

Paweł Dzienis ¹⁾, Andrzej Łukaszewicz ²⁾

PRZYGOTOWANIE DANYCH CAD W PROCESIE INŻYNIERII ODWROTNEJ W RZEźBIARSTWIE

Streszczenie: W niniejszym artykule został przedstawiony proces wykonania rzeźby metodą inżynierii odwrotnej, na poziomie CAD. Na ten proces składa się: skanowanie i obróbka uzyskanej siatki. Zaprezentowany został również ostateczny model wirtualny, który następnie jest użyty do wykonania rzeźby metodą CAM.

Słowa kluczowe: inżynieria odwrotna, skanowanie 3D, CAD.

WSTĘP

Techniki inżynierii odwrotnej mają coraz szersze zastosowanie [1, 2]. Wykorzystanie tych technik stosuje się również w rzeźbiarstwie. Proces tworzenia rzeźby rozpoczyna się od wykonania modelu fizycznego, który sporządzony jest najczęściej z gliny, gipsu lub plasteliny. Kolejnym etapem w metodzie tradycyjnej jest przeniesienie charakterystycznych punktów na materiał docelowy (głównie marmur), co odbywa się za pomocą maszyny punktowej. Następnie za pomocą konwencjonalnych narzędzi zdejmuje się naddatek materiału. Proces przenoszenia charakterystycznych punktów jest powielany do momentu uzyskania określonego kształtu [5]. Metoda tradycyjna jest zatem dość długa i pracochłonna, dlatego też zaczęto wprowadzać elementy metod inżynierii odwrotnej (skanowanie 3D, wytwarzanie na podstawie uzyskanych modeli wirtualnych). W pracy zostanie przedstawiony proces inżynierii odwrotnej, na przykładzie tworzenia rzeźby „Anioł”, przedstawionej na rys. 1.

Sam proces inżynierii odwrotnej polega na odkrywaniu technologicznych zasad wytworzenia istniejących już przedmiotów. Odbywa się to za pomocą analizy jego zasady działania, funkcji, kształtu oraz struktury. Dane urządzenie jest rozkładane na części pierwsze, a następnie wykorzystywane w całości, lub też w niektórych elementach w innych konstrukcjach, mechanicznych, elektrycznych, czy też w oprogramowaniach komputerowych. W metodzie tej można wyróżnić cztery podstawowe odmiany [7]:

- rekonstrukcja – odtworzenie elementu na podstawie, wykonanego modelu fizycznego,

¹ Politechnika Białostocka, Studenckie Koło Naukowe Mechaniki i Informatyki Stosowanej.

² Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej.

- ponowna dokumentacja – odtworzenie, lub stworzenie na nowo dokumentacji urządzenia, na istniejącego wzorca,
- powtórne definiowanie projektu – odtworzenie dokumentacji w celu wprowadzenia nowych rozwiązań technologicznych,
- ponowne projektowanie – analiza istniejących rozwiązań urządzenia oraz kolejna modyfikacja w celu jego udoskonalenia.



Rys. 1. Model rzeźby – wykonany z plasteliny

Fig. 1. Model sculptures – made of plasticine

Wykonanie rzeźby metodą inżynierii odwrotnej można podzielić na następujące etapy:

a) na poziomie CAD:

- proces skanowania powierzchni,
- składanie uzyskanych po skanowaniu elementów,
- obróbka uzyskanej siatki,
- modyfikacja siatki,

b) na poziomie CAM:

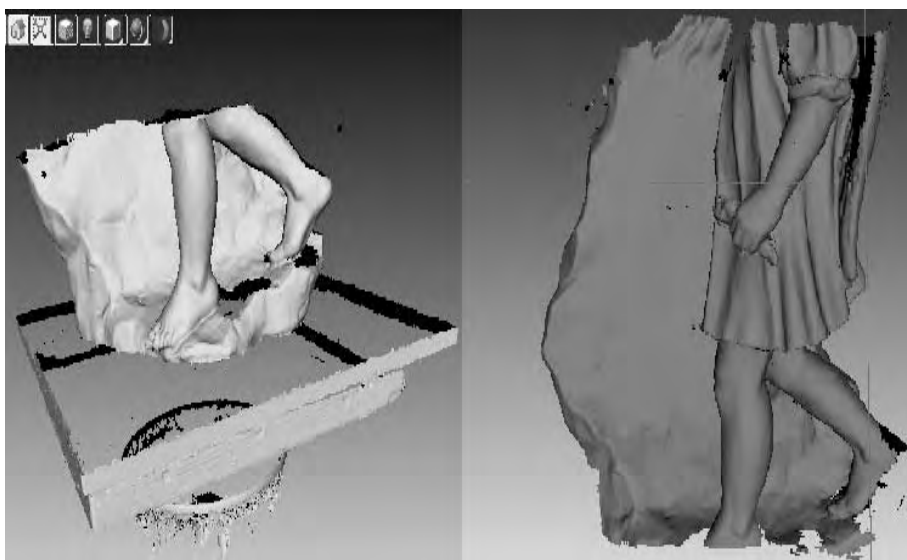
- ustalenie układu współrzędnych elementu,
- dopasowanie układu współrzędnych modelu wirtualnego i maszyny,
- wygenerowanie programu obróbkowego.

PROCES SKANOWANIA POWIERZCHNI

Do wykonania rzeźby metodą inżynierii odwrotnej potrzebne jest uzyskanie modelu wirtualnego. W tym celu wcześniej uformowany model fizyczny rzeźby, który został w tym przypadku wykonany z plasteliny, zostaje poddany procesowi

skanowania przestrzennego (dyskretyzacji). Proces dyskretyzacji polega na stworzeniu reprezentacji cyfrowej obiektu rzeczywistego, w postaci chmury punktów lub siatki punktów [3, 4].

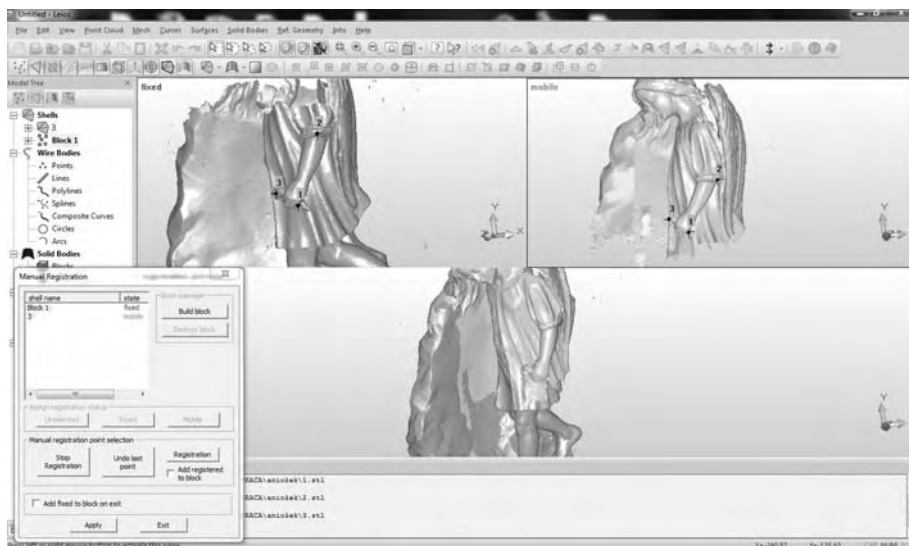
Model fizyczny rzeźby, który został przedstawiony w niniejszym artykule, jest budowany na bazie siatki elementów. Pierwszym krokiem do jego wykonania jest naklejenie znaczników, czyli markerów. Markery te pozwalają nam na dość precyzyjne ustawienie zeskanowanych powierzchni w danej przestrzeni roboczej oprogramowania skanera. Dodatkowo posiadając duży model fizyczny, nie ma możliwości wykonania skanowania całej powierzchni za jednym przejściem skanera, dlatego też skanowanie odbywa się w kilku etapach. Przykładowo najpierw zostały zeskanowane nogi anioła, następnie jego tułów i kolejne, wyżej położone warstwy (rys. 2).



Rys. 2. Części modelu wirtualnego w postaci siatki
Fig. 2. Parts of the virtual model as a grid

Każda część zapisywana jest jako oddzielna siatka, a następnie składana w jedną całość, co przedstawiono na rys. 3. Podczas tej operacji przydatne są wcześniej wspomniane markery. Im więcej naklejonych jest markerów, tym lepsza jest dokładność uzyskana podczas skanowania i składania poszczególnych części siatki, co odbywa się w oprogramowaniu skanera (Artec 3D skaner) lub w programie Leios (będącym oprogramowaniem CAD). Na potrzeby tego artykułu wykorzystany został program Leios, w stosunku do oprogramowania skanera pozwala on na składanie siatek o większej liczbie elementów, co również ma wpływ na dokładność uzyskanego odwzorowania powierzchni. Posiada on również znacznie mniejsze wymagania sprzętowe, co nie powoduje jak w przypadku

macierzystego oprogramowania skanera, spowalniania działania komputera i pozwala na przyspieszenie procesu budowy modelu wirtualnego. Kolejną zaletą programu Leios jest wprowadzenie ułatwień dla użytkownika podczas składaniu siatki, na przykład występuje numeracja łączonych ze sobą znaczników.



Rys. 3. Składanie otrzymanych części siatki
Fig. 3. Submission received parts of the grid

Po wykonaniu tych czynności uzyskujemy model, przedstawiony na rys. 4 na którym widoczne są wszystkie części siatek, co pozwala nam na ocenę jakości odwzorowanej geometrii. Na tym etapie istnieje jeszcze możliwość niewielkiej korekty położenia poszczególnych elementów.

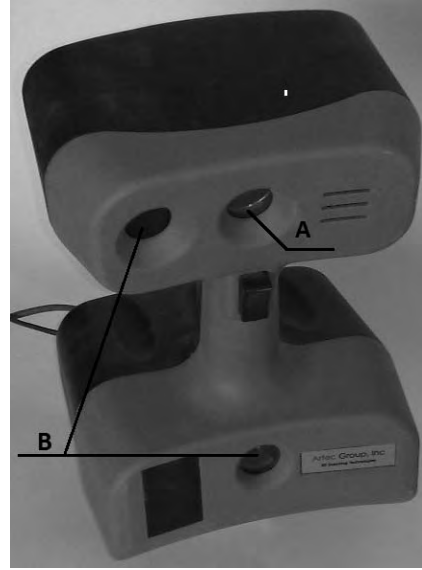
Do skanowania użyty został skaner przenośny firmy 3D Artec, przedstawiony na rys. 5 [6]. Został on połączony z przenośnym komputerem za pomocą portu USB. Pozwala on na bezstykowe skanowanie powierzchni, dzięki czemu istnieje możliwość pracy z miękkimi materiałami i nie spowoduje to zniszczenia skanowanego modelu. Działa on na zasadzie odbicia światła padającego na daną powierzchnię. Wbudowany emiter wysyła wiązkę światła białego, które po odbiciu dociera do dwóch detektorów. Wielkość skanowanego elementu obliczana jest w oprogramowaniu skanera na podstawie różnicy czasu, w jakim dociera światło po odbiciu do poszczególnych detektorów skanera. Ważnym elementem podczas pracy z tym skanerem jest utrzymywanie możliwie jak najbardziej niezmiennych odległości pomiędzy skanerem a skanowanym przedmiotem. Dość duża jej zmiana powoduje wystąpienie błędów, co prowadzi do zakończenia działania skanera, lub powstania nieprawidłowej geometrii. Należy też pamiętać o prowadzeniu skanera za stałą prędkością, to znaczy, że nie można podczas skanowania wyko-

nywać gwałtownych ruchów, co powoduje pojawieniem się większej ilości ubytków w zeskanowanej powierzchni lub pojawieniem się błędów związanych z położeniem siatki w przestrzeni roboczej.



Rys. 4. Uzyskany po skanowaniu model wirtualny

Fig. 4. The result of virtual model

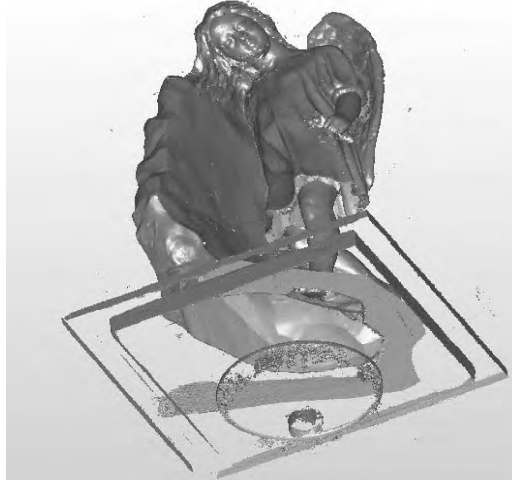


Rys. 5. Skaner użyty w pracy, A - emiter, B – detektory

Fig. 5. Scanner used in test, A - emitter, B – detectors

OBRÓBKA UZYSKANEJ SIATKI

W niektórych punktach rzeźby występują załamania, będące odwzorowaniem miejsc na rzeźbie, do których nie dociera światło wysyłane przez skaner. Widoczne jest to na uzyskanej siatce, przedstawionej na rys. 6, w postaci braków w geometrii (jaśniejsze pola). Braki te można w dość szybki sposób uzupełnić przy pomocy wcześniej przedstawionego programu komputerowego Leios. W tym celu wykorzystywane jest polecenie 'Fill Holes', które początkowo pozwala na wypełnienie niewielkich ubytków. Po wybraniu tej opcji należy zaznaczyć obszary braków geometrii, po czym potwierdzić wybór w oknie akceptacji 'fill'. Następnym krokiem jest przeprowadzenie uzupełnienia większych braków na skanowanej geometrii. Używane do tego jest to samo polecenie „Fill Holes”, jednakże takie obszary o dużej powierzchni należy uzupełniać pojedynczo. W miejscach tego typu dokłada się brakującą siatkę tak, aby pokrywała się ona z wcześniejszymi konturami, po czym dokonuje się modelowania dodanych elementów.



Rys. 6. Braki w geometrii na uzyskanej siatce
Fig. 6. Holes in the resulting grid

Na rys. 6 można zauważyć również zbędną geometrię - jest to na przykład podstawa, na której znajdował się model fizyczny rzeźby. Takie elementy należy usunąć i jest to wykonywane w tym samym programie, w którym odbywa się uzupełnianie braków geometrii siatki. Wykonywane jest to za pomocą dość znanego narzędzia - gumki, która umieszczona jest w drzewie przybornika, na pasku narzędzi.



Rys. 7. Gotowy model wirtualny
Rys. 7. Finalny prepared virtual model

Dodatkowo wykorzystywana jest tutaj funkcja usuwania niewielkich siatek, posiadających mniej elementów, aniżeli poskładany model. Po wykorzystaniu tej funkcji program sam automatycznie usuwa zbędne elementy. Jest to ostatnia, niezbędna operacja przygotowująca model do dalszych zabiegów, czyli do utworzenia programu obróbkowego. Gotowy model został zaprezentowany na rys. 7.

EWENTUALNA MODYFIKACJA KSZTAŁTU

Czasami zdarza się, że po zeskanowaniu modelu, należy wprowadzić zmiany kształtu przyszłej rzeźby lub też istnieje potrzeba dodania do niej dodatkowych elementów (np. rzeźbiony postument). Może zostać to wykonane na poziomie modelu wirtualnego, dzięki czemu nie trzeba modyfikować modelu rzeczywistego i wykonywać ponownie wcześniej opisanych operacji. W tym procesie pomocny jest zarówno program Leios (pozwalający na niewielkie zmiany geometrii), jak również można wykonać to w takim programie, jak chociażby ZBrush. Jest to program służący przede wszystkim do wirtualnego rzeźbienia. Po uruchomieniu tego programu wyświetlana jest kula, z której następnie wyciągany jest interesujący rzeźbiarza kształt. W przypadku posiadanego modelu wirtualnego rzeźby, istnieje możliwość wyeksportowania geometrii z pliku do tego programu, co powoduje, że po włączeniu programu zamiast kuli, pojawi nam się posiadany kształt. Skraca to zdecydowanie czas wytworzenia detalu.

WSPÓŁPRACA SKANERA I MODELU Z INNYMI PROGRAMAMI INŻYNIERSKIMI

Najbardziej znanym programem, współpracującym z użytym skanerem jest program SolidWorks. Środowisko SolidWorks pozwala nam zarówno na przeprowadzenie skanowania (pozwala pominąć oprogramowanie skanera), jak również obsługuje formaty pliku uzyskanego po skanowaniu (rozszerzenie „.stl”). Jednakże, aby obróbka danego modelu wirtualnego była możliwa, niezbędne jest dość znaczne uproszczenie posiadanej siatki. Należy wówczas zmniejszyć liczbę posiadanych elementów w siatce. Pliki o dużych rozmiarach powodują pogorszenie działania programu SolidWorks, co spowodowane jest dużą liczbą elementów w siatce. Innym programem pozwalającym na modyfikację geometrii jest środowisko CATIA.

WNIOSKI

Zastosowanie metod inżynierii odwrotnej w dziedzinie rzeźbiarstwa niesie ze sobą wiele korzyści. Pierwszą podstawową kwestią jest znaczne skrócenie czasu wykonania rzeźby. Czas ten skraca się nawet kilkakrotnie w porównaniu do metody tradycyjnej. Proces ten umożliwia wykonywanie prac przy kilku rzeźbach jednocześnie. Na przykład w trakcie wytwarzania rzeźby na obrabiarce CNC

można przeprowadzać skanowanie innego modelu oraz obróbkę danych. Inżynieria odwrotna w rzeźbiarstwie pozwala również ograniczyć skalę błędów, chociażby przy przenoszeniu kształtu. To wszystko prowadzi do obniżenia kosztów wytworzenia detalu. Dodatkowym atutem jest możliwość zmiany geometrii w trakcie tworzenia modelu wirtualnego (poziom CAD) oraz możliwość wielokrotnego wytwarzania modeli w różnej skali (poziom CAM). Istotną wadą w tym przypadku może być dość powolny zwrot kosztów poniesionych na zakup urządzeń i specjalistycznego oprogramowania stosowanego do tworzenia i obróbki modeli numerycznych 3D, które w dalszym ciągu są bardzo drogie.

Artykuł powstał przy współpracy, z pracownią rzeźbiarską Michała Jackowskiego przy ul. Polnej 20 15-697 Białystok.

PIŚMIENNICTWO

1. Varady T., Martin R.R., Cox J.: Reverse Engineering of Geometric Models - An Introduction, *Computer-Aided Design*, Vol. 29 (1997), p. 255-268.
2. Ke Y., Fan S., Zhu W., Li A., Liu F., Shi X.: Feature-based reverse modeling strategies, *Computer-Aided Design*, Vol. 38 (2006), p. 485-506.
3. Hyung-Min Rho, Yongtae Jun, Sehyung Park, Hoi-Ryeon Choi: A rapid reverse engineering system for reproducing 3D human busts. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Volume 51, Issue 1, 2002, Pages 139-143.
4. Seung-Woo Kim, Yi-Bae Choi, Jung-Taek Oh: Reverse engineering: high speed digitization of free-form surfaces by phase-shifting grating projection moiré topography. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 39, Issue 3, March 1999, Pages 389-401.
5. Cami Santamera: *Sculptura in pietra, Il Castello 2006*.
6. Strona internetowa Artec 3D Scanners (<http://www.artec3d.com>).
7. Eilam E.: *Reversing. Secrets of Reverse Engineering*. Wiley Publishing Inc., Indianapolis, Indiana 2005.

PREPARATION OF CAD DATA IN THE PROCESS OF REVERSE ENGINEERING IN SCULPTURE

Summary

In this article, the process of implementation of sculptures using reverse engineering in CAD modeling level was presented. There is described: the scanning process, the treatment of received grid and finally, the virtual model.

Keywords: reverse engineering, 3D scanning, CAD.