

**Iłona MAŃKA**, Katedra Mechaniki Stosowanej, Politechnika Śląska w Gliwicach

## MODELOWANIE KRĘGOSŁUPA CZŁOWIEKA Z IMPLANTEM

**Streszczenie:** Artykuł ten przedstawia kolejny etap prac poświęconych modelowaniu kręgosłupa człowieka z implantem przeznaczonym do korekcji skoliozy. Opisano w nim zagadnienia związane z opracowaniem modelu implantu CD HORIZON ANTARES i jego dyskretyzacją. Omówiono również sposoby zespolenia poszczególnych części implantu oraz metody wprowadzenia struktury implantu do utworzonego wcześniej modelu odcinka piersiowo - lędźwiowego kręgosłupa. Przedstawiono przykład analizy numerycznej potwierdzającej spójność opracowanego modelu.

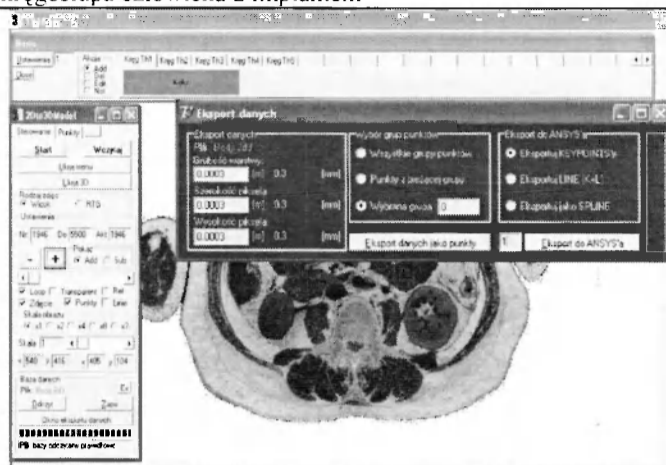
### 1. WSTĘP

Podczas analizy rozkładu odkształceń i naprężeń powstających w układzie mięśniowo-szkieletowym człowieka w wyniku działania różnego rodzaju zewnętrznych i wewnętrznych obciążeń, bardzo ważna jest jakość i dokładność geometrii modelu oraz miejsce przyłożenia sił mięśniowych i obciążeń zewnętrznych. Problem ten jest szczególnie istotny w przypadku modelowania obiektu rzeczywistego wraz z umieszczonym implantem. Dlatego też w Katedrze Mechaniki Stosowanej Politechniki Śląskiej prowadzony jest szereg prac dotyczących wyznaczania wartości sił mięśniowych kręgosłupa człowieka, modelowania jego geometrii z uwzględnieniem różnego rodzaju patologii oraz możliwości leczenia.

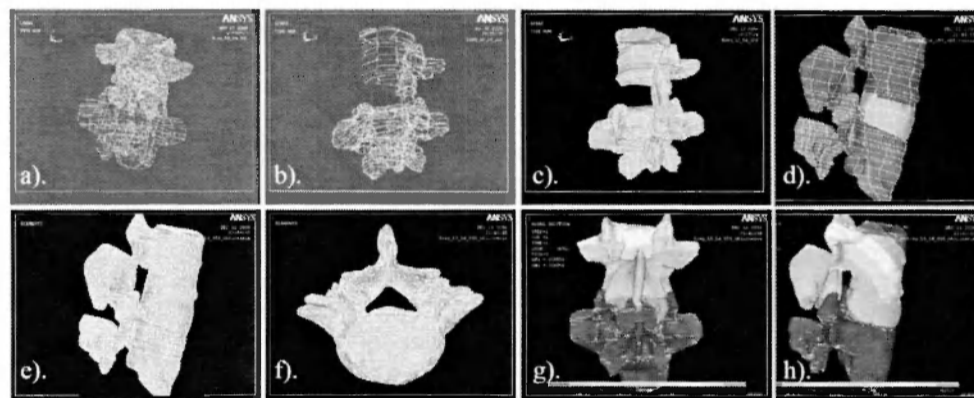
### 2. MODELOWANIE KRĘGOSŁUPA CZŁOWIEKA Z UWZGLĘDNIENIEM IMPLANTU

Modelowanie fragmentów struktur mięśniowo-szkieletowych człowieka jest procesem skomplikowanym z uwagi na konieczność odwzorowania geometrii o powierzchniach swobodnych oraz brył o złożonej topologii. Dlatego też dla modelowania geometrii struktur kostnych człowieka opracowano metodę bazującą na obrazie otrzymanym z tomografii komputerowej oraz autorskim programie Bio3DModel - rys. 1, co szczegółowo opisano w pracy [1].

Modelowanie oparte na powierzchniach utworzonych na bazie krzywych przechodzących przez zaznaczone wcześniej punkty obrysu modelowanego elementu pozwala nie tylko na wierne odtworzenie jego geometrii, ale co najważniejsze pozwala na wprowadzanie elementów skończonych o takiej wielkości jaka jest wystarczająca z punktu widzenia dokładności obliczeń numerycznych a nie jaka wynika z bardzo dużej ilości linii otrzymanych po automatycznej triangulacji skanowanego obiektu. Poszczególne etapy budowy geometrii modelu przedstawiono na rys. 2., natomiast na rys. 3 przedstawiony został widok modelu piersiowo-lędźwiowego kręgosłupa człowieka wraz z podziałem na elementy skończone.



Rys. 1. Widok autorskiego programu Bio3DModel

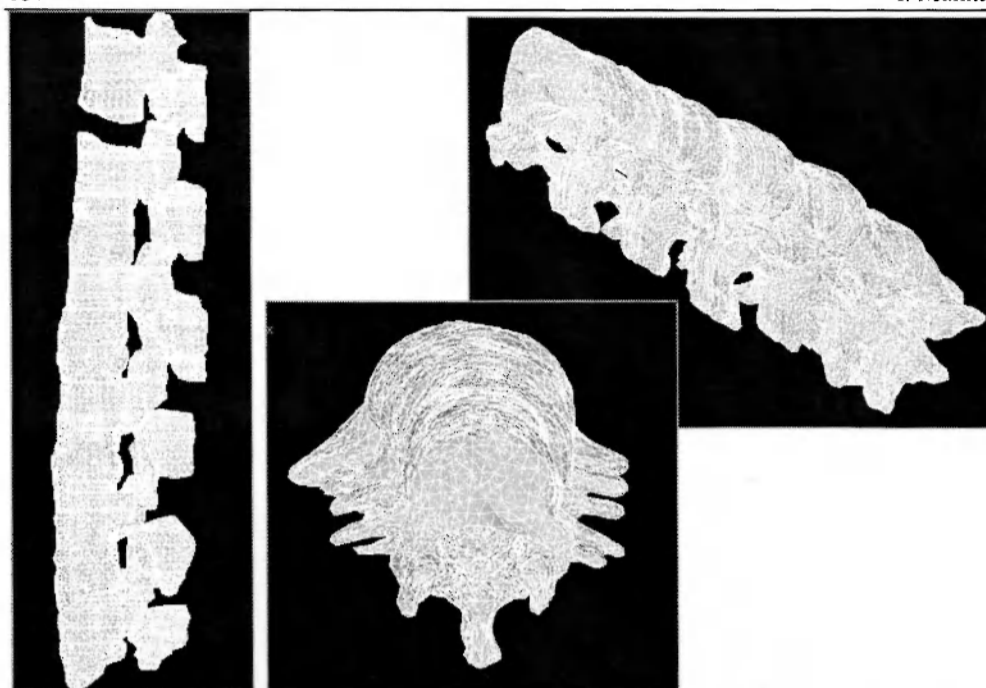


Rys. 2. Kolejne etapy budowy geometrii przestrzennej kręgów lędźwiowych oraz weryfikacja spójności modelu poddanego obciążeniom strukturalnym

Do budowy struktur kostnych modelu numerycznego kręgosłupa człowieka wykorzystano dziesięciowzłowe elementy tetragonalne typu Solid 95 o nieliniowej funkcji kształtu. Bryły modelujące implant podzielono siatką heksagonalną również z wykorzystaniem elementu typu Solid 95 lecz o 20 węzłach - rys. 5.

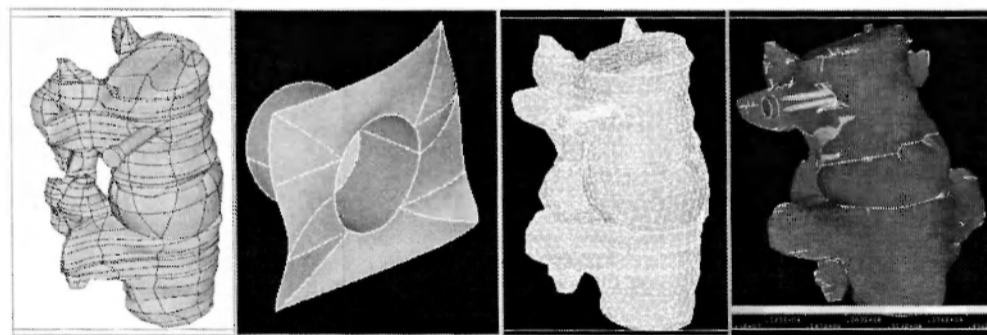
Również konieczność uwzględnienia mięśni i więzadeł, ich własności oraz zadanie odpowiednich punktów (powierzchni) przyczepu stanowi trudność na etapie modelowania.

Trudność ta wynika nie tylko z konieczności uwzględnienia sił mięśniowych poszczególnych partii mięśni, ale również z potrzeby ich wcześniejszego określenia. Metodę wyznaczania sił wybranych grup układu mięśniowego kręgosłupa człowieka przedstawiono w pracy [3]. Mięśnie zamodelowano z wykorzystaniem elementu typu link 10 z opcją "tylko rozciąganie" z jednoczesnym wprowadzeniem naprężeń wstępnych.



Rys. 3. Widok modelu przestrzennego kręgosłupa piersiowo-lędźwiowego człowieka z podziałem na elementy skończone

Kolejnym etapem modelowania struktur kostnych człowieka wraz z implantem jest uwzględnienie wzajemnych więzów pomiędzy elementami implantu tj.: połączenia prętów ze śrubami, staplerami i podkładkami. Szczególnie istotne jest połączenie, w programie wykorzystującym metodę elementów skończonych, modelu kręgosłupa z implantem tj. brył opartych na powierzchniach swobodnych z bryłami odzwierciedlającymi implant.

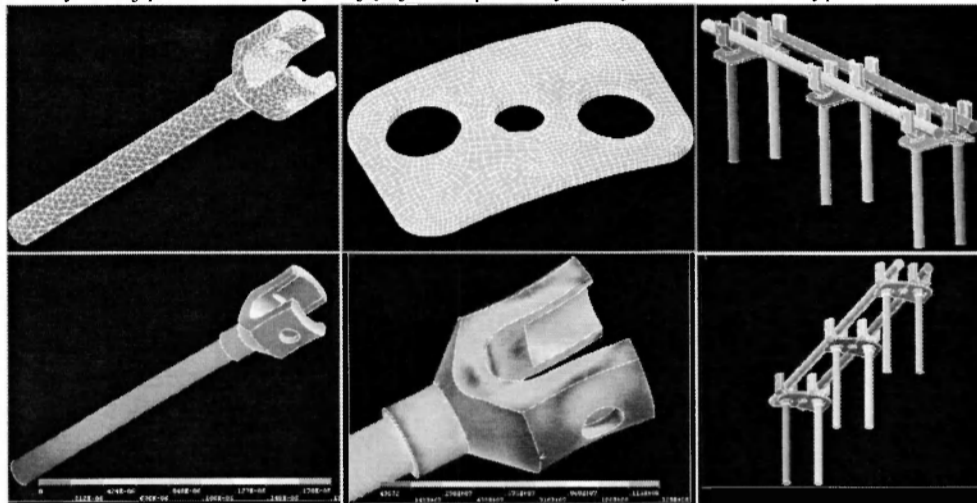


Rys. 4. Przykład wprowadzania śruby implantu w struktury kostne modelu kręgu

Połączenia te można wykonać na kilka sposobów:

- zadanie warunków kontaktowych - co powoduje wzajemne sztywne lub podatne zespolenie elementów lecz znacznie wydłuża czas obliczeń poprzez wprowadzenie nieliniowości;

- uwspólnienie powierzchni elementów będących w styku - co w przypadku brył o powierzchniach utworzonych na bazie splajnów nie jest możliwe do wykonania poprzez operacje boolowskie i należy tę operację wykonać ręcznie poprzez podział kolejnych powierzchni modelowanych brył - rys. 4;
- zadanie warunków identycznych odkształceń dla wybranej grupy węzłów;
- założenie elementów typu link - wadą tego rozwiązania jest działanie jedynie na wybranej powierzchni wynikającej z uwspólnionych węzłów elementów typu link i solid.



Rys. 5. Widok modelu implantu CD HORIZON ANTARES

W dalszych etapach pracy planuje się przeprowadzenie analiz rozkładu naprężeń i odkształceń kręgosłupa człowieka z i bez implantu poddanego obciążeniom zewnętrznym w celu określenia wpływu zmian własności mięśni oraz sposobu implantacji na zmiany sztywności modelowanego układu przy różnych stopniach skrzywienia bocznego kręgosłupa.

#### LITERATURA

- [1] Tejszerska D., Mańka I.: Modelowanie układu mięśniowo-szkieletowego człowieka w oparciu o zdjęcia pozyskane z tomografii komputerowej. Modelowanie Inżynierskie, Zakład Graficzny Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007
- [2] Mańka I.: Methodology of human body modeling on lumbar spine example. 9<sup>th</sup> International Scientific Conference Applied Mechanics 2007, Malenovice, Czech Republic, 2007.
- [3] Mańka I.: Identification of selected groups of human spine muscles. 8<sup>th</sup> International Scientific Conference Applied Mechanics 2006, Czech Republic, 2007.

#### HUMAN SPINE MODELLING WITH IMPLANT

Summary: This paper present next stage of modeling of human spine with implant. This article was presented also a few problems with modeling and method for solving it and possibility of reduction of computation time. Described also preliminary results of conducted calculations with external loads for model testing.