



ANALIZA BIOTRIBOLOŠKIH KARAKTERISTIKA I ODNOSA IZMEĐU METALNE VOĐICE I HIRURŠKOG GAJDERA

ANALYSIS OF BIOTRIBOLOGY CHARACTERISTICS AND RELATIONSHIP BETWEEN METAL SLEEVE AND SURGICAL GUIDE

Aleksandra Mijuk, Mario Šokac, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – BIOMEDICINSKO INŽENJERSTVO

Kratak sadržaj – U ovom radu predstavljena je studija slučaja u okviru koje su, na prethodno dizajniranim varijacijama metalnih vođica kod kastomizovanog hirurškog gajdera molarne regije, izvršene statičke analize njihovog odnosa primenom metode konačnih elementata. Takođe je analiziran i tribološki uticaj u vidu analize parametara površinske hrapavosti metalne vođice. Na osnovu rezultata u okviru ovog istraživanja zaključeno je da su evidentirane razlike kod različitih dimenzija vođica, ali da ne dolazi do pojave značajnijih napona i opterećenja prilikom postavljanja vođice u gajder.

Ključne reči: hirurški gajder, metalna vođica, MKE, reverzibilno inženjerstvo

Abstract – This paper presents a case study in which relationship of previously designed variations of metal sleeves for a customized surgical guide of the molar region was analyzed using static analysis by finite element method. The tribological influence was also analyzed in the form of an analysis of the parameters of the surface roughness of the metal sleeve. Based on the results of this research, it was concluded that there are no significant stresses and strains when placing the metal sleeve in the surgical guide.

Keywords: surgical guide, metal sleeve, FEM, reverse engineering

1. UVOD

Biomedicinsko inženjerstvo je interdisciplinarna grana inženjerstva koja se kreće od teorijskih, ne-eksperimentalnih poduhvata do vrhunskih aplikacija.

Pojam biomedicinskog inženjerstva definiše se kao razvoj i primjena inženjerskih nauka u svrhu boljeg razumijevanja fiziologije i patofiziologije, kao i dijagnoze i tretmana povreda i bolesti [1]. Biomedicinski inženjeri primjenjuju električne, mehaničke, hemijske, optičke i druge inženjerske principe za razumijevanje, modifikovanje ili kontrolu bioloških sistema, kao i za dizajn i proizvodnju proizvoda koji mogu pratiti fiziološke funkcije i pomaže u dijagnostici i liječenju pacijenata [1].

Jedna od tehnologija biomedicinskog inženjerstva koja doživljava ekspanziju jeste tehnologija reverzibilnog inženjerstva (engl. Reverse Engineering - RE), odnosno tehnologija reverzibilnog inženjerskog dizajna. RE danas, zahvaljujući razvoju metoda i sistema za 3D digitalizaciju, predstavlja vrlo važan alat u oblasti medicine i stomatologije, kako za dijagnostičke i reparativne, tako i za terapijske namjene [2]. Digitalni 3D model je postao veoma važan u ovoj oblasti pošto je na osnovu istog, a uz pomoć savremenih alata i tehnologija za dizajn i izradu, moguća proizvodnja fizičkih anatomskih modela koji imaju dijagnostičke, terapijske i rehabilitacione medicinske primjene [2]. Hirurški gajder omogućava predvidljivu i bezbednu minimalno invazivnu operaciju.

Rječnik protetskih termina definiše hirurški šablon kao vodič koji se koristi za pomoć u pravilnom hirurškom postavljanju i ugaonosti zubnih implantata. Glavni cilj hirurškog šablona jeste da usmjeri sistem bušenja implantata i obezbedi tačno postavljanje implantata prema planu hirurškog liječenja [3].

2. METODE ZA ANALIZU TRIBOLOŠKIH KARAKTERISTIKA U OBLASTI BIOMEDICINSKOG INŽENJERSTVA

Danas se za potrebe sprovođenja biotriboloških analiza koriste različiti pristupi i metode. Jedna od takvih metoda jeste i metoda konačnih elemenata (MKE, engl. *Finite Element Method - FEM*) koja spada u savremene metode numeričke analize. Za razliku od ostalih numeričkih metoda, koje se zasnivaju na matematičkoj diskretizaciji jednačina graničnih problema, MKE se zasniva na fizičkoj diskretizaciji razmatranog područja. Umjesto elementa diferencijalno malih dimenzija, osnovu za sva proučavanja predstavlja deo područja konačnih dimenzija, manje područje ili konačni element. Zbog toga su osnovne jednačine pomoću kojih se opisuje stanje u pojedinim elementima, a pomoću kojih se formuliše i problem u cjelini, umjesto diferencijalnih ili integralni, obične algebarske.

Sa stanovišta fizičke interpretacije, to znači da se razmatrano područje, kao cjelina sa beskonačno mnogo stepeni slobode, zamjenjuje diskretnim modelom međusobno povezanih konačnih elemenata, sa konačnim brojem stepeni slobode. S obzirom na to da je broj diskretnih modela za jedan granični problem neograničeno veliki, osnovni zadatak je da se izabere onaj model koji najbolje aproksimira odgovarajući granični problem [4].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji je mentor bio doc. dr Mario Šokac.

Osnovni princip na kojem se zasniva MKE, sastoji se u podjeli razmatranog područja na konačan broj manjih područja, odnosno elemenata, tako da se analizom pojedinih elemenata, uz pretpostavku o njihovoj međusobnoj povezanosti, analizira cjelina [4].

MKE se može shvatiti kao metoda numeričke analize u okviru koje se definiše način prevođenja kontinuiranih fizičkih sistema u diskretne, odnosno način formiranja sistema algebarskih jednačina pomoću kojih se aproksimira određeni konturni zadatak [4].

2.1. Primjena MKE u oblasti biomedicine

Ekspanzija primjene računarski podržanih tehnologija u medicini ogleđa se i u upotrebi računarskih modela za potrebe simulacije funkcionisanja koštano-zglobnog sistema. Ovakav pristup olakšava planiranje operativnih zahvata i omogućava izradu implantata ili nadogradnje kostiju po mjeri pacijenta. Stoga se u posljednje vrijeme javlja i veliki broj multidisciplinarnih projekata, na kojima su u isto vreme angažovani istraživači tehničke i medicinske struke.

Ovakva analiza se može koristiti za procjenu izdržljivosti zdrave kosti ili kosti koja je oštećena mehaničkim putem (prelom) ili degenerativnim procesima (npr. osteoporozom) [5].

Osim u hirurgiji koštano-zglobnog sistema, FEM je pronašla svoju primjenu i u ortopediji, gdje se može ispitati izdržljivost implantata, ali i u maksilofacijalnoj hirurgiji, gdje ovaj pristup omogućava izradu kompleksnih oblika implantata, koji bi trebalo da budu u visokom stepenu usaglašeni sa anatomijom površine vilice.

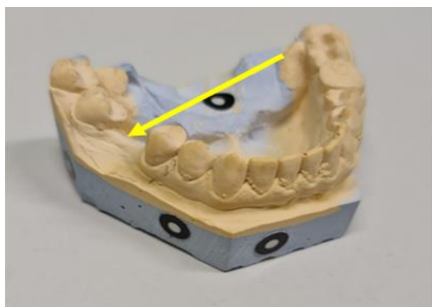
Da bi se potvrdila mogućnost primjene u praksi, sve prethodno navedeno je primjenjeno i testirano u konkretnom slučaju operacije maksilofacijalne osteotomije [6].

3. ANALIZA BIOTRIBOLOŠKIH KARAKTERISTIKA I ODNOSA IZMEĐU METALNE VOĐICE I HIRURŠKOG GAJDERA

Uzimajući u obzir kompleksnost dizajna hirurškog gajdera usljed njegove geometrije, u okviru ovog master rada je prikazan u kratkim fazama ceo proces dizajna hirurškog gajdera, a koji je detaljnije prikazan u [7].

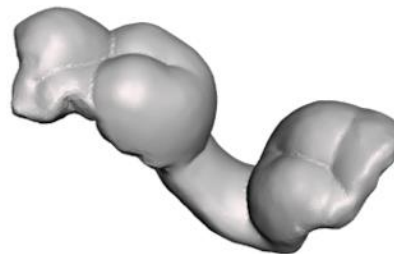
3.1. Dizajn i izrada kastomizovanog hirurškog gajdera

Postupak dizajna hirurškog gajdera sastoji se od nekoliko koraka. Prvi korak u okviru ove studije slučaja predstavlja odabir fizičkog modela gipsane donje vilice na kojoj je došlo do izražene resorpcije alveolarnog grebena u molarnoj regiji usljed nedostatka zuba (slika 1) [7].



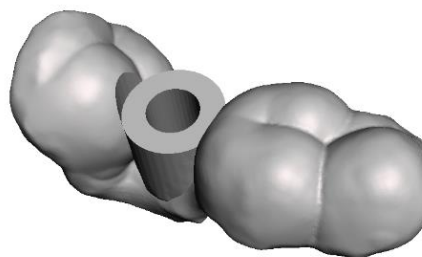
Slika 1. Fizički model donje vilice [7]

Nakon toga sledi postupak 3D digitalizacije, koja se u ovom slučaju vršila sa ručnim 3D skenerom. Na bazi rezultata 3D skeniranja je rekonstruisan površinski 3D model donje vilice, a na osnovu koje će se vršiti dizajniranje hirurškog gajdera molarne regije primenom niza alata koji se koriste za potrebe digitalnog vajanja. Nakon što se dobije tijelo hirurškog gajdera sprovodi se dalji postupak dizajniranja. Dizajn tijela hirurškog gajdera je prikazan na slici 2 [7].



Slika 2. Dizajn tijela 3D modela hirurškog gajdera [7]

Nakon dizajna tijela hirurškog gajdera, definiše se odgovarajuća pozicija otvora za metalnu vođicu. Ovaj korak predstavlja multidisciplinarni korak koji se sprovodi u saglasnosti s medicinskim timom. Na mjestu gdje nedostaje zub, postavlja se baza u vidu cilindra, a potom na bazu postavlja se drugi cilindar manjeg prečnika koji će se pomoću Bulovih operacija (oduzimanje) ukloniti i samim tim stvoriti rupu na bazi koja predstavlja mjesto za postavljanje metalne vođice. Za potrebe ovog master rada, urađene su dvije varijacije prečnika metalne vođice, manji od 3 mm i veći od 4 mm. Dizajnirani površinski 3D model hirurškog gajdera prikazan je na slici 3 [7].



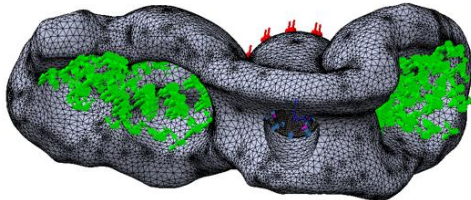
Slika 3. Finalni 3D model hirurškog gajdera [7]

Kao finalni korak je takođe i sprovedena verifikacija 3D modela hirurškog gajdera primenom aditivnih tehnologija 3D štampe.

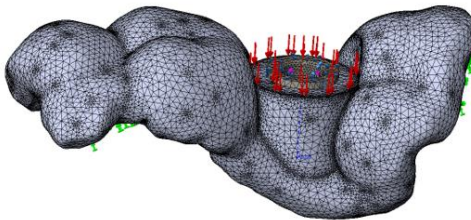
3.2. Analiza konačnih elemenata metalne vođice kod hirurških gajdera molarne regije

U okviru ovog dijela izvršena je analiza metodom konačnih elemenata na dizajnirane dvije varijacije prečnika metalne vođice kod hirurških gajdera. Radi sprovođenja adekvatne analize primjenom MKE, potrebno je izabrati materijal od koga će se svi elementi sklopa izraditi iz unaprijed definisane baze podataka materijala koja se nalazi u okviru softvera. Materijal koji je primjenjen na tijelo hirurškog gajdera je polimetilmetakrilat - PMMA (engl. *Poly Methyl Methacrylate*), dok je za metalnu vođicu korišćen nerđajući čelik.

Nakon što su izabrani odgovarajući materijali, naredni korak predstavlja definisanje oslonca na 3D mesh modelima. U oba slučaja oslonci su postavljeni na površina kontakta hirurškog gajdera i zubnih krunica, kao što je to prikazano na modelu prečnika 3 mm na slici 4., dok je naredni korak definisanje mjesta opterećenja i vrijednost parametara opterećenja za metalnu vodiču prikazano na slici 5 (crvene strelice). Kao parametri opterećenja definisana je sila 0.02 nm i pritisak od 0.2 MPa na osnovu date literature [8].

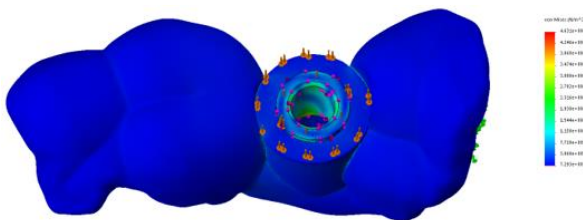


Slika 4. Definisani oslonci

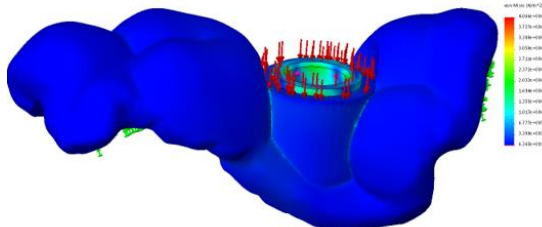


Slika 5. Definisano mjesto opterećenja

Nakon što su svi parametri definisani, sljedeći korak predstavlja sprovođenje statičke analize. Dobijeni su rezultati Von Mises-ovih napona koji su prikazani na slici 6a za prečnik metalne vodiče od 3 mm, i 6b za prečnik metalne vodiče od 4 mm.



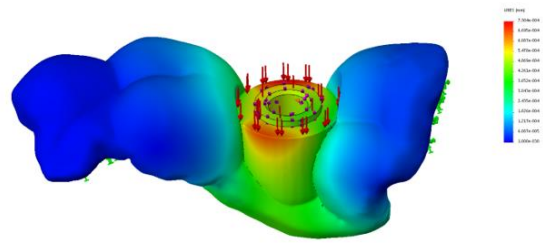
a)



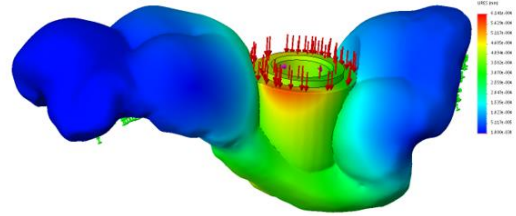
b)

Slika 6. Von Mises-ovi naponi za prečnik vodiče a) 3mm i b) 4mm

Zatim su određeni pravci pomjeraja hirurškog gajdera pod dejstvom sile koja djeluje na metalnu vodiču, prikazani na slici 7a i 7b za oba prečnika metalne vodiče.



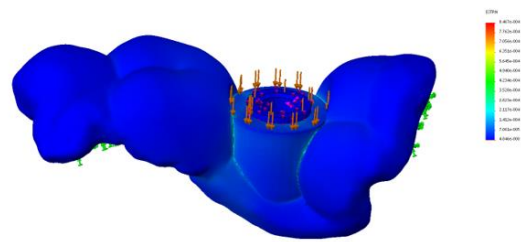
a)



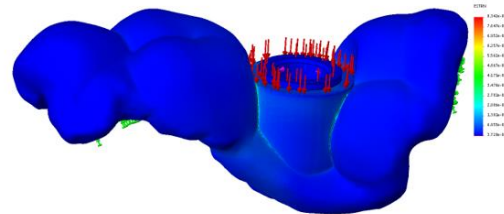
b)

Slika 7. Analiza pomjeraja hirurškog gajdera za prečnik vodiče a) 3mm i b) 4mm

Dobijeni rezultati na skali za ekvivalentni napon pokazuju da dolazi do minimalne pojave ekvivalentnog napona kod obe varijacije modela, ali ipak prisutnih u većoj mjeri kod vodiče sa prečnikom od 4 mm, što se može vidjeti na slici 8a i 8b za oba prečnika metalnih vodiča.



a)



b)

Slika 8. Analiza ekvivalentnog napona hirurškog gajdera za prečnik vodiče a) 3mm i b) 4mm

Uzimajući u obzir da su korišćena dva različita prečnika metalnih vodiča u okviru ove analize, na osnovu rezultata dobijenih pomoću MKE može se vidjeti da postoji određeni uticaj u zavisnosti od izbora dimenzija metalnih vodiča za njihovu primjenu kod hirurških gajdera.

3.3. Analiza triboloških karakteristika u vidu površinske hrapavosti metalne vodiče

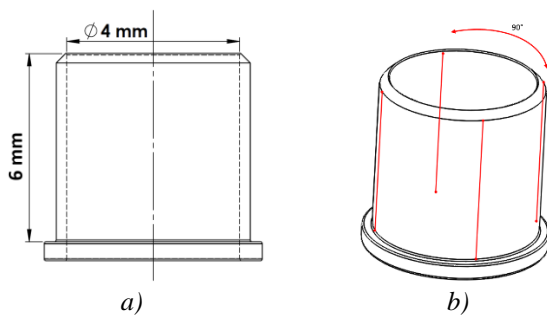
Kako bi se dobio bolji uvid u odnos između metalne vodiče i otvora u hirurškom gajderu, sprovedeno je mjerenje površinske hrapavosti metalne vodiče primjenom uređaja *MarSurf PSI* (Slika 9).



Slika 9. Uređaj za mjerenje hrapavosti MarSurf PSI

Parametri izmjereni za potrebe ove studije slučaja su srednje aritmetičko odstupanje profila (Ra) i maksimalna visina hrapavosti (Rmax).

Korišćena je metalna hirurška vođica sa dimenzijama prikazanim na slici 10a. Izvršena su četiri mjerenja profila hrapavosti površine na rastojanju od 90° na dužini mjerenja od 5.6 mm (Slika 10b).



Slika 10. Dimenzije vođice i mjesta merenja profila hrapavosti

Dobijeni rezultati za mjerenje srednjeg aritmetičkog odstupanja profila su prikazani u tabeli 1, dok su rezultati mjerenja maksimalne visine hrapavosti prikazani u tabeli 2. Na osnovu ovih rezultata može se vidjeti kako profil hrapavosti, usled niskih vrednosti, nema uticaj na pozicioniranje vođice u hirurški gajder, što omogućava njegovu primjenu.

Tabela 1. Rezultati mjerenja srednjeg aritmetičkog odstupanja profila

Br. mjerenja	Ra (μm)
1.	0.651
2.	0.876
3.	0.901
4.	1.028

Tabela 2. Rezultati mjerenja maksimalne visine hrapavosti

Br. mjerenja	Rmax (μm)
1.	5.04
2.	7.25
3.	7.73
4.	11.40

4. ZAKLJUČAK

U radu je opisana primjena reverzibilnog inženjerskog dizajna u oblasti biomedicine, a zatim je izvršena i analiza triboloških karakteristika kao i uticaja dimenzija metalne vođice kod hirurškog gajdera primjenom metode konačnih elemenata i analizom površinske hrapavosti. Na osnovu sprovedenih rezultata istraživanja omogućen je bolji uvid u ponašanje i odnos između metalne vođice i gajdera, i na koji način utiče veličina prečnika vođice prilikom dizajniranja hirurškog gajdera. Na osnovu rezultata može se videti da prečnik ima uticaj na hirurški gajder usljed redukcije zida vođice. Buduća istraživanja će se baviti analizom temperaturnih promjena koje se odvijaju između metalne vođice i hirurškog gajdera tokom hirurškog zahvata.

5. LITERATURA

- [1] Bronzino, J.D., Peterson, D.R., "The Biomedical Engineering Handbook, Third Edition", CRC Press, 2006.
- [2] I. Budak, "Reverzibilni inženjerski dizajn – preprocesiranje rezultata 3D digitalizacije", Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2019.
- [3] F. Rengier, A. Mehndiratta, H. von Tengg-Kobligk, C.M. Zechmann, R.Unterhinninghofen, H.U.Kauczor, F.L.Giesel, "3D printing based on imaging data: review of medical applications", *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, vol. 5, pp. 335-341, 2010.
- [4] https://www.academia.edu/31334775/Metoda_konacnih_elementa_Uvod (pristupljeno oktobar 2022.)
- [5] N. Korunović, M. Trajanović, M. Mitković, and S. Vulović, "Od CT snimka do modela za analizu naponskog stanja u femuru primenom metoda konačnih elemenata," *IMK-14 - Istraživanje i razvoj*, vol. 16, no. 2, pp. 45-48, 2010.
- [6] M. Šljivić, M. Stanojević, D. Đurđević, N. Grujović, A. Pavlović, "Implementacija MKE metode i rapid prototajpinga u maksilofacijalnoj hirurgiji", *FME Transactions*, vol. 44, no. 4, pp. 422-429, 2016.
- [7] A. Mijuk, "Dizajn i izrada kastomizovanog hirurškog gajdera molarne regije primjenom reverzibilnog inženjerstva, diplomski rad", Novi Sad 2021.
- [8] V. Arora, S. Kumar, P. Kalra, A. Goyal, "Finite element analysis of dental implant surgical guides", *Materials Today: Proceedings*, vol. 56, no. 5, pp. 3137-3141, 2022.

Kratka biografija:



Aleksandra Mijuk rođena je u Novom Sadu 1997. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Biomedicinsko inženjerstvo odbranila je 2022.god.
kontakt: aleksandramijuk@hotmail.com



Mario Šokac rođen je u Somboru 1989. god. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2019. god., a od 2020. god. je zvanju docenta. Uže oblasti interesovanja su reverzibilni inženjerski dizajn, metode 3D digitalizacije i dizajn biomedicinskih modela.