

Simonović A., Živković R., Obradović A., Trivković S.<sup>1</sup>

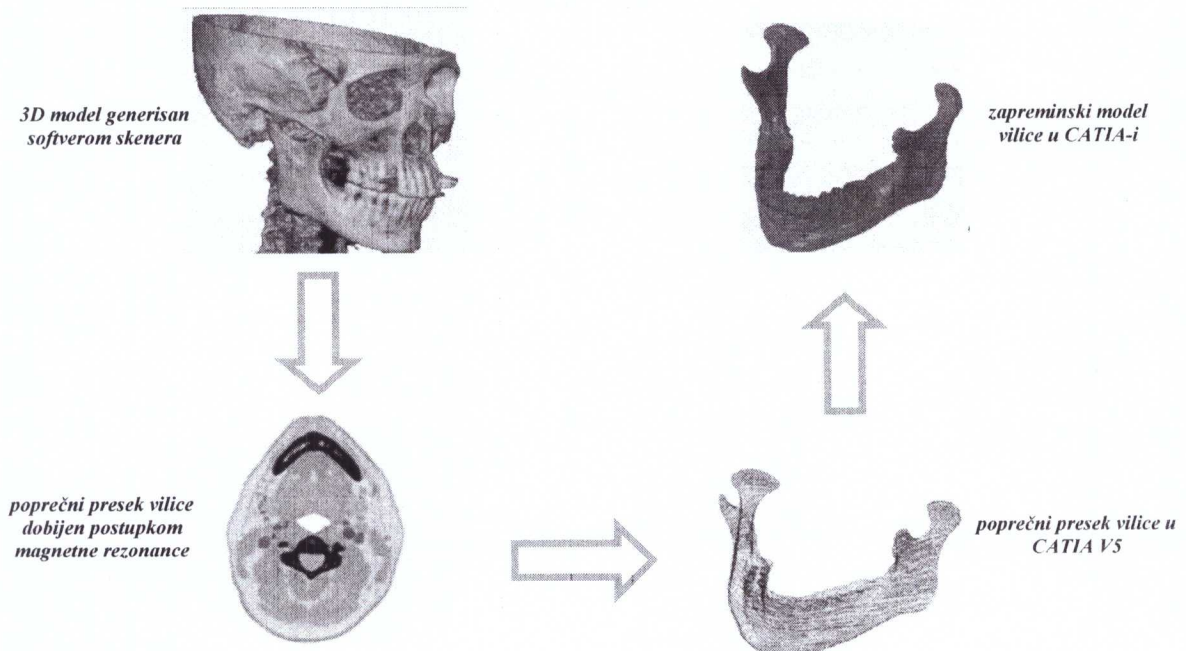
## ANALIZA NAPONSKO-DEFORMACIONIH STANJA VILIČNOG ZGLOBA

### Rezime

U radu je opisan postupak analize naponsko-deformacionih stanja spoja ljudske vilične i slepoočne kosti. Nemogućnost empirijske akvizicije nameće potrebu sprovođenja numeričke simulacije u cilju identifikacije pomeranja i naponskog stanja. Trodimenzionalni model razvijen na osnovu snimka magnetno-rezonantnog skenera predstavlja osnovu za generisanje konačnoelementnog modela viličnog spoja sa artikulacionim diskom kao najopterećenijim segmentom. Nelinearnom konačnoelementnom analizom, identifikovane su zone najvećeg opterećenja artikulacionog diska u toku kretanja vilične kosti.

### 1. UVOD

Mogućnosti određivanja naponsko - deformacionog stanja, koji se javljaju na hrskavičavim i koštanim strukutrama kao i njihovim vezivnim tkivima, prilikom kretanja su ograničene. Ponašanje viličnog zgloba tj. spoj donje vilične i slepooče kosti, kao jednog od najopterećenijih elemenata ljudskog tela, još uvek nije u dovoljnoj meri ispitano usled nemogućnosti empirijske akvizicije. Stoga je potrebno, kao doprinos malobrojnim i nepotpunim eksperimentalnim podacima, izvršiti analizu naponsko-deformacionih stanja ovog spoja, upotrebom savremenih informacionih tehnologija.



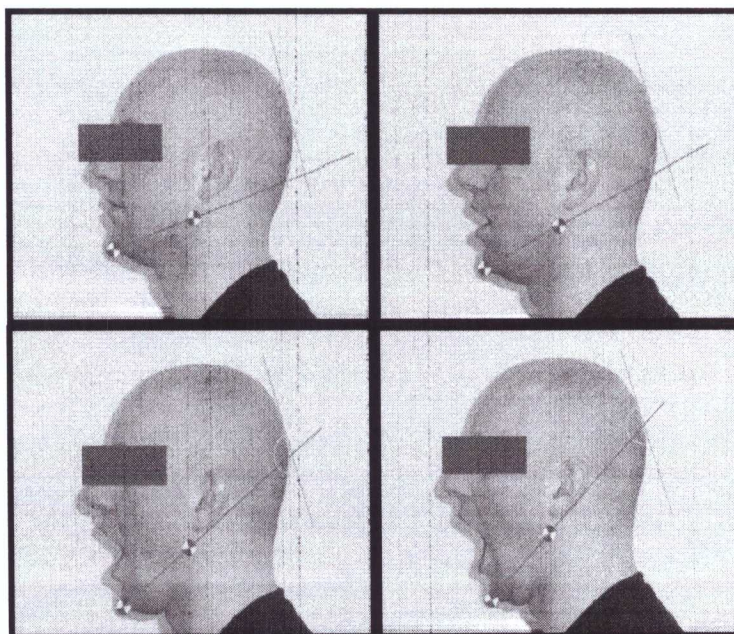
Slika 1. Proces dobijanja 3D modela vilične kosti

<sup>1</sup> dr Aleksandar Simonović, dipl. inž., Mašinski fakultet Beograd, email: [asimonovic@mas.bg.ac.rs](mailto:asimonovic@mas.bg.ac.rs)  
mr sci dr Rade Živković, Stomatološki fakultet Beograd, email: [rade\\_z@mas.bg.ac.rs](mailto:rade_z@mas.bg.ac.rs)  
prof. dr Aleksandar Obradović, Mašinski fakultet Beograd, email: [aobradovic@mas.bg.ac.rs](mailto:aobradovic@mas.bg.ac.rs)  
Srdjan Trivković, dipl. inž., Mašinski fakultet Beograd, email: [strivkovic@mas.bg.ac.rs](mailto:strivkovic@mas.bg.ac.rs)

U radu je prikazan postupak analize naponsko-deformacionih stanja viličnog zgloba koji predstavlja osnovu za detaljnija ispitivanja opterećenja složenih struktura kao što je spoj viličnih kostiju gornje i donje vilice. Izradi proračunske mreže koja predstavlja osnov za strukturalnu analizu, tj proračun napona i deformacija konačnoelementnom metodom, prethodila je izrada geometrijskog modela vilice [1]. Modeliranje ljudske kosti mandibule je izvršeno na osnovu podataka dobijenih magnetnom rezonancom, segmentnim postupkom. Kako bi se postigla potrebna tačnost softverskom obradom eliminisane su anomalije sa snimaka. Usled složenosti geometrije vilice, izrada geometrije i obrada poprečnih preseka viličnog zgloba izvršene su u AutoCad-u. Dvodimenzionalne krive dobijene ovi putem integrisane su u programski paket CATIA V5 radi izrade 3D modela i generisanja osnove konačnoelementnog modela.

## 2. ANALIZA

Simulacijom procesa otvaranja vilice izvršena je analiza naponsko-deformacionih stanja viličnog spoja metodom konačnih elemenata. Relativne promene položaja donje vilične kosti i gornje vilične kosti kao dela lobanje utiču na raspodelu polja napona unutar viličnog spoja. Određivanje relativnog kretanja kostiju gornje i donje vilice je izvršena empirijski, na bazi digitalnog snimanja (slika 2.) i obrade dobijenih rezultata.



*Slika 2. Digitalna obrada slike relativnog kretanja vilice modela*

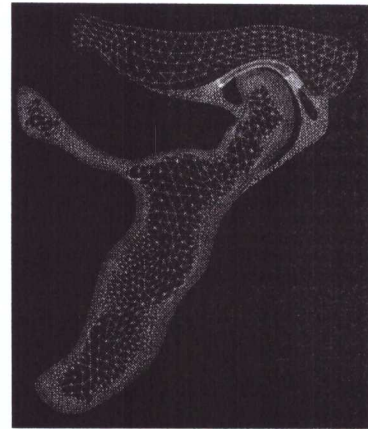
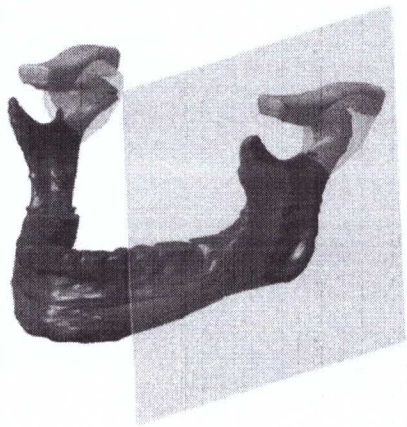
Formiran trodimenzionalni model – CAD model vilične i slepoočne kosti predstavlja osnovu za formiranje konačnoelementnog modela.

Kontaktna nelinearna analiza naponsko-deformacionih stanja elemenata viličnog spoja, izvršena je u ravni koja je paralelna sagitalno medijalnoj ravni (slika 3.), ne uzimajući u obzir bočno kretanje vilične kosti kao netipičnog pokreta.

Konačnoelementni model je formiran diskretizacijom geometrijskog preseka ravni sa donjom viličnom kosti, bilaminarnom zonom, artikulacionim diskom i delom gornje vilične kosti.

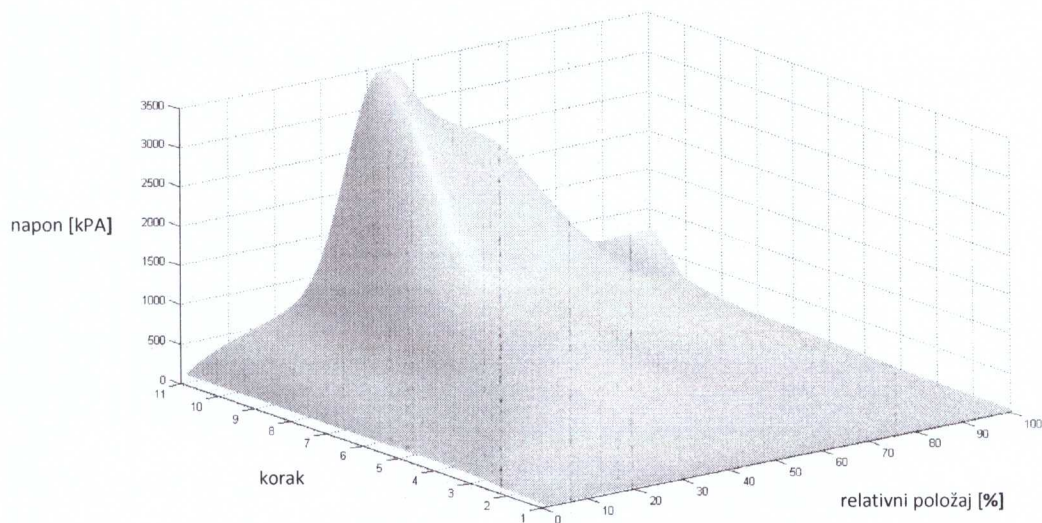
Kontinuum je diskretizovan konačnim elementima tipa trougao. Zone konačnoelementnog modela su posebno diskretizovane: spongiozni delovi gornje i donje vilice ( $E=13700$  MPa,  $\nu=0.3$ ), konrtikularni delovi gornje i donje vilice ( $E=7930$  MPa,  $\nu=0.3$ ), artikulacionog diska ( $E=44.1$ ,  $\nu=0.4$ ), bilaminarne zone ( $E=0.49$  MPa,  $\nu=0.49$ ) [4].

Analiza naponsko-deformacionog stanja spoja vilice izvršena je u 11 koraka koji odgovaraju empirijski dobijenim relativnim položajima (slika 2.)



*Slika 3. Ravan i njen geometrijski presek sa vilicom*

Analiza rezultata proračuna ukazuje na zonu koncentracije napona na artikulacionom disku kao najopterećenijem delu viličnog zgloba. Dobijeni rezultati za najopterećeniji deo viličnog spoja – artikulacioni disk prikazani su na slici 4 i to tako da je po jednoj osi zadata, vrednost ekvivalentnog napona, po drugoj relativni položaj duž artikulacionog diska i po trećoj osi je zadato 11 relativnih položaja-koraka.



*Slika 4. Rezultati analize naponsko-deformacionih stanja duž artikulacionog disk*

### 3. ZAKLJUČAK

Ovaj rad demonstrira na mogućnosti integriranja savremenih informacionih tehnologija i prednosti upotrebe savremenih kompjuterski orjentisanih metoda u složenoj problematici indentifikacije naponsko-deformacionih stanja hrskavičavih i koštanih struktura. Kompleksna geometrija vilične kosti kao i kompleksnost postupka nelinearne konačnoelementne analize zahteva generisanje fleksibilnog konačnoelementnog modela koji omogućava sprovođenje efikasne i kvalitetne nelinearne kontaktne analize uzimajući u obzir namene i cilj analize. Primenom računarski orjentisanih metoda moguće je steći uvid u naponsko-deformaciono stanje kompleksnih skeletnih struktura i u sprezi sa eksperimentalnim podacima doći do novih značajnih saznanja.

### 4. LITERATURA

1. Simonović A., Živković R., Stanojević M., Komarov D. - Geometriško modeliranje i izrada 3D modela donje vilice, 33. Jupiter konferencija 2007.
2. CATIA V5 User's Documentation, Dassault Systemes, 2003.
3. Zachowa S., Lamecker H., Elsholtz B., Stiller M. - Reconstruction of mandibular dysplasia using a statistical 3D shape model, Elsevier Science, 2005.
4. E. Tanaka, R del Pozo, M. Tanaka, D. Asai, M. Hirose, T. Iwabe, K. Tanne, Three dimensional finite element analysis of human temporomandibular joint with and without disc displacement during jaw opening, Medical Engineering & Physics 26,2004, 503-511
5. M. Beek, J.H. Koolstra, L.J. van Ruijven, and T.M.G.J van Eijden, Three dimensional Finite Element Analysis of the Cartilaginous Structures in the Human Temporomandibular Joint, Journal of Dental Research, 2001, 80,10

## STRESS-STRAIN ANALYSIS OF HUMAN JAW JOINT

### *Abstract*

*The paper describes process of stress-strain analyses of human upper and lower jaw joint. The inability of empirical acquisition imposes the need for the implementation of numerical simulation in order to identify displacements and stress state. Three-dimensional model developed on the basis of magnetic-resonance scanner is the basis for generating finite-element jaw joint model with articulatory disc as most loaded segment. Nonlinear finite-element analysis, identify most loaded areas of articulatory disc during jaw bone movement.*