

MARCIN NOWAK\*

## PROCEDURA PRZYGOTOWANIA MODELU KOŚCI PROMIENIOWEJ, ŁOKCIOWEJ I RAMIENNEJ CZŁOWIEKA

---

### PROCEDURE OF PREPARING OF THE MODEL OF RADIUS ULNA AND HUMERUS BONES

#### Streszczenie

W artykule przedstawiono procedurę modelowania kości promieniowej, łokciowej i ramiennej człowieka. Zaprezentowano metodę przejścia z obiektu rzeczywistego do cyfrowego modelu bryłowego. Zastosowano metody inżynierii odwrotnej, to jest skanowanie współrzędnościowym ramieniem pomiarowym wyposażonym w głowice skanujące, oraz program CATIA w celu obróbki zeskanowanego modelu i nadania mu odpowiednich własności.

*Słowa kluczowe: inżynieria odwrotna, model, kości*

#### Abstract

The paper presents a procedure of modeling of the radial bone humerus bone and ulna bone of human arm. The article describes the problem of the transition from real to digital model. The subject of the research are the human forearm and arm bones, the radius, the ulna and the humerus. It was decided to create a digital model through reverse engineering techniques, using the coordinate arm equipped with set of markers for measuring geometrics, a file containing the point cloud was received, which was later on processed to the solid object by successive operation in CATIA

*Keywords: reverse engineering, model, bones*

---

\* Mgr inż. Marcin Nowak, Instytut Mechaniki Stosowanej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Po drugiej wojnie światowej zaczęto interesować się ochroną pracowników fizycznych przed szkodliwym działaniem czynników pracy. To bardzo trudne zadanie zostało rozwiązane za pomocą układów wibroizolacyjnych, które były sprawdzane wcześniej na odpowiednio dobranych modelach.

Człowiek jako organizm żywy i różnorodny jest niezwykle trudnym obiektem do zamodelowania. Trudno doszukać się modeli człowieka do badań nad jego własnościami przed XX wiekiem. Dopiero w zeszłym stuleciu wraz z szybkim rozwojem przemysłu i nauki pojawiła się potrzeba modelowania człowieka. Modelowanie ludzkiego ciała jest zadaniem skomplikowanym ze względu na wiele czynników, które muszą zostać uwzględnione, by model opisywał w przybliżeniu faktyczny stan w konkretnym układzie. Do tej pory nie udało się stworzyć uniwersalnego modelu człowieka, a tym bardziej kończyny górnej.

Tworząc model kończyny górnej, należy brać pod uwagę takie czynniki, jak rodzaj narzędzia, którym jest wykonywana praca, ułożenie kończyny oraz postawa operatora narzędzia, siła uchwytu i nacisku, rodzaj uchwytu itd. Czynniki wpływających na przebieg charakterystyk można przytoczyć jeszcze wiele, jednak do projektanta inżyniera należy ocena ich wagi. Modele, które powstały w ciągu ostatnich dekad, opisują dość dokładnie charakterystyki kończyny górnej w określonych warunkach pracy, a jednocześnie są niedokładne i dają nieprawdziwe wyniki przy innych warunkach.

W dobie rozwoju komputerów oraz technik informatycznych pojawiła się możliwość szybkiego tworzenia dokładnych modeli skomplikowanych struktur, do jakich niewątpliwie można zaliczyć ludzkie ciało. Jeżeli celem pracy będzie zaprojektowanie modelu kończyny górnej, który będzie uniwersalny w większym stopniu niż dotychczasowe modele, należy wybrać metodę modelowania, dzięki której w szybki i możliwie tani sposób otrzymamy pożądany model.

W artykule przedstawiono procedurę przygotowania wspomnianego modelu jako wytyczne przy pracach, gdy będzie potrzeba przeprowadzać badania dla każdego człowieka z osobna.

## 2. Opis kości w układzie ręka–ramię

### 2.1. Kość ramienia

Kość ramienna (Humerus) jest kością długą, zbudowaną z trzonu i dwóch końców: bliższego i dalszego. Na trzonie wyróżniamy trzy brzegi: przedni, boczny i przyśrodkowy oraz trzy powierzchnie: przednią boczną, przednią przyśrodkową i tylną. Na końcu bliższym kości ramiennej znajduje się głowa kości ramiennej zaopatrzona w powierzchnię stawową będącą częścią stawu ramiennego. Na końcu dalszym kości ramiennej, zwanym kłykiem, znajduje się bloczek kości ramiennej i główka kości ramiennej, będące odpowiednio częścią stawu ramiennie-łokciowego i ramiennie-promieniowego [1, 3, 4].

### 2.2. Kość łokciowa

Kość łokciowa (Ulna) jest kością długą, zbudowaną z trzonu i dwóch końców: bliższego i dalszego. Na trzonie wyróżniamy trzy brzegi: przedni, tylny i przyśrodkowy,

tw. międzykostny, oraz trzy powierzchnie: boczną, przednią i tylną. Na końcu bliższym wyróżniamy wyrostek łokciowy i wyrostek dziobiasty, będące częścią stawu ramiennolokciowego. Na końcu dalszym kości łokciowej znajduje się powierzchnia stawowa nadgarstkowa [1, 4].

### 2.3. Kość promieniowa

Kość promieniowa (Radius) jest kością długą położoną po stronie kciuka, stanowi część stawu łokciowego oraz stawu promieniowo-nadgarstkowego. Wyróżniamy w niej trzon oraz dwa końce: bliższy i dalszy. Trzon kości promieniowej ma trzy powierzchnie: przednią, tylną i przyśrodkową oraz trzy brzozy: przedni, tylny i boczny (międzykostny – miejsce przyczepu błony międzykostnej rozpiętej między kością łokciową i promieniową). Na końcu bliższym znajduje się głowa kości promieniowej, na jej powierzchni górnej znajduje się dołek głowy (miejsce kontaktu z kością ramieniową). Wokół głowy biegnie obwód głowy kości promieniowej (miejsce styku z bliższym końcem kości łokciowej). Głowę kości promieniowej z trzonem łączy szyjka, poniżej której po stronie łokciowej znajduje się guzowatość kości promieniowej. Na stronie przyśrodkowej końca dalszego leży wcięcie łokciowe (miejsce kontaktu z dystalną częścią kości łokciowej). Powierzchnia boczna końca dystalnego przedłuża się ku dołowi w wyrostek rylcowaty. Na tylnej powierzchni końca dalszego znajduje się guzek grzbietowy [1, 4].

## 3. Proces skanowania

### 3.1. Opis współrzędnościowego ramienia pomiarowego z zestawem do skanowania

Skanowanie modelu kości wykonano za pomocą współrzędnościowego ramienia pomiarowego firmy ROMER model ARM 2000 Omega 2025 wraz z zestawem do skanowania (głowica R-Scan) (rys. 1) i oprogramowaniem Quindos. Skanowanie obiektów odbyło się w pracowni Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej. Głowica skanująca R-Scan jest szybka i łatwa w obsłudze, 7-osiowa przeznaczona do prac związanych z inżynierią odwrotną.



Rys. 1. Współrzędnościowe ramię pomiarowe wraz z głowicą pomiarową  
Fig. 1. Coordinate measurement arm with measuring head

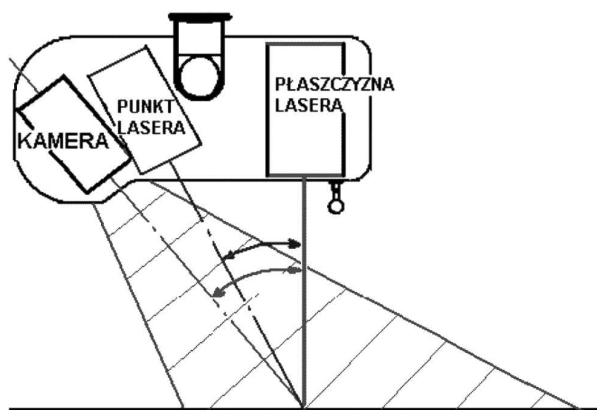
Głowica skanująca jest głowicą laserową działającą na zasadzie triangulacji laserowej. Działanie głowicy można zobrazować w następujący sposób: na badany obiekt jest

wykonywana projekcja linii lasera, której odbicie jest następnie zbierane przez czujnik umieszczony w znanym położeniu w stosunku do źródła lasera (rys. 3). Wynikowy kąt odbicia jest przetwarzany i zapisywany w programie operacyjnym jako jeden z wielu punktów pomiarowych. Metoda triangulacji laserowej charakteryzuje się dużą szybkością digitalizacji. Dokładność odczytu zależy natomiast od odległości głowicy skanera od badanego obiektu.



Rys. 2. Proces skanowania obiektu 3D za pomocą współrzędnościowego ramienia pomiarowego

Fig. 2. Scanning proces of 3D object with coordinate measurement arm



Rys. 3. Schemat działania głowicy pomiarowej

Fig. 3. Scheme of measuring head

### 3.2. Opis procesu skanowania

Kości zostały ułożone na stole pojedynczo, po czym kolejno zeskanowane z jednej strony od góry, co dało chmurę punktów połowy modelu. Następnie kość odwrócono, by skanować brakującą część. Kolejno program Quindos po podaniu charakterystycznych

punktów modelu połączył ze sobą części, tworząc jeden spójny model. W praktyce wygląda to tak, że skanując część pierwszą i drugą, można natrafić na pewne powierzchnie bądź punkty na modelu, które zostały zeskanowane na obu częściach. Na przykład może to być charakterystyczne zaokrąglenie lub szczelina itp. Określając obszar na każdej z części, który według użytkownika jest ten sam, program robi dopasowanie części modelu, tworząc jeden spójny wzór.

Chmurę punktów powstałą ze skanowania można zapisać w formacie txt lub stl. W tym przypadku wybrano ten drugi format, ponieważ jest to plik zawierający powierzchnie. Format pliku stl (*Stereolithography Interface Specification*) został opracowany jako specjalny standard do zapisu powierzchni fasetkowych. Oprogramowanie współrzędnościowego ramienia pomiarowego tworzy powierzchnie, łącząc punkty odczytane z modelu. Tu może się okazać, że pewne miejsca nie zostały poprawnie zeskanowane, co jest spowodowane dużym załamaniem promienia lasera, który nie zostaje odpowiednio odczytany. Oprogramowanie radzi sobie z tym problemem, interpolując niewypełnione przestrzenie. Przy niewielkich ubytkach narzędzie działa poprawnie, nie generując błędów. Tak przygotowane pliki można teraz obrabiać w zaawansowanych programach CAD CAM CAE. Pliki zawierają odpowiednią ilość powierzchni oraz punktów dla każdej z kości przedstawioną w postaci tabeli (tab.1)

Tabela 1

**Ilość powierzchni i punktów dla każdej z kości zapisane w plikach stl otrzymanych po skanowaniu**


Kość	Punkty	Powierzchnie
Promieniowa	42948	85882
Łokciowa	50458	100905
Ramienna	64771	129538

#### 4. Procedura zastosowania oprogramowania CATIA

W artykule zastosowano oprogramowanie CATIA V5 R17. Na początku po uruchomieniu programu należy przejść do modułu Start => Shape => Digitized Shape Editor




. W tym module pracę należy rozpocząć od zaimportowania wcześniej stworzone-

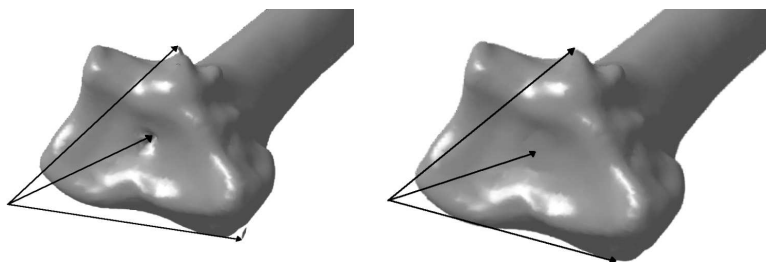
go pliku stl. W tym celu należy skorzystać z opcji Import  (rys. 4). Pojawia się okno o nazwie Cloud Import, w którym należy podać ścieżkę dostępu do pliku stl i zatwierdzić OK.



Rys. 4. Zaimportowana geometria w programie CATIA

Fig. 4. Imported geometrical model to CATIA program




Po wczytaniu się pliku przystąpiono do poprawienia modelu. Tu należy usunąć przypadkowo pozostawione części stołu lub innego otoczenia skanowanego obiektu. Jako narzędzie użyto w tym celu opcji Remove . Tę samą opcję należy wykorzystać do usunięcia błędów skanowania powstałych na samej kości. Tutaj można też pozbyć się niedoskonałości modelu rzeczywistego (rys. 5).



Rys. 5. Model przed (z lewej) i po (z prawej) edycji błędów skanowania

Fig. 5. Model before (left) and after (right) scanning errors edition



Do skanowania został użyty model kości stanowiący wcześniej część szkieletu całej kończyny górnej, gdzie poszczególne kości były ze sobą łączone za pomocą drutów. Po rozmontowaniu modelu na kościach w miejscach łączeń pozostały ślady po odwiertach, przez które przechodził wcześniej wspomniany drut łączący. Przy skanowaniu wspomniane odwierty również znalazły się na modelu przestrzennym.

Korzystając z opcji Remove, należy usunąć istniejące powierzchnie tworzące niepożądaną część, po czym za pomocą opcji Fill holes  uzupełniamy braki w modelu. Otrzymawszy już zadawalającą geometrię, należy przejść do modułu Start Shape Quick Surface Reconstruction  i użyć narzędzia Automatic Surface  (rys. 6). Ta opcja służy do naniesienia na model odpowiedniej siatki dużych powierzchni, które będą kompletnie zamykały model.

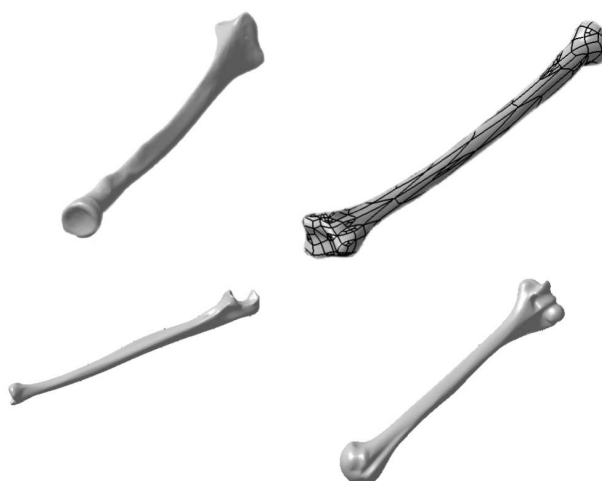


Rys. 6. Nałożenie siatki powierzchniowej

Fig. 6. Imposition of surface mesh

Następnym krokiem jest przejście do kolejnego modułu, jakim jest Start Mechanical Design => Part Design . Tu należy skorzystać z opcji Close Surface , której

użycie pozwala przejść do modelu bryłowego (rys. 7). Tak przygotowany model jest już gotowy, by poddać go analizom dynamicznym za pomocą metody elementów skończonych.



Rys. 7. Końcowy model bryłowy kości  
Fig. 7. Model of the bones at the end of procedure

## 5. Wnioski

W artykule zaprezentowano procedurę uzyskania modeli trzech głównych kości kończyny górnej. Okazało się, że proces przechodzenia z modelu o skomplikowanym kształcie z rzeczywistego na bryłowy model cyfrowy jest niezbyt czasochłonny. Daje to możliwość, przy odpowiednich nakładach sprzętowych, szybkiego tworzenia modeli, które mogą zostać później wykorzystane do wielu operacji.

Głównym powodem, dla którego podjęto się prac nad zagadnieniami opisanymi w artykule, było stworzenie obiektów do prowadzenia kolejnych badań nad kończyną górną jako obiektem dynamicznym, za pomocą którego przekazywane są na korpus człowieka wibracje pochodzące od narzędzi ręcznych. Badania te zostaną przeprowadzone z użyciem zaawansowanych programów inżynierskich opierających się na metodzie elementów skończonych. Pierwsze próby wykazały kompatybilność modeli z wieloma systemami obliczeniowymi (ANSYS, ProEngineer, Nastran, ABAQUS).

Zagadnienia inżynierii odwrotnej opisane w artykule znajdują jeszcze zastosowanie w wielu dziedzinach, również w medycynie. Przytaczając kilka przykładów, można znaleźć bardzo szerokie zastosowanie inżynierii odwrotnej w protetyce dentystycznej do projektowania oraz kolejnego wykonywania protez zębów. Innym przykładem znalezionym w literaturze [2] jest odtworzenie części czaszki pacjenta i zaprojektowanie płytki uzupełniającej ubytek.

## Literatura

- [1] Grey H., *Grey's Anatomy*, Wyd. 2, Arcturus, London 2008.
- [2] Karbowski K., *Podstawy rekonstrukcji elementów maszyn i innych obiektów w procesach wytwarzania*, Wydawnictwo PK, Kraków 2008.
- [3] Nowak M., *IV konferencja młodych uczonych – Porównanie pewnych cech drganiowych kości promieniowej przedramienia i belki pryzmatycznej o tych samych parametrach mechanicznych*, Wyd. 1, PATRIA, Kraków 2009, 145-152.
- [4] Walocho J., Skawina A., *Kończyna górna kończyna dolna*, Wyd. 1, Wydawnictwo UJ, Kraków 2003.
- [5] Wyleżoł M., *CATIA podstawy modelowania powierzchniowego i hybrydowego*, Helion, Gliwice 2003.
- [6] Wyleżoł M., *Modelowanie bryłowe w systemie CATIA przykłady i ćwiczenia*, Helion, Gliwice 2002.