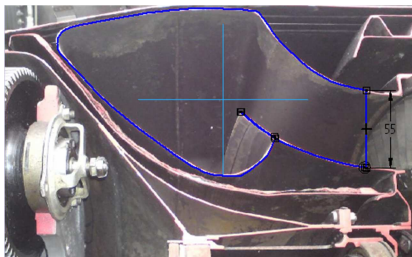
W procesie rekonstrukcji obiektu niezbędne jest zebranie wszystkich danych opisujących w sposób jednoznaczny jego cechy geometryczne. Istnieją różne metody digitalizacji. W przypadku konieczności osiągnięcia wysokiego stopnia dokładności, jedną z technik jest zastosowanie w procesie digitalizacji skanera 3D. Wówczas proces rekonstrukcji przebiega następująco: [2]

1. Wygenerowanie za pomocą skanera 3D chmury punktów, będącej cyfrową reprezentacją rzeczywistej powierzchni modelu fizycznego (Rys.1);
2. Oczyszczenie chmury punktów z wszelkich zakłóceń (szumów);
3. Utworzenie splajnowych krzywych aproksymacyjnych;
4. Utworzenie krzywych krawędziowych;
5. Wygenerowanie na podstawie modelu krawędziowego płatów powierzchni;
6. Utworzenie modelu hybrydowego (bryłowo-powierzchniowego).



Rys.1. Chmura punktów obiektu fizycznego wygenerowana skanerem 3D. [6]

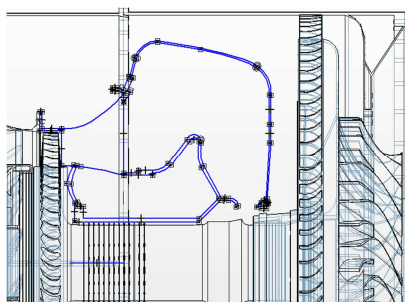
W zastosowaniach dydaktycznych w zupełności wystarczą konwencjonalne techniki pomiarowe, np. za pomocą suwmiarki. Błędy pomiarowe są większe, ale z drugiej strony mamy obniżenie kosztów, znaczące uproszczenie procesu digitalizacji, a tym samym skrócenie czasu procesu modelowania. Przyjęte kryteria tolerancji błędów pomiarowych nie mają istotnego znaczenia jeśli chodzi o zasymulowanie/zobrazowanie zasady działania omawianego układu/konstrukcji. W przypadku podzespołów szczególnie istotnych z punktu widzenia procesu nauczania budowy płatowca czy silnika tolerancję błędu należy odpowiednio zminimalizować. Proces wykonania wirtualnego modelu jest poprzedzony zgromadzeniem niezbędnych konstrukcyjnych danych geometrycznych, obejmujących fragmenty dokumentacji technicznej, rysunki poglądowe oraz pomiary rzeczywistych podzespołów. Często, z powodu braku możliwości skorzystania z dokumentacji technicznej (np. dane poufne lub po prostu jej brak), jak już wspomniano, wyznaczenie charakterystyk geometrycznych dokonuje się ręcznie za pomocą podstawowych przyrządów, tzn. suwmiarki, przymiaru i kątomierza. Aby jak najdokładniej odwzorować model 3D w stosunku do oryginału, przyjmuje się technikę dokonywania pomiarów kolejnych podzespołów danej konstrukcji względem ustalonego elementu odniesienia. Przykładowo, przy tworzeniu złożonego modelu 3D CAD silnika M601T (model składa się z 742 części, z czego 61 jest niepowtarzalnych!) jako element odniesienia przyjęto wał turbiny swobodnej. W stosunku do tego podzespołu zostały przeprowadzone pomiary elementów z nim sąsiadujących, tj. turbiny swobodnej, elementów układu wylotowego oraz elementów reduktora, a następnie zwymiarowano względem nich pozostałe części silnika. Przyjęta metoda pracy pozwoliła uzyskać dokładność wymiarów liniowych na poziomie kilku milimetrów, zaś kątowych kilku stopni. Przy modelowaniu elementów o skomplikowanych kształtach przydatną może się okazać funkcja tworzenia profilu na płaszczyźnie ze zdjęciem rzeczywistego elementu lub rzutem prostokątnym z dokumentacji jako podkładem. Dzięki temu skomplikowana geometria profilu elementu może być odwzorowana z dużą dokładnością i dbałością o szczegóły w minimalnym przedziale czasu. (Rys.2)



Rys.2. Technika rysowania profilu płaskiego operacji wyciągnięcia w oparciu o zdjęcie przekroju kanału wylotowego silnika.

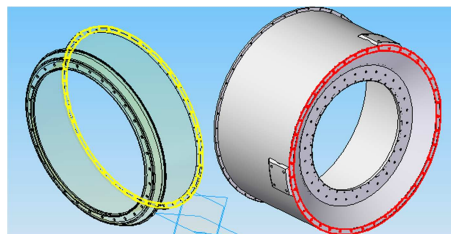
2.2 Przebieg procesu modelowania w systemie CAD

Modelowanie konstrukcji lotniczych wymusza niejako specyfika pracy w danym środowisku CAD oraz metoda dokonanych pomiarów obiektu rzeczywistego. W przypadku SolidEdge proces ten polega na zamodelowaniu części (podzespołu) bazowej, a następnie pozostałych części (podzespołów) w kontekście istniejących części – przy tworzeniu nowych elementów wykorzystuje się istniejące profile płaskie lub geometrie przestrzenne (Rys.3). Eliminuje to ryzyko niedopasowania elementów wynikające z przyjętej metody wymiarowania oraz skraca czas modelowania.



Rys.3. Przykład rysowania profilu komory spalania silnika w kontekście zespołu.

Przy modelowaniu układów kinematycznych silników lotniczych bardzo przydatnym jest moduł „Engineering Handbook”, za pomocą którego konstruowanie przekładni odbywa się w sposób zautomatyzowany. W drugim etapie, stosując metodę „od szczegółu do ogółu”, łączy się poszczególne części w podzespoły funkcjonalne, które na koniec zostają scalone w jeden zespół. Proces rozpoczyna się od utwierdzenia części (podzespołu) bazowej, do której dodaje się kolejne. Przy modelowaniu silnika M601T jako część bazową obrano element kadłuba na wysokości komory spalania, gdyż zawiera on węzły mocowania silnika do płatowca samolotu. W celu odzwierciedlenia ruchu rzeczywistego, proces łączenia części i podzespołów przebiega poprzez odbieranie odpowiednich stopni swobody przy użyciu dostępnych w systemie relacji (więzów), tj. przyleganie, współosiowość, połączenie, wyrównanie, wstawienie, styczność, przekładnia, itp. (Rys.4)

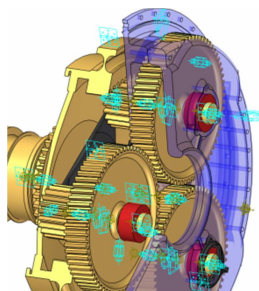


Rys.4. Nakładanie relacji „Przyleganie”. [4]

3. ZASTOSOWANIE MODELI CAD 3D W PROCESIE DYDAKTYCZNYM

3.1 Formy prezentacji wirtualnego modelu

Przeznaczeniem systemów CAx jest wspomaganie pracy inżynierów-konstruktorów. Jednak dzięki swoim zaawansowanym funkcjom, mogą być wspaniałym narzędziem pracy wykładowcy przedmiotów związanych z budową i eksploatacją płatowców i silników lotniczych, dającym wiele możliwości w zakresie opracowywania materiałów dydaktycznych w zależności od formy prowadzenia zajęć, celu zajęć oraz dla jakiej grupy studentów są kierowane. Szczególnie przydatnym do tego celu jest system CAD SolidEdge, jako dedykowany dla branży mechanicznej. Opracowany model wirtualny może być zaprezentowany bezpośrednio w środowisku systemu. Za pomocą najprostszych funkcji zarządzania ekranem – „Powiększ obszar”, „Obróć”, „Przesuń”, „Dopasuj”, „Pokaż tylko”, „Pokaż wszystkie” – można wyjaśniać studentom zasadę działania wybranych układów w zależności od stopnia przyswojenia wiedzy i zadawanych pytań.

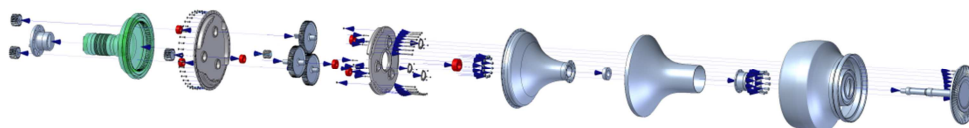


Rys.5. Widok wzajemnych połączeń ruchomych obrotowych i liniowych elementów przekładni pseudoplanetarnej. [4]

Zaawansowane funkcje systemu CAD, szczególnie przydatne w zakresie nauczania budowy konstrukcji lotniczych, pozwalają na przygotowanie scenariuszy lekcji. Można zaliczyć do nich:

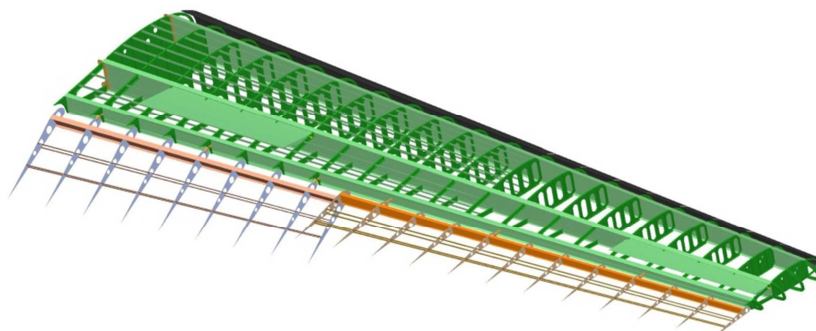
- symulacje ruchu, analizy kinematyczne (Rys.5);
- animacje z zastosowaniem kreatora toru lotu;

- filmy;
- rendering, wizualizacje, ilustracje;
- widoki rozstrzelone – rysunki montażowe (Rys.6);
- rysunki złożeniowe i wykonawcze;
- przekroje całkowite, połówkowe i częściowe;
- rzuty prostokątne i aksonometryczne;
- publikowanie projektów na stronach WWW.

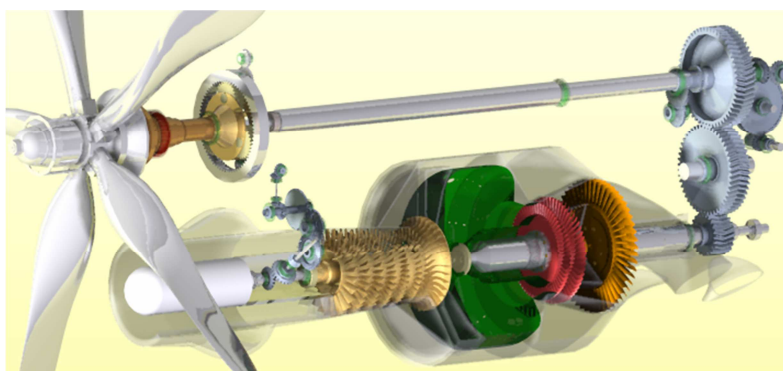


Rys.6. Rysunek montażowy podzespołów silnika M601T. [4]

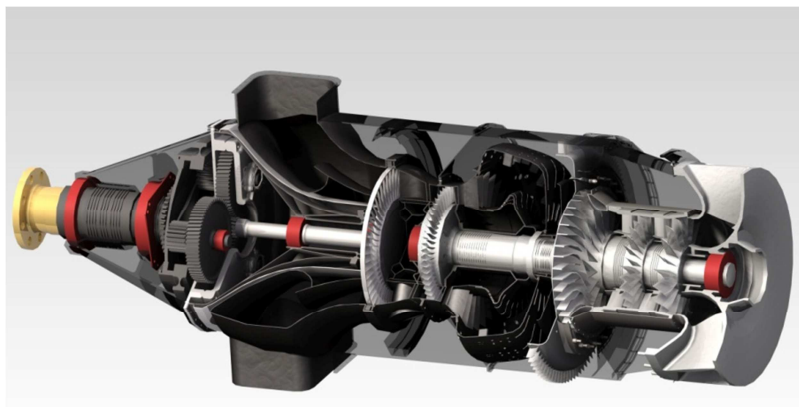
Na poniższych rysunkach przedstawiono przykładowe projekty wykonane w Wyższej Szkole Oficerskiej Sił Powietrznych w Dęblinie za pomocą oprogramowania CAD SolidEdge v.14 –v.20, intensywnie wykorzystywane w procesie dydaktycznym.



Rys.7. Model 3D CAD skrzydła doczepnego samolotu M-28B „Bryza” ze „zdejętym” pokryciem. [3]



Rys.8. Model 3D CAD układu kinematycznego silnika TWD-10B/PZL-10S. [5]



Rys.9. Model 3D CAD silnika M601T. [4]

3.2 Wpływ na efektywność kształcenia

Analiza efektywności kształcenia z wykorzystaniem modeli 3D była przedmiotem jednej z prac badawczych realizowanych w WSOSP. Model 3D skrzydła samolotu został wykorzystany do przeprowadzenia zajęć na kursie przeszkolenia dla personelu Służby Inżynieryjno-Lotniczej z przedmiotu *Budowa płatowca samolotu M-28B „BRYZA-1”*, temat: *„Konstrukcja kadłuba, skrzydeł i usterzenia samolotu”*[3]. Na zajęciach omawiano m.in. takie zagadnienia jak: ogólna budowa skrzydła; rozmieszczenie klap, lotek, slotów oraz hamulców aerodynamicznych; węzły mocowania skrzydła do kadłuba; podział centroplata na część szkieletową (keson), nosek, oraz część spływową; budowa kesonu centroplata (dźwigary, żebra, pokrycie, podłużnice); budowa żeber (żebra nośne, żebra zwykłe, żebra pełne uszczelnione, oraz żebra czołowe); budowa noska centroplata; budowa skrzydła doczepnego (część szkieletowa, część spływowa, nosek doczepnej części skrzydła, oraz końcówka skrzydła doczepnego, wsporniki mocowania klap zewnętrznych i lotek); budowa ruchomych części skrzydła (klapy wewnętrzne i zewnętrzne, lotki, sloty dwusekcyjne oraz wewnętrzne i zewnętrzne hamulce aerodynamiczne). Słuchaczy kursu podzielono na dwie grupy. Zajęcia z grupą nr 1 zrealizowano metodą tradycyjną wykorzystując klasyczne środki audiowizualne - plansze poglądowe, foliogramy, schematy, zdjęcia, itp. Natomiast dla grupy nr 2 scenariusz zajęć bazował na wykorzystaniu modelu wirtualnego z wykorzystaniem form wizualizacji przedstawionych w punkcie 3.1 niniejszego artykułu. W części końcowej zajęć dokonano sprawdzenia stopnia przyswojenia wiedzy. Słuchacze z grupy nr 2 udzielali odpowiedzi na pytania dotyczące budowy skrzydła w znacznie krótszym czasie, a poprawność odpowiedzi była znacząco większa. Nie mieli również problemów ze wskazaniem węzłów mocowania oraz zasadą działania poszczególnych elementów usterzenia skrzydła.

4. WNIOSKI

Wykorzystanie wirtualnych modeli 3D CAD konstrukcji lotniczych w procesie dydaktycznym posiada wiele zalet:

- podnosi efektywność kształcenia w zakresie budowy płatowców i silników statków powietrznych (słuchacze szybciej przyswajają wiedzę);
- umożliwia szkolenie ze znacząco mniejszymi potrzebami angażowania dodatkowych środków technicznych (samolot) i ludzkich (przygotowanie i obsługa statku);
- obniża koszty kształcenia, minimalizując czas spędzony w hangarze przy danym statku powietrznym jak i dając możliwość wyjaśnienia zasady działania, czy obsługi trudnodostępnego podzespołu bez potrzeby jego demontażu i wyłączenia z eksploatacji na czas zajęć;
- dostarcza wykładowcy szerokie spektrum elastycznych narzędzi – pomocy dydaktycznych, np. analiza kinematyczna układu sterowania, obieg płynów w układzie hydraulicznym, czy trasa sygnału elektrycznego;
- zmniejsza wymagania na infrastrukturę stałą (budynki), gdyż są one przechowywane na nośnikach danych, w przeciwieństwie do tradycyjnych pomocy dydaktycznych typu przekroje, czy rzeczywiste podzespoły samolotu, które wymagają osobnych pomieszczeń;
- daje studentom możliwość powszechnego dostępu do materiałów szkoleniowych, które można kopiować;
- czyni zajęcia ciekawszymi, czym zachęca studentów do zdobywania i poszerzania wiedzy lotniczej;
- rozwija wyobraźnię przestrzenną studentów.

Zastosowanie systemów inżynierskich w szkolnictwie, jako nowoczesnej techniki prowadzenia zajęć, posiada również kilka negatywnych stron. Zebranie danych geometrycznych każdej z części, niezbędnych do modelowania danego modelu samolotu, jest czasochłonne i wymaga dostępu do statku powietrznego, a nawet współpracy z jego producentem. Szczególnie czasochłonne jest również opracowanie na podstawie tych danych modelu wirtualnego. Wymaga to zaangażowania zespołu pracowników z bardzo dobrą znajomością oprogramowania inżynierskiego CAD.

Systemy CAD 3D umożliwiają tworzenie konstrukcji na poziomie XXI wieku. Zastosowanie ich w modelowaniu silników lotniczych nie jest tylko kwestią wyboru narzędzia pracy, lecz przede wszystkim próbą sprostania wzrastającym wymogom współczesnej inżynierii. Ich zastosowanie i wykorzystanie jest znakiem poziomu technicznego, jaki osiągnęliśmy i czasów w jakich żyjemy.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://www.wca.wroc.pl/artykuly/577/Odwrotna-rola-inzynierii/>
- [2] Wyleżoń M.: *Inżynieria odwrotna w doskonaleniu konstrukcji*, Gliwice 2006.
- [3] Kotlarz W., Czapla R., Sporek B., Zahorski T.: *Zastosowanie nowoczesnych technik CAD w procesie nauczania budowy konstrukcji płatowców*, WSOSP, Dęblin 2006.

- [4] Kowalski A.: *Zastosowanie systemów CAD 3D do modelowania konstrukcji silników lotniczych na przykładzie M60IT*, WSOSP, Dęblin 2010.
- [5] Rychlicki P., Filipowiak W.: *Symulacja pracy układu kinematycznego silnika TWD-10B/PZL-10S*, WSOSP, Dęblin 2009.
- [6] Wyleżoń M.: *Inżynieria odwrotna w modelowaniu inżynierskim*, Wirtotechnologia 2008.
- [7] Kazimierczak G., Pacula B, Budzyński A.: *Solid Edge. Komputerowe wspomaganie projektowania*, HELION, 2004.
- [8] <http://www.gmsystem.pl>
- [9] http://www.plm.automation.siemens.com/pl_pl/