

Sylwia ŁAGAN, Andrzej NIESUŁOWSKI, Katedra Mechaniki Doświadczalnej i Biomechaniki, Politechnika Krakowska, Kraków

### ZASTOSOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW WSPÓLRZĘDNOŚCIOWYCH DO PROCESÓW MODELOWANIA GEOMETRII W SYSTEMACH CAD, NA PRZYKŁADZIE KOŚCI PISZCZELOWEJ

Streszczenie. W pracy przedstawiono proces tworzenia geometrii kości długiej, przy zastosowaniu programu CATIA. Uzyskany model opracowano na podstawie pomiarów współrzędnościowych, przetworzonych wstępnie do postaci pliku formatu IGES. Przybliżono planowane zastosowania.

#### 1. WSTĘP

Ze względu na bardzo skomplikowaną geometrię, analityczne metody opisu układów biomechanicznych są bardzo trudne do przeprowadzenia. Analiza takich struktur staje się możliwa dzięki rozwojowi technik projektowania inżynierskiego wspomaganego przez wzrost mocy obliczeniowej komputerów. Zastosowanie współrzędnościowych technik pomiarowych pozwala na dyskretyzację układu, a co za tym idzie stworzenie cyfrowej matrycy nadającej się do dalszej obróbki z wykorzystaniem numerycznych metod analizy.

Metoda elementów skończonych (MES) daje możliwość wirtualnego przebadania elementu. Przykładem takich układów są zewnętrzne stabilizatory, coraz częściej stosowane podczas leczenia złamań otwartych. Analiza numeryczna pozwala ocenić wpływ ingerencji w kość oraz modelować i symulować pola naprężeń usztywnionej kończyny. Stanowi to potężne narzędzie wspomagające rozwój metod leczenia schorzeń narządu ruchu człowieka jak i wybór metod zapobiegawczych oraz terapeutycznych.

Praca ma charakter metodyczny, w celu przygotowania modelu zdrowej kości piszczeli. Kolejne etapy pracy będą polegać na określeniu wpływu wybranych metod stabilizacji złamań kości na rozkład pól odkształceń i naprężeń, celem określenia najbardziej racjonalnej metody leczenia. W pracy wykorzystano program CATIA pozwalający na import danych i obróbkę modelu do stanu umożliwiającego późniejsze zastosowanie analizy numerycznej.

#### 2. MODELOWANIE GEOMETRII KOŚCI PISZCZELOWEJ

##### 2.1. Budowa kości piszczelowej

Układ szkieletowy człowieka składa się z około 206 kości, które podpierają i ochraniają resztę narządów. Kości można podzielić na długie, krótkie, płaskie i różnokształtne. Kość piszczelową ze względu na jej budowę zaliczymy do kości długich.

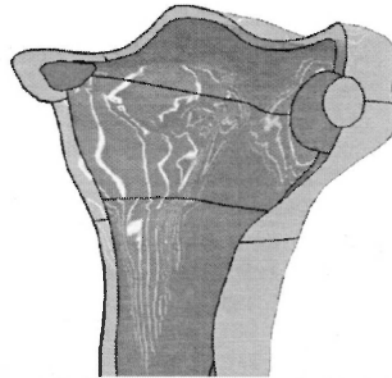
Budowa kości ma charakter kompozytowy. Podstawowymi budulcami są: kolagen nadający kości elastyczność, sole mineralne tworzące twardą strukturę z hydroksyapatytu oraz woda. Składa się z komórek kostnych (osteocytów) i z twardej substancji

międzykomórkowej przesyconej nieorganicznymi solami wapnia, zbudowanej z blaszek kostnych. Blaszkę te tworzą na powierzchni istotę zbitą [1].

Kolagen jest podstawowym budulcem organicznym kości, dzięki swojej strukturze pozwala na przenoszenie naprężeń z jednego włókna na drugie. Kości długie mają budowę warstwową. Zewnętrzna warstwa stanowiąca istotę zbitą pokryta jest okostną, która tworzy zewnętrzną gładką powierzchnię kości. Wnętrze piszczeli wypełnia tkanka mająca strukturę beleczkową (trabekularną). W części środkowej kości mają postać wydłużonego walca zwanego trzonem kości. Oba końce są rozszerzone tworząc odpowiednio koniec bliższy (część górna) oraz koniec dalszy (część dolna).

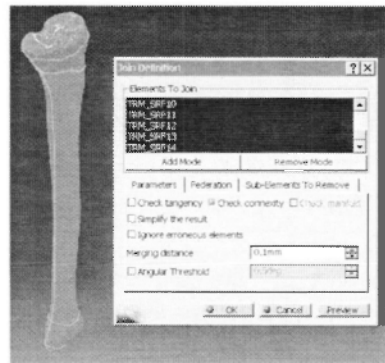
## 2.2. Tworzenie modelu kości piszczelowej

Do stworzenia modelu wykorzystano plik źródłowy wygenerowany przez maszynę pomiarową. Dane zostały zapisane w standaryzowanym formacie IGES, pozwalającym na wygodny import przez dowolny system CAD. Plik został wczytany do programu CATIA, gdzie nastąpiło początkowe zobrazowanie danych.

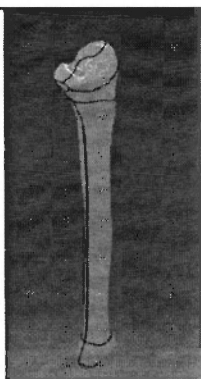


Rys.1. Wygenerowane dwie warstwy powierzchni (widok z programu CATIA)

Program wygenerował dwie warstwy powierzchni odpowiadające odpowiednio istocie zbitej oraz strukturze trabekularnej (rys.1). Aby utworzyć model struktury trabekularnej wyłączono obrazowanie warstwy istoty zbitej. Następnie połączono wszystkie powierzchnie funkcją *Join*.

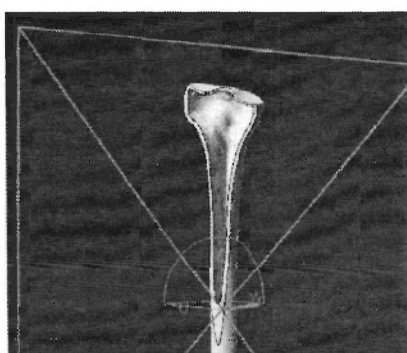


Rys.2. Operacja Join

Rys.3. Wynik operacji *Close Surface*

Operacja *Join* umożliwia wykorzystanie narzędzia *Close Surface* generującego model bryłowy z połączonych powierzchni. Analogiczny sposób postępowania został zastosowany do utworzenia modelu istoty zbitiej (rys.2 i 3).

Mając wygenerowaną część wewnętrzną, możliwe staje się sfinalizowanie modelowania powłoki zewnętrznej. Użyte w tym miejscu zostały działania bulowskie, a dokładniej działanie odejmowania brył. W efekcie uzyskano pustą w środku powłokę istoty zbitiej (rys.4).



Rys.4. Przekrój przez część korową kości

Przygotowując model do dalszej obróbki wymaga zdefiniowania danych materiałowych dla poszczególnych warstw. Do modelu zastosowano materiał jednorodny, izotropowy dla części gąbczastej jak i zbitiej [3]. Dane materiałowe ujęto w tabeli 1.

Tabela 1

	Struktura zbita	Struktura trabekularna
Moduł Younga [MPa]	18700	500
Moduł Kirchoffa [MPa]	6680	200
Współczynnik Poissone'a	0,4	0,35
Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	1850	800

Ostatecznym zakończeniem pracy nad modelem było złożenie poszczególnych brył w jeden model. Program CATIA pozwala na tworzenie złożeń poprzez wprowadzanie elementów mających tworzyć zespół i na narzucaniu więzów geometrycznych między nimi. Więzy są później wykorzystywane do tworzenia relacji między elementami podczas symulacji numerycznych.



Rys.6. Gotowy model kości

### 2.3. Przyszłe zastosowania modelu

Model kości piszczelowej znajdzie zastosowanie w analizie numerycznej stabilizacji złamanej kończyny zewnętrznymi systemami mocowań. Prace nad tym będą wymagały zastosowania modelu materiału ortotropowego oraz stworzenia cyfrowych makiet aparatów ustalających. Ciekawym zastosowaniem wydaje się również symulacja wibracyjnej metody oceny stanu kości po złamaniu.

### LITERATURA

- [1] Będziński R.: Biomechanika inżynierska. Zagadnienia wybrane. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 1997
- [2] Milewski G., Kromka M., Mazur S.: Numeryczna analiza wytrzymałościowa przebudowy kości żuchwy w zespoleniu minipłytkowym. Kraków: Politechnika Krakowska, 2002
- [3] Maslow L., Gouriou F.: Computer simulation of the biomechanical system composed of tibia and external fixative apparatus. Russia, Ivanovo: Ivanovno State University of Power Engineering

### THE APPLICATION OF COORDINATION MEASUREMENTS IN GEOMETRY BONE OF TIBIA MODELING WITH CAD SYSTEMS

Summary. The paper presents a way of creating geometry of long bone with applying CATIA software. The model was generated on the base of coordination measurements transformed firstly into IGES format file.