

Krzysztof Krupa, dr inż.,
Marcin Orkisz, mgr inż., Mateusz Walaszek, mgr inż.
Politechnika Krakowska
Wydział Mechaniczny
krupa@mech.pk.edu.pl

Inżynieria odwrotna, w oparciu o dokumentację fotograficzną, z wykorzystaniem robota jako obrabiarki.

Słowa kluczowe: inżynieria odwrotna, proces obróbki, programowanie robota

Streszczenie

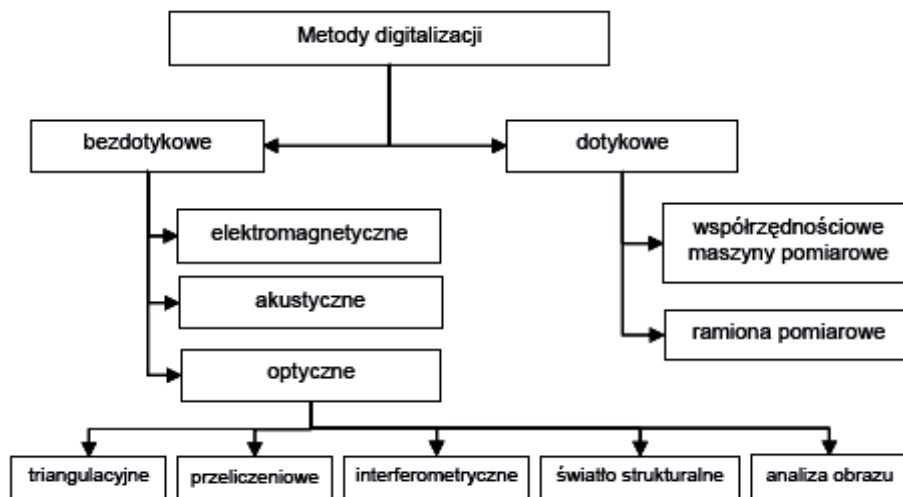
W artykule przedstawiono problem odtworzenia obiektu trójwymiarowego w oparciu o dokumentację fotograficzną, zgodnie z ideą inżynierii odwrotnej. Do opracowania technologii obróbki wykorzystano system Catia V5, a do fizycznej realizacji, w nietypowy sposób wykorzystano robota Fanuc S420F wyposażonego w ręczną frezarkę do obróbki drewna.

1. Wprowadzenie

W swoim rozwoju człowiek stara się naśladować naturę, a w wielu przypadkach, po identyfikacji mechanizmów w niej funkcjonujących, dąży nawet do ich poprawy. W historii odbywało się to z różnym skutkiem. Pierwsze próby naśladowania ptaków podejmował Ikar, maszyny latające projektował Leonardo da Vinci, a współcześnie tworzy się zaawansowane obiekty latające, wykorzystujące różne techniki nośne. Raz znalezione rozwiązania problemów technicznych, były bazą do tworzenia, nie zawsze wiernych, kopii. Można sobie wyobrazić, że osoby, które widziały użycie dzidy i twardego grotu, próbowały stworzyć podobną rzecz, bo jej posiadanie znacznie ułatwiało i poszerzało możliwości polowań.

Na przykład w technice, przez szereg lat funkcjonowały kopiały, które pozwalały na skalę przemysłową produkować kopię detali. W tokarko-kopiarkach jako źródło informacji wystarczał płaski zarys wałka. Współcześnie rozwija się dziedzina zwana inżynierią odwrotną lub inżynierią rekonstrukcyjną. Definiuje się ją jako: „*proces badania produktu (urządzenia, programu komputerowego) w celu ustalenia jak on dokładnie działa, a także w jaki sposób i jakim kosztem został wykonany*” [4]. Oczywiście celem jest wykonanie kopii obiektu o identycznych walorach użytkowych. Różne są motywy tworzenia kopii, ale bardzo ważne jest źródło informacji. Dysponując obrabiarkami sterowanymi numerycznie, źródłem informacji o wytwarzanym obiekcie jest jego obraz cyfrowy. Systemy CAD/CAM/CAE generują takie obrazy, ale wymagają aby ich tworzenie odbywało się w oparciu o udostępniane przez nie mechanizmy. Oczywiście istnieją interfejsy pozwalające przenosić informacje między różnymi systemami. Innym sposobem pozyskania obrazu

cyfrowego jest digitalizacja obiektu fizycznego. W ogólnym zarysie, w zależności od dostępnych środków i wymaganej dokładności, metody digitalizacji można podzielić wg schematu (rys.1):



Rys.1. Podział metod digitalizacji [2].

Metody dotykowe są bardzo dokładne, ale czaso- i kosztochłonne. W wielu przypadkach wystarczające są metody bezdotykowe, które znacznie taniej i szybciej dają pozytywne efekty.

W artykule tym opisano zarys problemu polegającego na wykonaniu trójwymiarowego obiektu, dla którego źródłem informacji była fotografia. Do fizycznej realizacji obróbki postanowiono wykorzystać robota wyposażonego w odpowiednie narzędzia.

2. Przygotowanie danych

Jako obiekt źródłowy przyjęto fotografię portretu Tadeusza Kościuszki – patrona Politechniki Krakowskiej (rys.2.)[5]. Obiektem docelowym miała być płaskorzeźba wykonana w drewnie. Przyjęcie portretu wykonanego przez malarza, który w subiektywny sposób interpretował rzeczywistość, stwarzało dodatkowe problemy. Dlatego, przy pomocy programu *Gimp*, postanowiono zmodyfikować nieco źródło. Efekt modyfikacji przedstawia rysunek 3. Pojawiły się oczywiste różnice, ale wygładzenie krawędzi i rozmycie pewnych obszarów było konieczne do wygenerowania, w dalszej części; G-kodu. Tak przygotowana fotografia stanowiła bazę do dalszej obróbki w programie *Mastercam*. W kolejnym etapie należało określić sposób interpretowania kolorów na fotografii. Wybrano opcję odwrócenia kolorów, co wpłynęło na kierunek wyciągania powierzchni. Odwrócenie luminacji pozwoliło uzyskać model, którego tło pozostało na zerowej wysokości, natomiast poszczególne części twarzy zostały odpowiednio uwypuklone, stosownie do ich odcieni szarości. Na tym etapie modelowania można określić także rodzaj skali

szarości. Program oferuje kilka różnych sposobów zamiany kolorów na odcienie szarości.

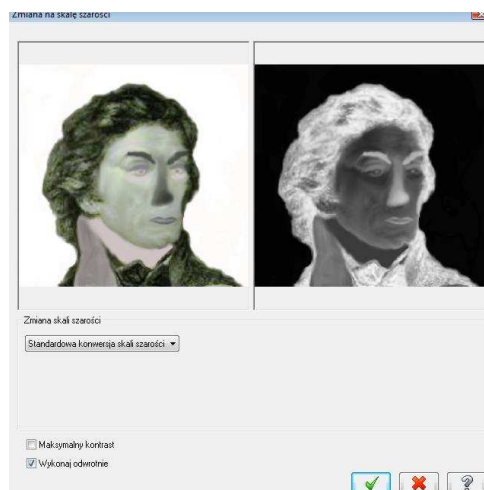


Rys.2. Portret Tadeusza Kościuszki [5]



Rys.3. Portret Tadeusza Kościuszki po modyfikacji w programie gimp

Możliwe jest np. ręczne wybranie z różnokolorowego obrazu tylko niektórych barw i zbudowanie z nich modelu. W opracowaniu tym, zastosowano standardową konwersję skali, która automatycznie konwertuje wszystkie odcienie z wczytanej grafiki. Okno z ustawieniami tych opcji zostało przedstawione na rys.4.

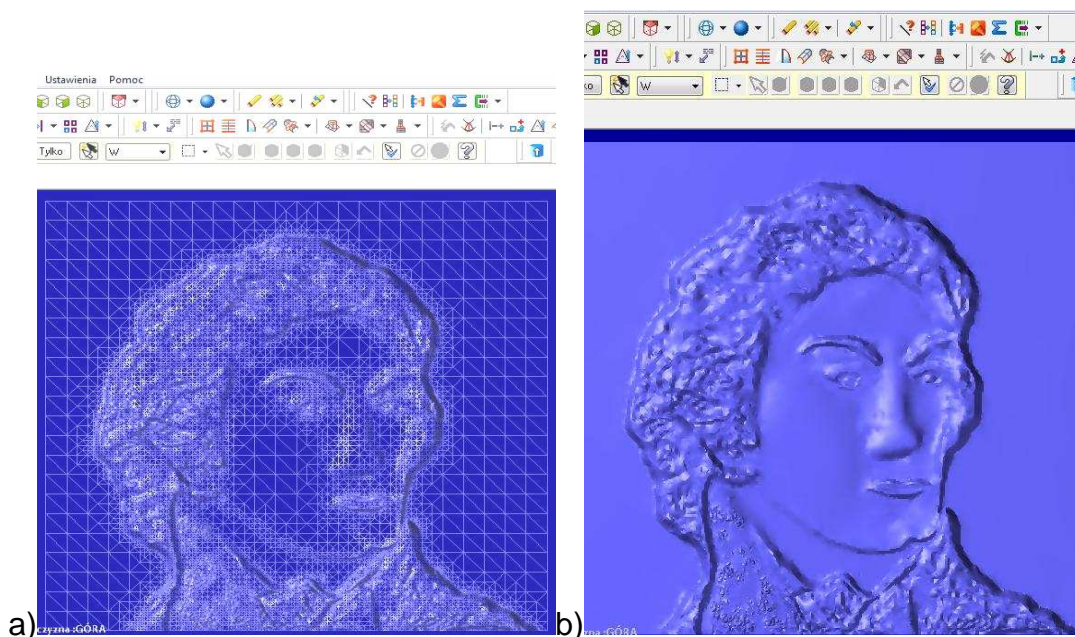


Rys.4. Okno dialogowe zamiany na skalę szarości.

Kolejnymi parametrami, które należało przyjąć, były gabaryty modelu oraz maksymalna wysokość powierzchni w osi z. Przyjęto następujące wymiary modelu: szerokość - 250 [mm], długość – 235 [mm]; maksymalna wysokość – 12 [mm].

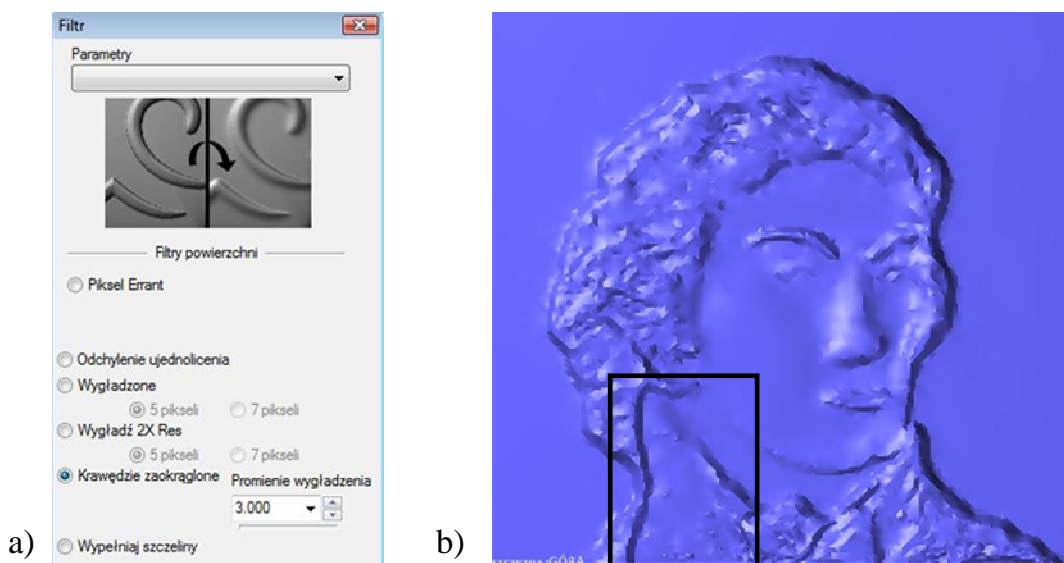
Parametr wysokościowy informuje, jaka powinna być maksymalna odległość pomiędzy pikselami o granicznej luminacji. Po wybraniu opcji dodatkowych, można także określić rozdzielczość powierzchni oraz tolerancję odcieni szarości. Zwiększenie rozdzielczości powoduje zagęszczenie siatki w modelu, natomiast zmniejszenie tolerancji cieniowania powiększa znacząco szczegółowość odwzorowania obrazu. Przy określaniu tych parametrów należy kierować się głównie doświadczeniem i brać pod uwagę późniejsze przeznaczenie budowanego modelu. Wraz ze wzrostem dokładności odwzorowania zwiększa się wielkość uzyskanego pliku, co powoduje znaczne wydłużenie czasu obliczeń w późniejszych etapach pracy z modelem. W tym przypadku, wielkości te określono na poziomie: rozdzielczość – 3, cieniowanie – 0,01. Pozwoliło to uzyskać wystarczająco szczegółowe odwzorowanie przy optymalnym czasie obliczeń.

Po zatwierdzeniu wprowadzonych ustawień program generuje siatkę złożoną z kilkudziesięciu tysięcy elementów, których ukształtowanie odwzorowuje przestrzennie wczytany obraz 2D. Rozmiar poszczególnych elementów w siatce nie jest stały i zależy od struktury powierzchni. W miejscach szczególnych, których kształt jest nieregularny, są one mniejsze i bardziej zagęszczone (rys.5.a). Używając narzędzi do teksturowania można przedstawić model w postaci jednolitej powierzchni swobodnej (rys.5.b).



Rys.5. Widok wygenerowanego modelu
a) siatki, b) modelu cieniowanego

Mimo zastosowania odpowiednio cieniowanej bitmapy utworzona powierzchnia nie jest wolna od niepożądanych, ostrych zarysów. Ich obecność może, w późniejszym etapie, powodować utrudnienia podczas wykonywania rzeczywistej obróbki. Dzięki narzędziom, jakie dostarcza środowisko modułu *Art*, możliwe jest częściowe wygładzenie newralgicznych obszarów. Służą do tego filtry dostępne z poziomu programu. Do polepszenia jakości powierzchni budowanego modelu zastosowano filtr *Krawędzie zaokrąglone* (rys.6.a), a uzyskany efekt jest szczególnie widoczny w obrębie zaznaczonego obszaru (rys. 6.b).



Rys.6. Filtracja modelu a) okno wyboru parametrów, b) powierzchnia po filtracji

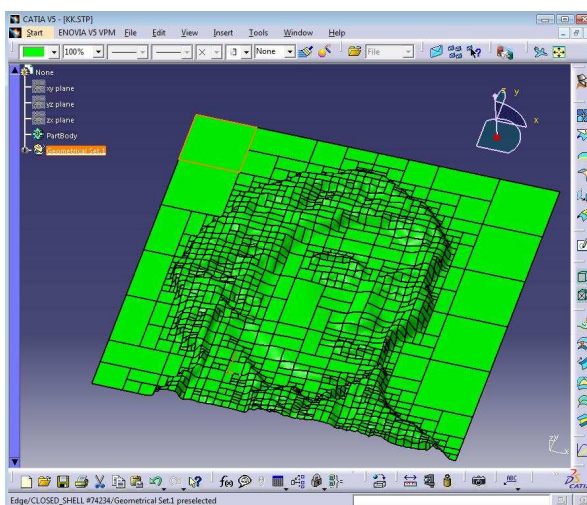
Utworzoną w ten sposób powierzchnię swobodną, można zapisać w formacie *stl*. Jednak zapisanie modelu z tym rozszerzeniem znacznie utrudnia późniejszą jego edycję w innych programach. *Art* posiada narzędzia pozwalające dopasować do powierzchni *stl* tzw. *Powierzchnię Mastercam*. Powstaje ona przez inteligentne połączenie dużej liczby niewielkich powierzchni swobodnych. Wielkość łączonych płatów nie jest stała i zależy od szczegółowości obszarów w modelu *stl*. Powstałą w ten sposób powierzchnię można zapisać m.in. do standardowego formatu STEP, który jest kompatybilny z większością programów CAD (rys. 7).



Rys.7. Utworzona *powierzchnia mastercam*.

3. Zastosowanie systemu *Catia V5* do edycji modelu i opracowania procesu obróbki

Catia V5, to uniwersalne oprogramowanie CAD/CAM/CAE, o strukturze modułowej, wspierające prace związane z modelowaniem różnorodnych produktów. Model przestrzenny zapisany poprzednio do formatu STEP należy zaimportować do programu *Catia*. Każda z utworzonych części składowych może stanowić osobną powierzchnię i być edytowana niezależnie od innych, ale tylko w połączeniu dają sensowny obraz całości. Na rys. 8. przedstawiono model po imporcie do programu *Catia*. Widoczne czarne krawędzie są efektem zdefiniowanego widoku i obrazują kształt oraz liczbę elementów składowych.



Rys. 8. Model po imporcie do Catia V5.

W dalszej części, ze względów technicznych, model został podzielony na dwa obszary: tło i twarz. Wymagało to dodatkowego podziału elementów modelu na mniejsze części. Do tego celu użyto modułu *GenerativeShape Design*. Pojawiły się problemy z identyfikacją punktów leżących na granicy obszarów, ale po uporządkowaniu informacji otrzymano obiekt (rys.9), dla którego opracowano technologię obróbki.

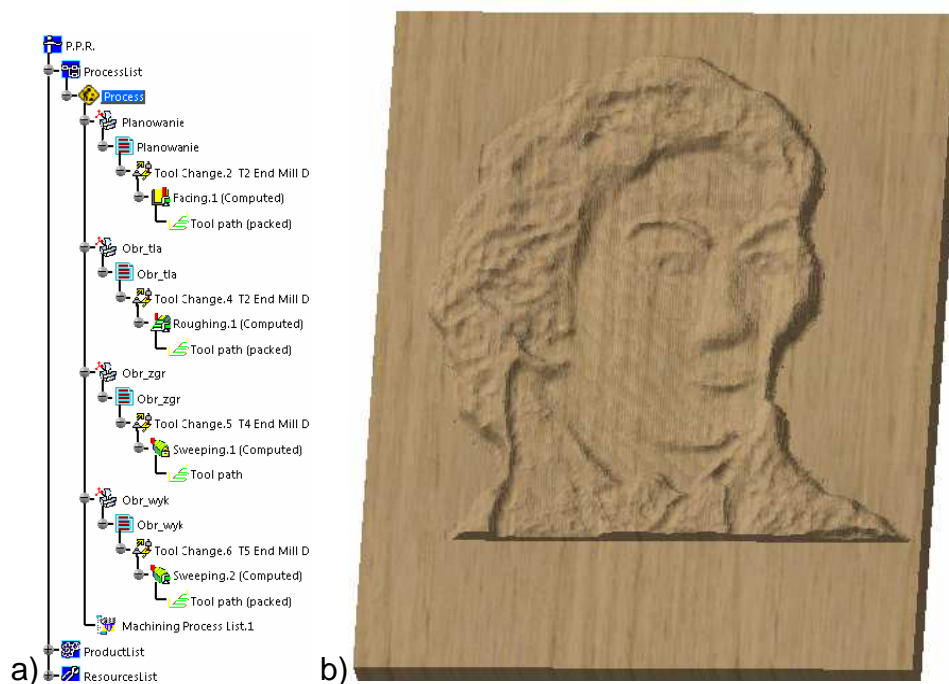


Rys. 9. Model po edycji w programie Catia V5.

Ze względu na charakter prac oraz dostępność narzędzi zdecydowano, że obróbka skrawaniem odbywać się będzie w trzech osiach sterowanych numerycznie. Cały proces technologiczny został zaprojektowany przy użyciu narzędzi modułu *Advanced Machining*. Po dobraniu odpowiednich parametrów obróbki, przekompilowano każdy etap, w celu wygenerowania ścieżek narzędzia. Umożliwiło to, przeprowadzenie symulacji procesu oraz sprawdzenie poprawności zaprogramowanej obróbki, bez konieczności angażowania prawdziwej obrabiarki. Do

kompilacji wykorzystano opcję *ToolPath Replay*, której użycie skutkuje wygenerowaniem ścieżek ruchu narzędzia.

Po ostatecznych poprawkach uzyskano możliwy do wykonania obiekt, którego drzewo procesu i symulacyjną postać przedstawia rys. 10.

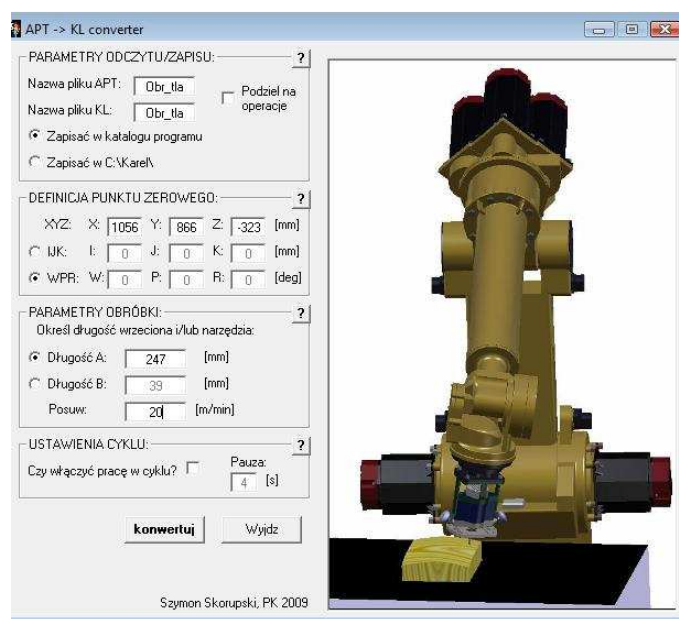


Rys. 10. Program obróbki

a) Drzewo procesu, b) Symulacyjna postać reliefu.

4. Generowanie kodu NC

Końcowym etapem pracy w module *AdvanceMachining* jest uzyskanie, dla zaprojektowanej obróbki, kodu sterującego obrabiarką CNC. W tym celu, należy w oknie dialogowym *Machine Editor* zdefiniować odpowiednie parametry. Do ich wprowadzania służy zakładka *Numerical Control*. Aby kod był zrozumiały przez sterownik maszyny, konieczne jest zdefiniowanie odpowiedniego postprocesora, który pozwoli na jego zapis w poprawnym formacie. System Catia dysponuje standardową bibliotekę postprocesorów, umożliwiającą generowanie kodów na niektóre typy obrabiarek. Nie posiada jednak odpowiedniego postprocesora dla języka *Karel*, a taki jest wymagany dla realizacji obróbki z wykorzystaniem robota *Fanuc S420F*. Dlatego generowanie kodu NC w module *AdvanceMachining* ograniczyło się do opracowania go w standardowym formacie APT. Program zapisany w tej postaci stanowił dane wejściowe dla zewnętrznej aplikacji konwertującej do formatu interpretowanego przez język *Karel* (rys. 11).



Rys. 11. Interfejs konwertera APT - *.kl

5. Fizyczne wykonanie obiektu.

Jak już wcześniej wspomniano, do realizacji obróbki postanowiono wykorzystać robota *Fanuc S420F* wyposażonego w ręczną frezarkę do obróbki drewna. Robot ten przeznaczony jest do zadań montażowych i spawalniczych, dlatego nie dysponuje wystarczającą ilością pamięci do przetworzenia dużej ilości informacji. Konieczne więc było podzielenie programu sterującego na odpowiednie porcje. Realizacja podziału jest częścią aplikacji *APT->KL converter*.

Obróbkę realizowano zgodnie z zaprojektowanym procesem, a efekty poszczególnych etapów przedstawiono na rys. 12.



Rys. 12. Etapy obróbki

6. Podsumowanie.

W artykule przedstawiono, w ogólnym zarysie, udaną próbę tworzenia modelu 3D w oparciu o „płaską” informację. Model ten stanowił źródło danych do wykonania fizycznej kopii utworzonego modelu 3D. Zastosowanie robota o bardzo dużej przestrzeni roboczej daje duże możliwości, np. przy tworzeniu form do wielkogabarytowych produktów (kajaki, łodzie). Zastosowanie kilku robotów, o ustalonych względem siebie pozycjach, jeszcze bardziej rozszerza te możliwości. Oczywistym jest fakt, że sztywność robota nie dorównuje sztywności obrabiarek specjalizowanych, ale nie zawsze jest wymagana tak wysoka dokładność.

7. Literatura.

- [1] Bis J., Markiewicz R.; Komputerowe wspomaganie projektowania CAD – podstawy; Pro-Rea, 2007.
- [2] Karbowski K., Podstawy rekonstrukcji maszyn i innych obiektów w procesach wytwarzania, Seria Mechanika, Monografia 367, Kraków 2008
- [3] Wyleżoł M., CATIA. Podstawy modelowania powierzchniowego i hybrydowego; Helion, 2003,
- [4] http://pl.wikipedia.org/wiki/In%C5%BCynieria_odwrotna
- [5] <http://info-pland.buffalo.edu/classroom/kosciuszko/olszczynski.html>

Reverse engineering, based on photographic documentation using a robot as a machine.

Abstract

The paper presents a selected method of obtaining three-dimensional model based on the photographic documentation. Its scope includes preparation of graphical images, creating a digital object using the selected software, and its correction in CAD/CAM software. The paper includes a designed machining process for created model. Used CAD / CAM software has enabled the machining process simulation, and analysis of its effects. The present work provides basis for creating a real object, and thus constitutes to one of the stages of reverse engineering. Algorithm presented in the development aims to create a robot control program, whose task will be to make physical model.

Keywords: reverse engineering, machining process, robot programming