

**UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA**

Autori:

Dr Slobodan Tabaković, docent

Dr Zoran Milojević, docent

Dr Milan Zeljković, redovni profesor

Mr Aleksandar Živković, asistent

Mr Jovan Grujić, dipl. maš. inž.

**PROGRAMSKO REŠENJE ZA PROJEKTOVANJE
TELA ENDOPROTEZE ZGLOBA KUKA**

- TEHNIČKO REŠENJE -

Novi Sad, 2012. godine

Podaci o tehničkom rešenju

Vrsta tehničkog rešenja	M-85: Prototip, nova metoda, softver, standardizovan ili atestiran instrument, nova genetska proba, mikroorganizmi
Autori tehničkog rešenja	Autori: Dr Slobodan Tabaković, docent Dr Zoran Milojević, docent Dr Milan Zeljković, redovni profesor Mr Aleksandar Živković, asistent Mr Jovan Grujić, dipl. maš. inž.
Naziv tehničkog rešenja	PROGRAMSKO REŠENJE ZA PROJEKTOVANJE TELA ENDOPROTEZE ZGLOBA KUKA
Za koga je rađeno tehničko rešenje	Programsko rešenje za projektovanje tela endoproteze zgloba kuka je razvijeno za potrebe istraživanja koja se sprovode na Fakultetu tehničkih nauka u okviru projekta „Savremeni prilaz u razvoju specijalnih rešenja uležištenja u mašinstvu i medicinskoj protetici” ev. broj TR 35025 i za potrebe projektovanja endoproteza u preduzeću „Грујић i Grujić” iz Novog Sada
Ko koristi tehničko rešenje	Programsko rešenje se koristi za potrebe istraživanja i nastave na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu i za potrebe projektovanja endoproteza u preduzeću „Грујић i Grujić” iz Novog Sada
Godina izrade tehničkog rešenja	2012.
Verifikacija rezultata	Od strane recenzenata: Prof. dr Zora Konjović Prof. dr Goran Devedžić
Ko je prihvatio tehničko rešenje	Nastavno-naučno veće Fakulteta tehničkih nauka iz Novog Sada
Primena rezultata	Istraživačko – razvojno sredstvo

SADRŽAJ

1.0 OBLAST PRIMENE TEHNIČKOG REŠENJA.....	1
2.0 TEHNIČKI PROBLEM.....	1
3.0 NAUČNO - STRUČNE PODLOGE TEHNIČKOG REŠENJA.....	2
3.1 Rekonstrukcija geometrije femura	2
3.2 Uticajni parametri.....	4
3.2.1 Parametri pacijenta i oboljenja.....	4
3.2.2 Parametri morfologije femura.....	5
3.3 Oblik i geometrijske karakteristike tela endoproteze	7
3.4 Modelovanje tela endoproteze.....	8
3.4.1 Osnovne napomene.....	8
3.4.2 Opšti parametarski model.....	10
3.5 Postupak projektovanja endoproteze.....	12
4.0 DETALJAN OPIS TEHNIČKOG REŠENJA	15
4.1 Akvizicija dijagnostičkih snimaka	16
4.2 Preprocesor	17
4.3 Procesor	18
4.4 Postprocesor.....	19
5.0 ZAKLJUČAK.....	20
6.0 LITERATURA.....	20

1.0 OBLAST PRIMENE TEHNIČKOG REŠENJA

Tehničko rešenje pripada oblasti automatizacije procesa projektovanja proizvoda. Budući da je proizvod koji je predmet tehničkog rešenja endoproteza zgloba kuka i da deo metoda implementiranih u sistem predstavlja rezultat medicinskih istraživanja, tehničko rešenje se u širem smislu može posmatrati kao deo oblasti biomedicinskog inženjeringa.

2.0 TEHNIČKI PROBLEM

Operativni zahvat zamene prirodnog zgloba kuka veštačkim (Artoplastika kuka) predstavlja jedan od najčešće primenjivanih hirurških zahvata u ortopedskoj hirurgiji. Statističke analize ukazuju da se svake godine u svetu izvrši preko 800.000 ovakvih zahvata [1].

Zamena prirodnog zgloba kuka se, u opštem slučaju, sastoji od više faza koje podrazumevaju [2]:

- Odvajanje prirodne femoralne glave i vrata od kosti femura,
- Ugradnju acetabularne komponente sa odgovarajućom čaurom kao sedišta zgloba,
- Ugradnju tela proteze u medularni kanal kosti femura sa elementima koji zamenjuju prirodni vrat,
- Postavljanje veštačke glave femura na vrat tela proteze,
- Povezivanje elementa veštačkog zgloba kuka u jednu celinu .

Uspešnost realizacije ovog zahvata se izražava vremenskim periodom neophodnim za oporavak pacijenta kao i vekom eksploatacije endoproteze. Faktori koji na to utiču se mogu podeliti na faktore pacijenta, operativnog zahvata i endoproteze (stepen prilagođenosti elemenata endoproteze pacijentu i njene mehaničke karakteristike). U novije vreme se, kod primarnog zahvata totalne zamene zgloba kuka, u prvih 10 godina posle operacije više od 90% endoproteza i dalje uspešno koristi [3], [4].

Planiranje operativnog zahvata ugradnje veštačkog kuka za konkretnog pacijenta podrazumeva definisanje velikog broja uticajnih faktora koji se najčešće mogu razvrstati u dve grupe. Prvu čine faktori koji se definišu na osnovu medicinske analize pacijenta koja obuhvata utvrđivanje tipa i obima oboljenja, starost pacijenta kao i izbor metoda operativnog zahvata. Imajući ove faktore u vidu, u predhodnom periodu je razvijen veliki broj tipova proteza čija je kategorizacija obuhvaćena standardom ISO 7206-1 [5]. Druga grupa obuhvata geometrijske veličine koje određuju oblik i dimenzije elemenata endoproteze. Najznačajniju ulogu u ovoj grupi imaju dimenzije i morfološke karakteristike karlice i butne kosti pacijenta.

U ranijem periodu je ovako veliki broj uticajnih faktora doveo do primene metode tipizacije endoproteza prema geometrijskim i operativnim kriterijumima kao osnove za njihovo projektovanje. Endoproteze razvijene prema navedenoj metodi se mogu podeliti prema tipu (primarne, revizione, ...), dimenzijama (obično do 10 po tipu), i načinu fiksiranja u femur (cementne, bescementne). Izbor proteze za određenog pacijenta, iz

skupa ponuđenih, se vrši na osnovu rezultata medicinske analize geometrije femura. Savremeni trendovi u ovoj oblasti medicine ukazuju na mogućnost razvoja endoproteza prema merama pacijenta čime se minimizuju nedostaci primene tipiziranih endoproteza.

Projektovanje i izrada endoproteze zgloba kuka prema merama pacijenta predstavlja složen inženjerski zadatak koji podrazumeva realizaciju više aktivnosti. Pri tome se mora voditi računa o vremenu njihovog projektovanja i izrade i ono treba da odgovara periodu operativne pripreme pacijenta za zahvat (nekoliko dana). Zbog toga se poslednjih godina ulažu značajni naponi u istraživanja sa ciljem definisanja i izrade programskih sistema za automatizovano projektovanje tela endoproteza zgloba kuka kao najkompleksnijeg dela ovog proizvoda [6, 7].

Razvijeno programsko rešenje „*Telo endoproteze*” predstavlja eksperimentalni softver namenjen projektovanju tela endoproteze kao najkompleksnije komponente “veštačkog kuka”. Rešenje sadrži rezultate istraživanja procesa projektovanja endoproteza zgloba kuka u poslednjih nekoliko godina, i njihovu implementaciju u jednu funkcionalnu celinu koja omogućava automatizaciju pojedinih faza ovog procesa i predstavlja solidnu osnovu za dalja istraživanja u ovoj oblasti.

3.0 NAUČNO - STRUČNE PODLOGE TEHNIČKOG REŠENJA

3.1 Rekonstrukcija geometrije femura

Medicinska snimanja koja se koriste za dijagnostikovanje tipa i stepena oboljenja skeletnog sistema, se u procesu razvoja endoproteza koriste kao osnovni izvor ulaznih informacija. Rekonstrukcijom spoljne i unutrašnje geometrije obolelih kostiju stvaraju se preduslovi za: dimenzionisanje elemenata endoproteze [1, 2], optimizaciju elemenata njene geometrije [8, 9] i verifikaciju kroz analize metodom konačnih elemenata, [10, 11].

U savremenoj medicinskoj dijagnostici se najčešće koriste snimanja zasnovana na tomografskim metodama u koje spadaju CT (Computer Tomography) i MRI (Magnetic Resonance Imaging) [12]. Rezultat primene ovih metoda predstavlja niz digitalnih slika poprečnog preseka snimanog objekta. U cilju očuvanja informacija neophodnih za analizu i distribuciju snimaka, za arhiviranje tomografskih snimaka se koristi DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) format zapisa prema standardu ISO 12052 [13].

Dosadašnja istraživanja u oblasti rekonstrukcije DICOM fajlova pokazuju da u opštem slučaju metodologija rekonstrukcije elemenata skeleta obuhvata tri faze:

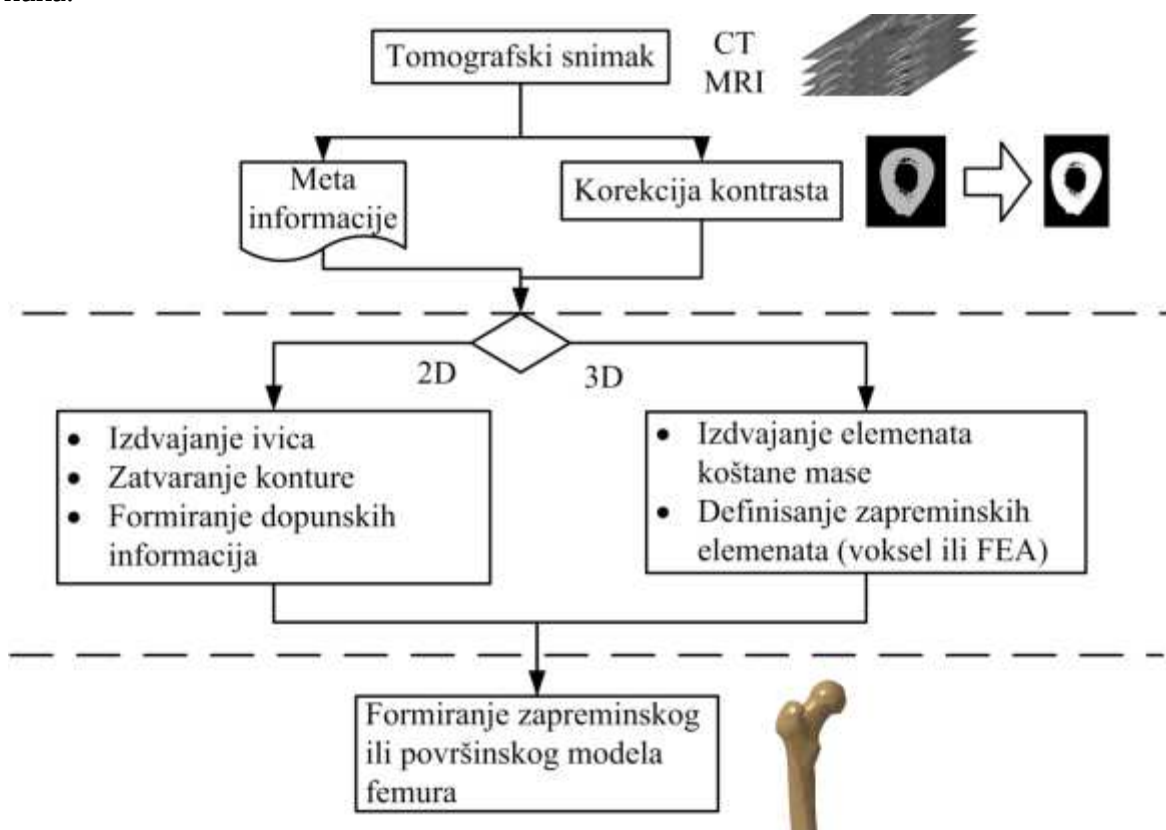
- Predhodnu obradu DICOM snimka,
- Segmentaciju pojedinačnih snimaka sa ciljem definisanja koštane mase i
- Rekonstrukciju kosti [14].

Prva, pripremna faza obuhvata predhodnu obradu DICOM fajla. To podrazumeva uvoz i obradu metainformacija koje sadrže podatke o objektu i parametrima snimanja koji su od značaja za dalje aktivnosti i učitavanje serije ravanskih snimaka iz DICOM fajla. Sledeći korak čini smanjenje šuma na snimcima uz korekciju kontrasta pojedinačnih

snimaka koristeći informacije o konkretnom snimku i metainformacijama. Time se omogućava tačnija rekonstrukcija kostiju [15, 16].

Segmentacija predstavlja najvažniju fazu rekonstrukcije medicinskih snimaka. Zasniva se na izdvajanju regiona od značaja za dalju obradu iz pojedinih ravanskih snimaka (2D segmentacija) ili segmenta koštanog sistema (3D segmentacija). Ravanska segmentacija se primenom programskih sistema koji su namenjeni automatizovanom segmentisanju elemenata skeletnog sistema [17, 18] najčešće bazira na metodama koje su zasnovane na identifikaciji praga kontrasta boje pojedinih piksela za izdvajanje ivica objekata (kao što su Sobel, Canny ili Prewitt metoda) [19]. Rezultat ovakve obrade snimaka predstavlja niz konturnih linija kojima se opisuju spoljašnja i unutrašnja geometrija kosti. Sa druge strane 3D segmentacija se zasniva na „zameni” pojedinih piksela snimaka (ravanskih elemenata slike) koji su identifikovani kao elementi slike kosti, zapreminskim elementima – vokselima i uklanjanje ostalih piksela. Ovaj postupak je pogodan za automatizaciju ukoliko se radi o poznatoj regiji koštanog sistema [12].

U fazi rekonstrukcije kosti se na osnovu dobijenih rezultata formira površinski ili zapreminski model obolelog ekstremiteta. Na slici 1 je prikazan postupak rekonstrukcije regije kuka i kosti femura, koji čine najvažnije elemente za projektovanje endoproteza kuka.



Slika 1. Blok dijagram podsistema za akviziciju podataka

Upotrebljivost rezultata dobijenih rekonstrukcijom kosti prvenstveno zavise od tačnosti dobijenih modela. Na tačnost dobijenih rezultata kod tomografskih snimanja utiču:

- Metoda i parametri snimanja,

- Količina šuma uzrokovanoj metodom snimanja i karakteristikama uređaja,
- Metoda rekonstrukcije.

Savremene tomografske metode omogućuju rekonstrukciju modela sa tačnošću od 1 [mm] [20].

3.2 Uticajni parametri

Endoproteza zgloba kuka prema merama pacijenta je, sa inženjerskog stanovišta, kompleksan proizvod koji podrazumeva razmatranje velikog broja uticajnih parametara u cilju određivanja tipa endoproteze, metode fiksiranja u butnu (femur) i karličnu (pelvis) kost kao i dimenzija pojedinih elemenata. Prema poreklu, uticajni parametri se dele u dve grupe, i to na parametre:

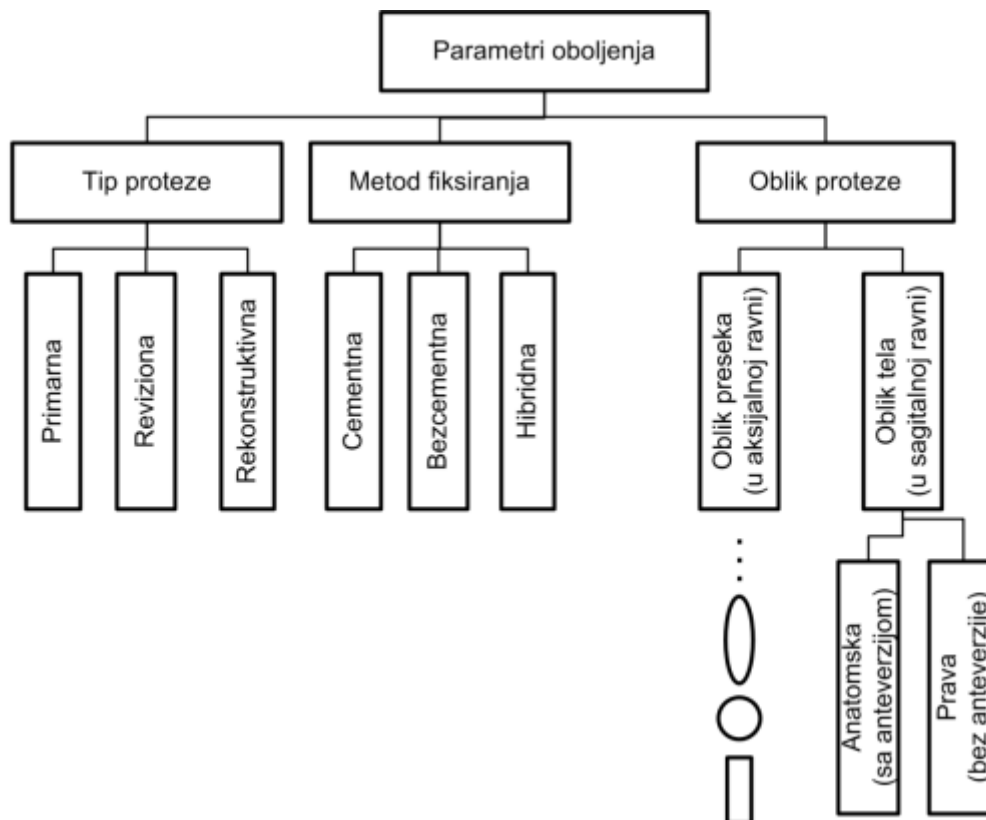
- Pacijenta i oboljenja,
- Morfologije femura.

3.2.1 Parametri pacijenta i oboljenja

Prvi korak pri projektovanju endoproteza zgloba kuka predstavlja određivanje niza parametara kojima se definiše tip endoproteze. To se vrši na osnovu analize femura i pelvisa pacijenta u cilju utvrđivanja tipa i stepena oboljenja [21]. Uzrok gubitku funkcije zgloba kuka može biti veliki broj oboljenja, među kojima su najčešća [4]:

- Osteoartritis (Osteoarthritis),
- Reumatski artritis (Rheumatic arthritis),
- Prelomi (Fractures),
- Tumori (Tumors),
- Nekroze (Avascular necrosis),
- Postoperativne komplikacije kod predhodno ugrađenih endoproteza kuka, itd.

Zbog toga izbor tipa proteze i načina njenog fiksiranja u femur vrši lekar specijalista koji tom prilikom uzima u obzir i brzinu regeneracije koštanog tkiva (uzrokovano starošću pacijenta) i operativnu metodu koja će se primeniti. Na slici 2 je prikazana klasifikacija endoproteza zgloba kuka na osnovu parametara pacijenta i oboljenja kuka.



Slika 2. Parametri oboljenja kuka

Pomenuti parametri predstavljaju osnovne ulazne informacije koje su neophodne za projektovanje proteze.

3.2.2 Parametri morfologije femura

Drugu grupu parametara čine informacije o dimenzijama femura. Osnovu za njihovo definisanje čini određivanje položaja i dimenzija elemenata femura koji su od značaja za dimenzionisanje tela endoproteze. U ovu grupu, uticajnih parametara spadaju veličine kojima se opisuju spoljna i unutrašnja geometrija obolele kosti. Uvođenje korelacije između ovih parametara i elemenata geometrije endoproteze omogućava njeno dimenzionisanje i definisanje položaja u obolelom femuru. Dosadašnja istraživanja u oblasti usavršavanja endoproteza kuka prema merama pacijenta [2] [22] ukazuju da se koristi različit broj morfoloških parametara pri projektovanju endoproteza.

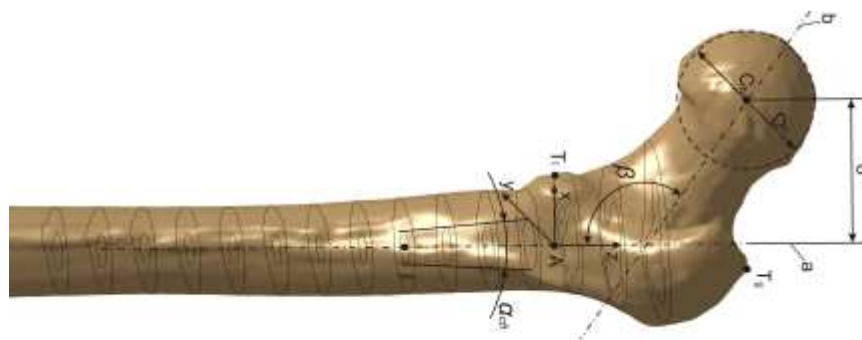
U opštem slučaju parametri morfologije femura se prema uticaju na geometriju tela endoproteze zgloba kuka mogu, takođe, podeliti u dve grupe: globalne i lokalne.

Globalni parametri (koji se mogu nazvati i referentnim), obuhvataju niz veličina koje se koriste za definisanje gabaritnih dimenzija tela endoproteze i segmenata od kojih se ono sastoji, kao i optimalne pozicije tih segmenata u femuru.

U globalne parametre femura spadaju (slika 3.):

- Pozicija referentnog koordinatnog sistema (tačka A)
- Pozicija suženja poprečnog preseka femura (tačka I)
- Anatomska osa femura (osa a)

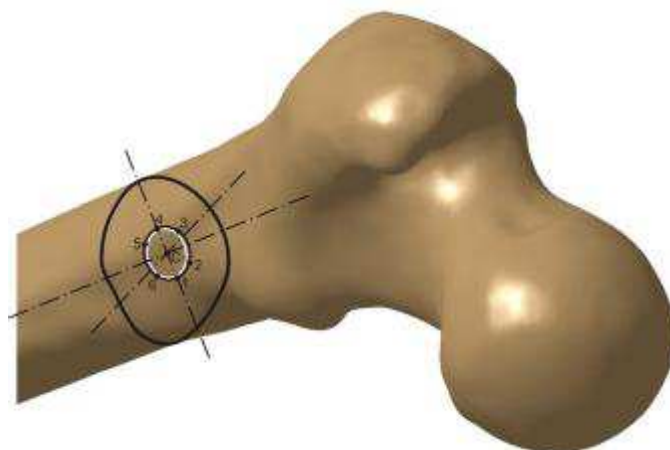
- Pozicija centra glave femura (tačka C_h)
- Prečnik glave femura (D_h)
- Ugao vrata endoproteze – β , koji predstavlja ugao između ose vrata i anatomske ose femura
- Rastojanje između pozicije glave proteze i ose endoproteze – o
- Osa vrata femura (osa b)
- Pozicija velikog trohantera (tačka Tg)
- Pozicija manjeg trohantera (tačka Tl)
- Anteverzija, ugao zakrivljenosti ose femura (ovaj ugao se ne vidi na slici) – α
- Ugao suženja medularnog kanala femura α_{fc}



Slika 3. Referentne geometrijske veličine u koronalnoj ravni

Navedene geometrijske veličine se primenom korelacionih faktora koriste kao osnova za grubo definisanje pojedinih segmenata tela endoproteze.

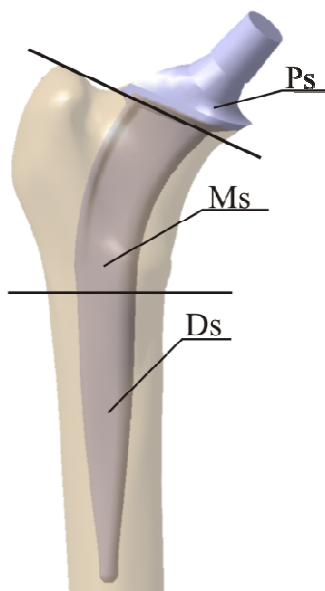
Lokalni parametri se formiraju na osnovu unutrašnje geometrije femura i opisuju oblik i dimenzije medularnog kanala u karakterističnim presecima. Predstavljaju pozicije odgovarajućih tačaka u karakterističnim presecima femura. Zbog velikog broja parametara koji se na ovaj način mogu izdvojiti najčešće se izdvajaju preseki u nekoliko karakterističnih ravni normalnih na osu femura. Pri projektovanju endoproteza to su mesta na kojima se završavaju jedni a počinju drugi segmenti tela endoproteze. U svakom od tih preseka se izdvajaju: referentna tačka koja se koristi za određivanje anatomske ose femura i više tačaka na obimu medularnog kanala. Na slici 4 je prikazan izgled medularnog kanala i karakteristične tačke u aksijalnom anatomskom preseku femura.



Slika 4. Oblik anatomskog aksijalnog preseka medularnog kanala

3.3 Oblik i geometrijske karakteristike tela endoproteze

U opštem slučaju telo endoproteze zgloba kuka je, sa geometrijskog stanovišta, složena celina sastavljena iz tri segmenata koji imaju različit oblik i ulogu u veštačkom zglobu kuka. Segmenti se prema položaju u femuru dele na: distalni (Ds), srednji - medijalni (Ms) i proksimalni (Ps) [23] (slika 5).



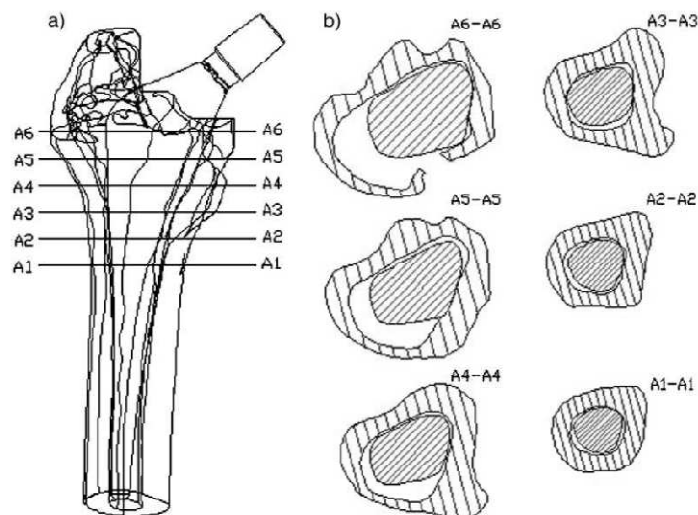
Slika 5. Segmenti tela endoproteze

Geometrijski parametri koji se koriste za opis segmenata tela endoproteze se nezavisno formiraju prilagođavajući se pacijentu.

Distalni (donji), segment ima značajnu ulogu u pozicioniranju tela endoproteze u medularni kanal (koji se prostire u unutrašnjosti femura duž njegove ose) i formiranju konačne čvrstoće spoja endoproteze i femura posle ugradnje. Dužina ovog segmenta tela endoproteze se bira u zavisnosti od dimenzija femura kao i tipa i kompleksnosti oboljenja.

U cilju što lakšeg pozicioniranja u medularni kanal, presek distalnog segmenta tela endoproteze u koronalnoj ravni najčešće ima oblik klina. Maksimalna čvrstina veze između tela endoproteze i femura se postiže prilagođavanjem oblika profila distalnog segmenta odgovarajućem preseku medularnog kanala.

Srednji – medijalni segment tela endoproteze čini celina koja ukupnom svojom dužinom prati oblik medularnog kanala i gornjeg (proksimalnog) dela femura. Zbog toga, geometrijski oblik koji opisuje ovaj segment čini složena površina, koja zadovoljavajući određene kriterijume (način vezivanja sa femurom, postupak implementacije) zavisi od geometrije femura. Na slici 6 je prikazana skica femura sa ugrađenom endoprotezom i izgled aksijalnog preseka medularnog kanala posle toga.



Slika 6. Presek femura sa implementiranom endoprotezom [1]

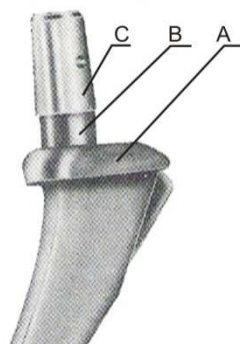
Proksimalni segment tela endoproteze predstavlja strukturno najsloženiju geometrijsku formu. Sastoji se od tri dela (slika 7):

Noseći deo (A) koji može da sadrži kolar, površinu kojom se endoproteza oslanja na femur. Ovaj deo pri uobičajenoj implementaciji endoproteze trpi najveća opterećenja i obezbeđuje stabilnost veštačkog zgloba kuka.

Vrat proksimalnog segmenta tela endoproteze, (B) koji zamenjuje prirodni vrat femura, obezbeđujući odgovarajuće rastojanje između femura i pelvisa.

Konusni deo (C) koji omogućava vezu između veštačke glave femura i tela endoproteze

Zbog malog broja parametara koji su kod ovog segmenta zavisni od femura, njegova geometrija je tipizirana.



Slika 7. Izgled proksimalnog segmenta tela endoproteze

3.4 Modelovanje tela endoproteze

3.4.1 Osnovne napomene

Modelovanje tela endoproteze se, u savremenim uslovima, realizuje formirenjem računarskog modela dobijenog parametrizacijom elemenata geometrije endoproteze, a zatim i definisanjem korelacionih veza između uticajnih faktora i parametara geometrije. U cilju formiranja složenih modela koriste se tri metoda definisanja parametarskog modela. To su modelovanje primenom:

- diskretnih geometrijskih parametara,
- funkcionalno zavisnih geometrijskih parametara ili
- kombinovanjem predhodne dve metode.

Prvi metod, modelovanje primenom *diskretnih geometrijskih parametara* predstavlja postupak definisanja geometrije proizvoda koji obuhvata predhodnu sistem analizu i dekompoziciju geometrije modela endoproteze na jednostavnije geometrijske oblike. U drugoj fazi se vrši definisanje pojedinačnih geometrijskih oblika i njihovih međusobnih ograničenja na osnovu vrednosti uticajnih parametara. Sastavni element ovog tipa modela čini niz diskretnih parametara koji su definisani u opštim brojevima.

U dosadašnjim istraživanjima koja se odnose na projektovanje endoproteza zgloba kuka najčešće se koristi princip modelovanja primenom diskretnih geometrijskih parametara. Osnovni razlozi za to su: jednostavnost i korišćenje relativno malog broja uticajnih faktora (pretežno geometrijskih). Sa druge strane, najveće nedostatke parametarskog modela baziranog na ovom postupku parametrizacije čine kruta struktura koja onemogućava modifikovanje zavisnosti između parametara kao i vezanost za jedan tip proteze.

Modelovanje primenom *funkcionalno zavisnih geometrijskih parametara*, se zasniva na matematičkom opisu parametara modela. Za to se koriste funkcionalne zakonitosti kojima se parametri pacijenta i oboljenja kao i morfologije femura povezuju sa elementima geometrije endoproteze. Za definisanje složenih prostornih modela se najčešće primenjuju polinomne i racionalne Bezijerove krive¹. Ovaj, matematički, metod definisanja parametara u modelu je generalizovanog oblika. To znači da se konkretan model endoproteze opisuje koordinatama karakterističnih tačaka i dopunskim koeficijentima koji su funkcionalnim zavisnostima povezani sa uticajnim faktorima na model. Pri tome se veza između karakterističnih tačaka i parametara koji određuju model ostvaruje analitičkim izrazima koji se ne moraju nalaziti u samom modelu. Primena funkcionalno zavisnih geometrijskih parametara ima određene prednosti u odnosu na modelovanje korišćenjem diskretnih geometrijskih parametara. To je, pre svega, značajno fleksibilniji oblik opisa geometrije, jer je definisani model opšteg tipa i može se koristiti za projektovanje endoproteza različitih tipova. Pored toga, ovako definisani geometrijski modeli imaju značajno manji broj geometrijskih elemenata koji opisuju endoprotezu što je značajno sa stanovišta brzine i tačnosti modelovanja.

Treći postupak podrazumeva definisanje modela tela endoproteze koji predstavlja strukturu sastavljenu od segmenata opisanih funkcionalnim i diskretnim geometrijskim parametarima. Osnovna karakteristika ovakvog modela je mogućnost implementacije svih pomenutih uticajnih faktora neophodnih za opis tela endoproteze i po potrebi dodavanje novih.

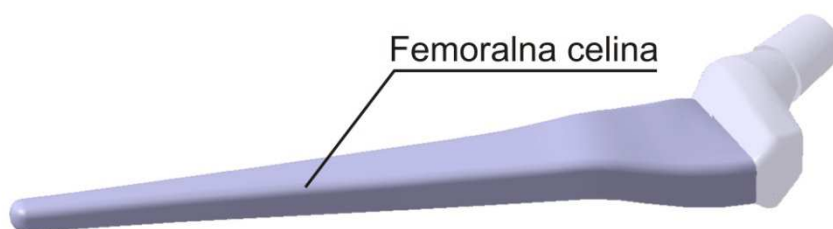
¹ Bezijerove površine je razvio Pier Bezier za potrebe automobilske fabrike Renault početkom šezdesetih godina XX veka.

3.4.2 Opšti parametarski model

U prikazanom tehničkom rešenju primenjen je kombinovani princip modelovanja definisan upravo za potrebe modelovanja endoproteza i nazvan opšti parametarski model tela endoproteze. Model sadrži dve celine koje imaju različitu ulogu u endoprotezi. To su:

- Femoralna celina koja sadrži distalni i srednji segment endoproteze definisan funkcionalnim geometrijskim parametrima određenim racionalnom Bezijerovom funkcijom i
- Proksimalna celina koju čini proksimalni segment definisan sa tri geometrijska oblika definisana diskretnim geometrijskim parametrima.

Femoralna celina obuhvata segmente tela endoproteze (distalni i srednji) koji se posle ugradnje nalaze unutar femura. Definiše je veći broj parametara zavisnih od geometrije femura, kao i niz eksploatacionih zahteva proisteklih iz operativne metode i potrebe za povišenom krutošću sklopa femura i tela endoproteze [24, 25] (slika 8).



Slika 8. Femoralna celina tela endoproteze

Bezijerova površina koja opisuje femoralnu celinu tela endoproteze nastaje kombinovanjem dve ravanske Bezijerove funkcije definisane u karakterističnim ravnima femura (aksijalnoj i koronalnoj ravni).

U aksijalnoj ravni (ravni upravnoj na anatomsku osu femura), u kojoj se definiše presek tela endoproteze, kompleksnost medularnog kanala i broj uticajnih faktora koji se uzimaju u obzir, uslovljavaju primenu složene geometrijske krive. Kao najpogodnija za definisanje i po potrebi pojednostavljivanje uvođenjem ograničenja usvojena je Bezijerova ravanska funkcija desetog stepena. Ograničenja su u ovom sličaju funkcionalne zavisnosti kojima se uvode odnosi između koordinata kontrolnih tačaka pojedinih elemenata krive. To je uvedeno u cilju smanjenja stepena neodređenosti sistema jednačina ili kontrole oblika koje određuju parametri Bezijerovih površina, imajući u vidu da se one definišu na osnovu uticajnih faktora na telo endoproteze.

Implementacijom pomenutih tačaka u jednačinu krive se dobija funkcija endoproteze u aksijalnom anatomskom preseku izražena Bezijerovom krivom.

$$A(t) = \frac{\sum_{i=0}^{10} B_i^{10}(t) w_i P_i}{\sum_{i=0}^{10} B_i^{10}(t) w_i} \quad (1)$$

Kao što je ranije rečeno za definisanje geometrije tela endoproteze u koronalnoj ravni duž distalnog segmenta potrebne su dve karakteristične tačke (srednje tačke medularnog kanala na najužem delu i 20 [mm] ispod manjeg trohantera). Pored toga srednji segment je određen u tri tačke (srednje tačke medularnog kanala 20 [mm] ispod

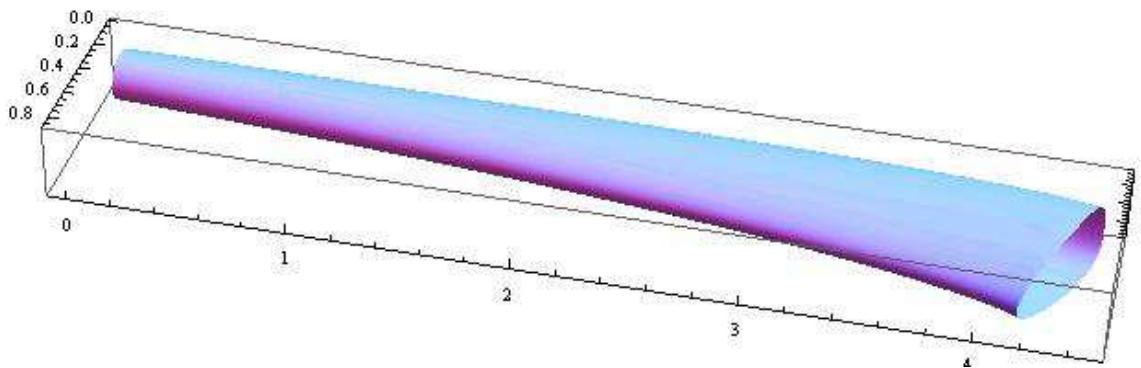
manjeg trohantera, 20 [mm] iznad njega i u ravni u kojoj se operativnim zahvatom uklanja vrat femura). Na osnovu toga je zaključeno da se izvodnice endoproteze mogu opisati u četiri karakteristične tačke (ravan 20 [mm] ispod manjeg trohantera je mesto spajanja distalnog i srednjeg segmenta), pa Bezierova kriva u koronalnoj ravni glasi:

$$B(t) = \frac{\sum_{j=0}^4 B_j^4(t) w_j P_j}{\sum_{j=0}^4 B_j^4(t) w_j} \quad (2)$$

Na osnovu postojećih, parcijalnih, jednačina može se uvesti funkcija Bezierove površine koja obuhvata pomenute krive i omogućava definisanje segmenata endoproteze koji se nalaze unutar femura.

$$P(t) = \frac{\sum_{i=0}^{10} \sum_{j=0}^4 B_{i,p}^m(t) B_{j,p}^n(t) w_{ij} P_i P_j}{\sum_{i=0}^{10} \sum_{j=0}^4 B_{i,p}^m(t) B_{j,p}^n(t) w_{ij}} \quad (3)$$

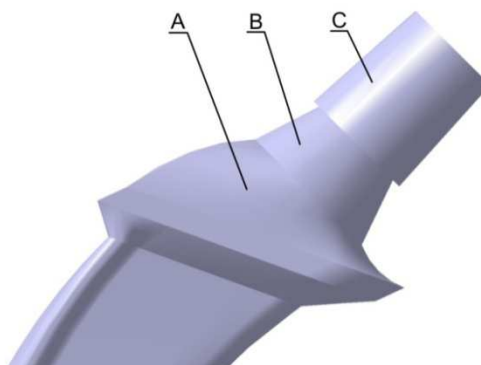
Na slici 9 je prikazan primer femoralne celine endoproteze opisane primenom navedenih jednačina.



Slika 9. Primer matematičkog opisa femoralne celine

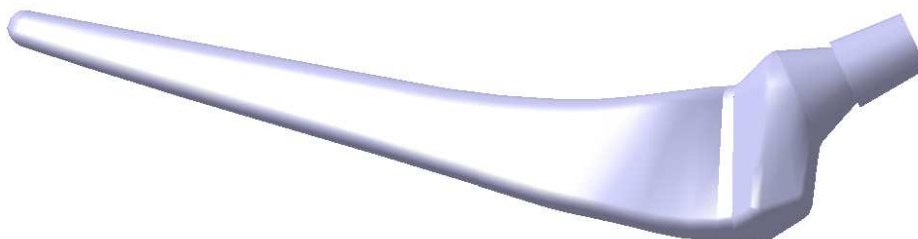
Proksimalna celina tela endoproteze predstavlja strukturno jednostavniji segment tela endoproteze koji je u velikoj meri tipiziran i identičan kod velikog broja proizvođača. Čini ga nekoliko tipskih elemenata koji obezbeđuju oslanjanje endoproteze na femur, i pravilno formiranje veštačkog zgloba kuka. To su (slika 10):

- Telo proksimalne celine (A) čija geometrijska struktura opisuje prelaz između početka veštačkog vrata femura i završetka kolara (ili femoralnog segmenta) i kolara koji se formira prema zahtevima operativne metode,
- Veštački vrat femura (B) koji je najčešće u obliku konusa (definisan uglom) koji zavisi od proizvođača i
- Konusni element (C) kojim se ostvaruje pozicioniranje i veza između tela endoproteze i veštačke glave femura (najčešće je konus sa nagibom 1:10 ili morze konus).



Slika 10. Proksimalna celina endoproteze

Zbog jednostavne geometrijske strukture i malog broja uticajnih faktora koji je određuju, proksimalna celina je u opštem parametarskom modelu realizovan kao celina opisana diskretno parametrizovanim geometrijskim oblicima. Na slici 11 je prikazan model tela anatomske totalne endoproteze BB2 dobijen primenom razvijenog opšteg parametarskog modela.



Slika 11. Model tela endoproteze zgloba kuka

3.5 Postupak projektovanja endoproteze

Postupak projektovanja tela endoproteze zgloba kuka se zasniva na implementaciji uticajnih faktora u parametre endoproteze a zatim u vidu funkcionalnih zavisnosti primeni pri izboru tipa i karakteristika endoproteze i njenom dimenzionisanju.

Prvi korak pri projektovanju predstavlja izbor opštih parametara proteze na osnovu parametra oboljenja i stanja pacijenta. To su:

- Tip endoproteze koji određuje opšte geometrijske karakteristike endoproteze, dužinu femoralnog segmenta, postojanje kolara u nosećem segmentu proksimalnog segmenta, ...
- Način veze sa femurom kojim se određuje rastojanje između tela endoproteze i medularnog kanala koji je posledica preporučene debljine cementnog sloja [26]
- Materijal endoproteze,
- Dopunski parametri koji su uzrokovani metodom operativnog zahvata, u koje između ostalog spada i oblik ose endoproteze (da li je prava ili anatomska i oblikovana prema obliku medularnog kanala), mesto i ugao uklanjanja glave i vrata femura i sl.

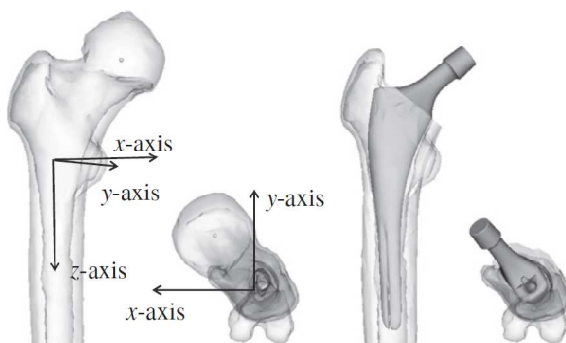
Ova grupa parametara određuje tip endoproteze a samim tim i broj uticajnih faktora koji određuju njen oblik i dimenzije (slika 12).



Slika 12. Različiti tipovi i dimenzije tela endoproteze zgloba kuka

Aktivnosti koje prate početnu fazu projektovanja su usmerene na definisanje geometrijskih parametara endoproteze. Oni se dele na globalne i lokalne parametre. U grupu globalnih parametara spadaju parametri femura koji se koriste za definisanje pozicije endoproteze i njene gabaritne dimenzije. To su:

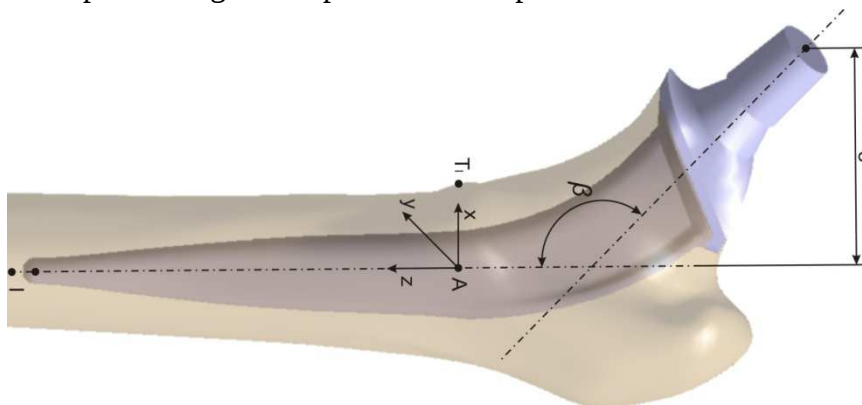
- Osa endoproteze koja odgovara anatomske osi femura i određuje poziciju distalnog segmenta endoproteze. Kod anatomske endoproteze osu predstavlja kriva linija koja prati oblik medularnog kanala i obuhvata i krivinu uzrokovanu anteverzijom femura. U tom slučaju se pri projektovanju uključuju i dopunski parametri koji su posledica operative metode. Osa endoproteze se određuje kao prava ili polinomna kriva koja spaja karakteristične tačke određene centrima kružnica upisanih u medularni kanal femura. Pri tome se za dobijanje optimalnog oblika prave/krive uz najmanju grešku koristi metoda najmanjih kvadrata.
- Pozicija anatomske koordinatne sistema. On se nalazi u središtu medularnog kanala u ravni koja je upravna na anatomske osi femura i prolazi kroz manji trohanter [12]
- Orijentacija koordinatne sistema. Z osa se nalazi u pravcu anatomske ose a X osa u pravcu manjeg trohantera [12]. Koordinatni sistem se koristi kao koordinatni sistem tela endoproteze (slika 13)



Slika 13. Pozicija anatomske koordinatne sistema i koordinatnog sistema tela endoproteze [12]

- Pozicija suženja medularnog kanala koja se koristi za određivanje dužine distalnog segmenta endoproteze
- Osa vrata endoproteze koja odgovara pravoj koja prolazi kroz središte vrata femura i određuje poziciju i deo dimenzija proksimalnog segmenta endoproteze
- Centar veštačke femoralne glave, koja se nalazi na mestu centra prirodne femoralne glave. Ovaj parametar je uslovljen morfologijom konkretnog femura i može biti izmešten van ose vrata femura kod urođenih oboljenja. Korekcijom položaja centra je moguće izvršiti korekcije pokretljivosti i ekstremiteta kod pacijenta
- Anteverzija – ugao koji osa vrata femura zaklapa sa anatomskom osom u koronalnoj ravni. Ovaj ugao određuje poziciju endoproteze u femuru i može biti obuhvaćen geometrijom endoproteze ili definisan u toku operativnog zahvata pozicioniranjem

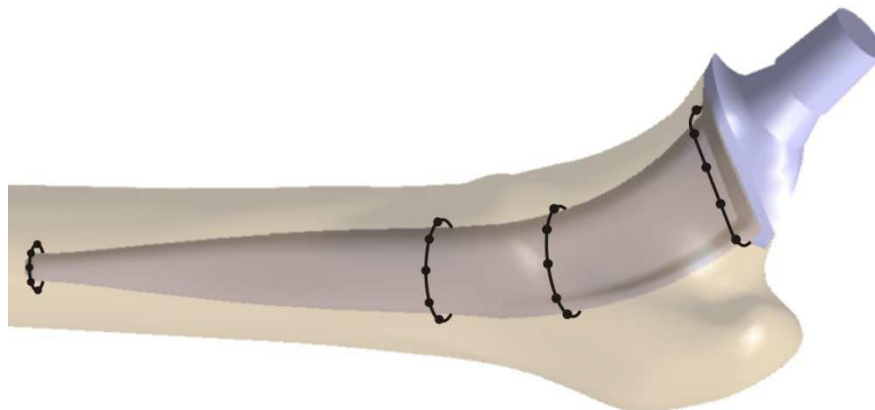
Na slici 14 su prikazani globalni parametri endoproteze



Slika 14. Globalni parametri endoproteze

Lokalne parametre čine tačke koje određuju oblik i dimenzije preseka tela endoproteze. To su kontrolne tačke Bezierove krive i u funkciji su od rastojanja između tela endoproteze i oboda medularnog kanala (tj. debljine sloja vezivnog materijala [26]). Ovi parametri se određuju u četiri karakteristična preseka. To su (slika 15):

- Presek suženja medularnog kanala
- Presek 20 [mm] ispod manjeg trohantera
- Presek 20 [mm] iznad manjeg trohantera
- Pozicija ravni planiranog operativnog preseka femoralnog vrata

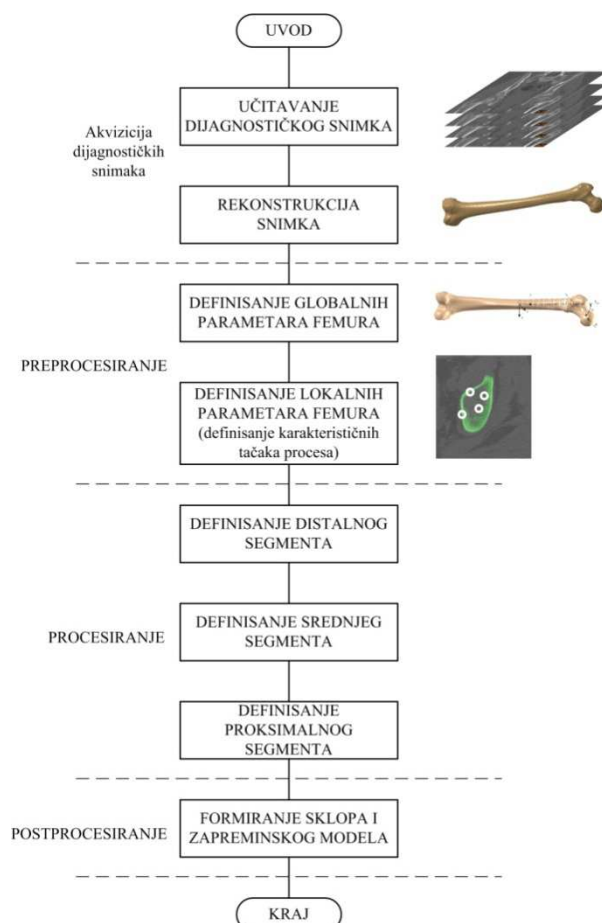


Slika 15. Lokalni parametri endoproteze

Posle definisanja globalnih parametara kao i dimenzionisanja femoralnog segmenta endoproteze definišu se elementi proksimalnog segmenta. Oni su određeni rastojanjem ose endoproteze i centra femoralne glave, prečnikom veštačke femoralne glave, zahtevom za oslanjanjem proteze na femur i sl.

4.0 DETALJAN OPIS TEHNIČKOG REŠENJA

Na osnovu prethodno prikazane metodologije za projektovanje tela endoproteze zgloba kuka primenom četiri faze bazirane na poznatim i delimično originalnim postupcima, razvijeno je programsko rešenje „**Telo endoproteze**”. Programsko rešenje je koncipirano kao skup podsistema razvijenih primenom programskog jezika C++ koji se kao celina integrišu u CAD programski sistem CATIA primenom CAA (Component Application Architecture) interfejsa, koristeći njegove resurse za projektovanje proizvoda. Na taj način se automatizacija procesa projektovanja ograničava na prijem i obradu Dicom snimaka, komunikaciju sa korisnikom, i formiranje parametara opšteg geometrijskog modela endoproteze. Na slici 16 je predstavljen model razvijenog sistema sa prikazom toka informacija.

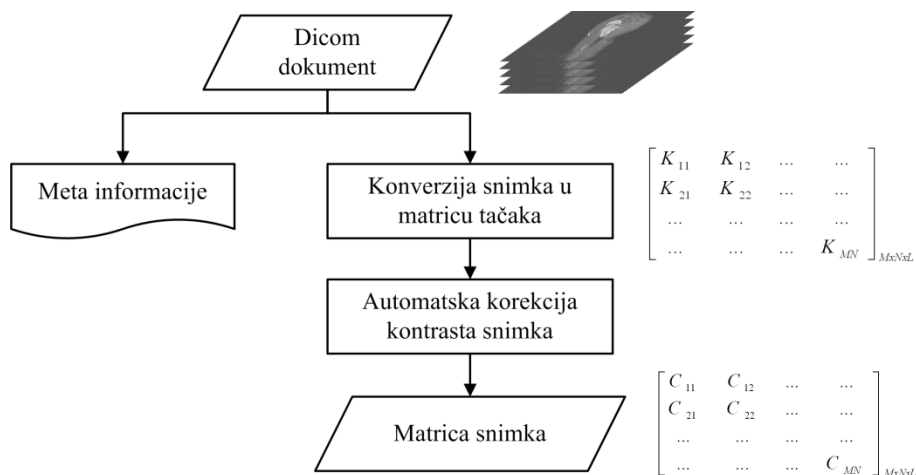


Slika 16. Blok dijagram programskog sistema „Telo endoproteze”

U cilju usavršavanja pojedinih faza projektovanja endoproteze svaki od navedenih podsistema programskog rešenja je formiran kao nezavisna, modularno koncipirana, celina. Komunikacija sa korisnikom se realizuje putem dijalog prozora koji se koriste za formiranje opštih parametara endoproteze kao i odlučivanje u fazama projekta koje nisu pogodne za automatizaciju.

4.1 Akvizicija dijagnostičkih snimaka

Početnu fazu pri projektovanju tela endoproteze predstavlja formiranje ulaznih informacija o obolelom femuru koje se dobijaju obradom dijagnostičkih snimaka. Ova faza obuhvata uvoz i početnu obradu snimaka. To se postiže uvozom Dicom dokumenta i formiranjem dve grupe informacija koje čine matrica meta informacija i kompleksna matrica osvetljenosti piksela koja sadrži informacije o svim snimcima Dicom fajla. U fazi predhodne obrade snimaka se vrši i automatizovana korekcija kontrasta svakog ravanskog snimka na osnovu nivoa osvetljenosti piksela u cilju njihove uspešnije dalje obrade. Na slici 17 je prikazan model ovog podsistema.

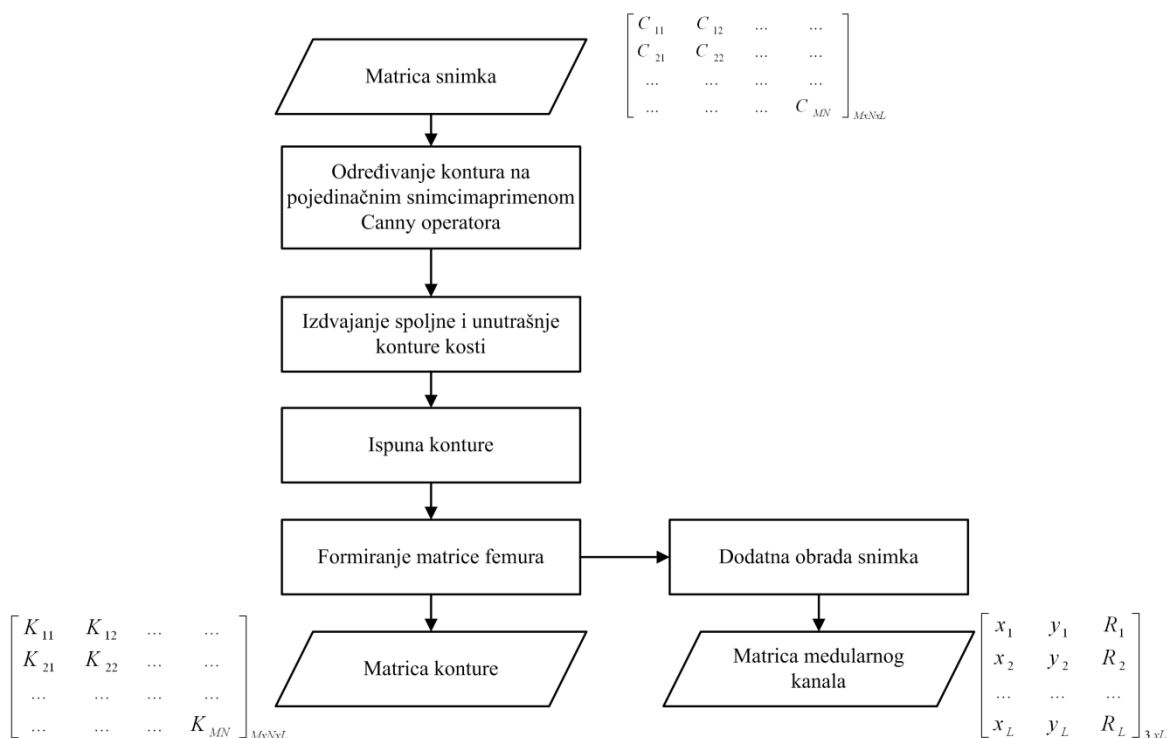


Slika 17. Uvoz i predhodna obrada snimaka

Ovaj podsistem programskog rešenja je realizovan primenom ITK (Insight Segmentation and Registration Toolkit) biblioteke koja sadrži alate za uvoz i obradu Dicom snimaka i filtere za poboljšanje kontrasta slika.

4.2 Preprocessor

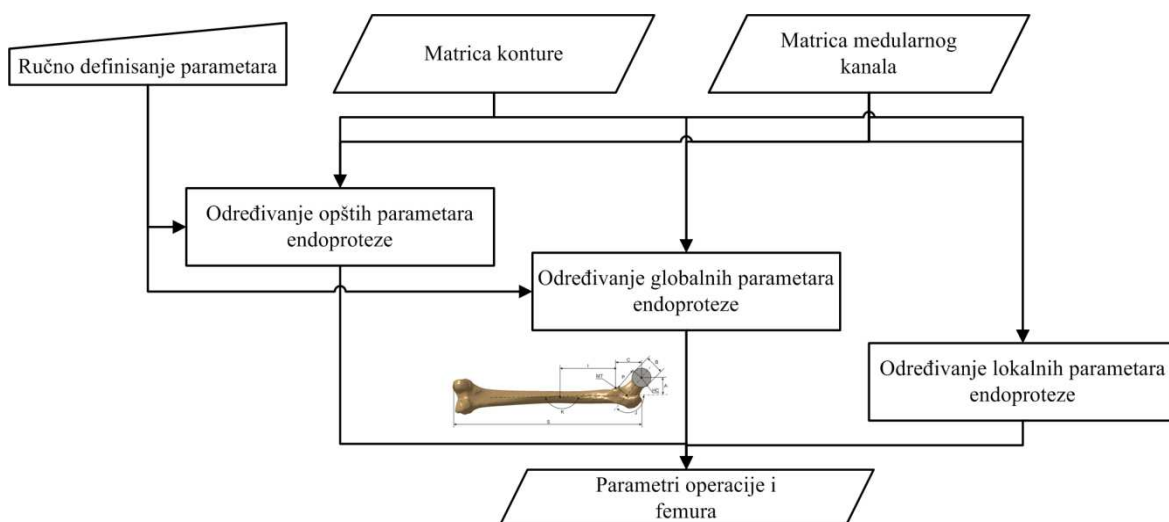
Preprocesorski podsistem programskog rešenja sadrži metode za obradu kompleksne matrice snimaka primenom 2D segmentacije. Ovaj proces obuhvata određivanje kontura elemenata kosti na svakom snimku Dicom fajla. Za određivanje konture snimka je primenjena Canny metoda detekcije ivica konture na osnovu praga osvetljenosti na svakom snimku koja je u većem broju istraživanja pokazala dobre rezultate u primeni na tomografskim snimcima [27, 28]. Zbog mogućnosti da detektovana ivica nije zatvorena vrši se zatvaranje kontura koje određuju spoljašnju i unutrašnju geometriju femura i to dopunjavanjem lokalnog seta piksela na mestima gde oni ne postoje kao i ispunjena tako dobijene zone. Dobijeni niz ravanskih snimaka preseka se naknadno obrađuje upisivanjem maksimalne kružnice u svaku konturu i određivanjem njenih parametara. Ovako dobijeni rezultati formiraju matricu medularnog kanala koja se koriste za automatsko formiranje jednog dela globalnih parametara. Na slici 18 je prikazan model ovog podsistema.



Slika 18. Model preprocesorskog podsistema

4.3 Procesor

Treću celinu programskog rešenja predstavlja procesorski podsistem čiji osnovni zadatak predstavlja definisanje parametara endoproteze. Parametri endoproteze se razvrstavaju u tri grupe: opšte, globalne i lokalne. Isti se određuju ručno ili u automatizovanom režimu u zavisnosti od kompleksnosti. Na slici 19 je model procesorskog podsistema.



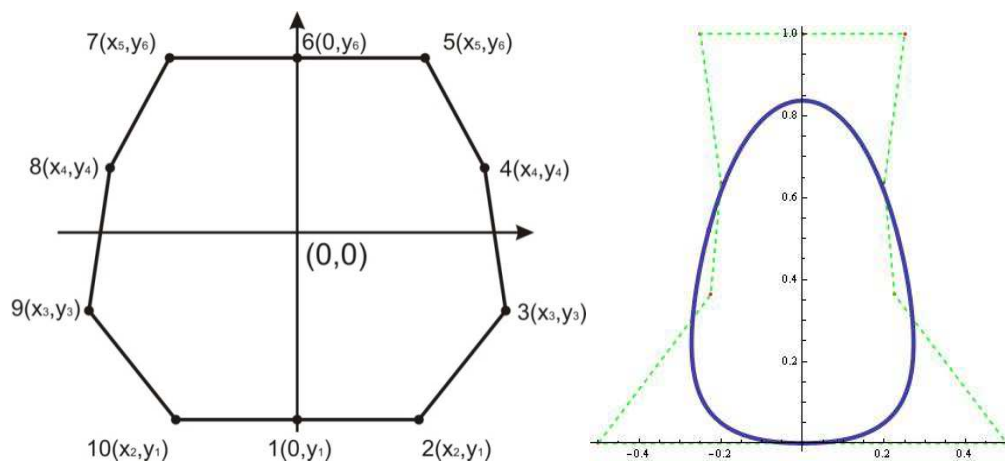
Slika 19. Model procesorskog podsistema

U opšte parametre endoproteze pri korišćenju programskog rešenja „*Telo endoproteze*” spadaju parametri koji se definišu od strane hirurga koji operativno

realizuje zamenu prirodnog zgloba kuka pacijenta. To su: tip endoproteze, metod veze sa femurom i oblik endoproteze (oblik preseka i ose endoproteze). Ovi parametri su zavisni od stepena oboljenja, metoda implementacije endoproteze i stanja koštane mase femura pa se zbog toga definišu ručno.

Definisanje globalnih parametara endoproteze, među kojima su anatomska osa femura, pozicija i orijentacija anatomske koordinatnog sistema se automatski određuju u vidu prave (kod endoproteza sa pravim distalnim segmentom) ili polinomne krive linije (kod anatomske endoproteze) dobijene primenom metode minimalnih kvadrata na skup tačaka koji predstavljaju centar maksimalnog upisanog kruga u konturu medularnog kanala na svakom snimku. Preostali parametri u koje spadaju osa vrata endoproteze i položaj centra i prečnik femoralne glave se zbog trenutnih ograničenja u programskom rešenju kao i zbog primene tipiziranih elemenata u endoprotezi određuju u dijaloškoj komunikaciji sa korisnikom sistema.

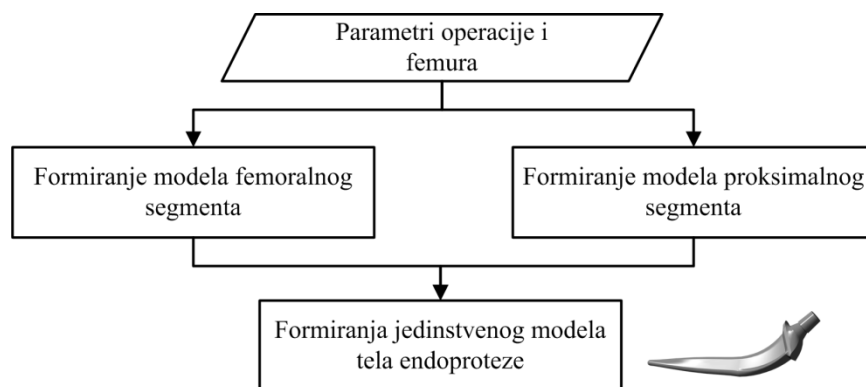
Lokalne parametre određene programskim rešenjem čine karakteristične tačke u preseccima medularnog kanala koji su određeni opštim parametarskim modelom tela endoproteze. Za njihovo određivanje se koristi metod automatskog definisanja koji je zasnovan na određivanju tačaka preseka konture medularnog kanala u odnosu na koordinatni početak smešten u centar preseka kanala sa koordinatnim osama u skladu sa anatomske osama. Koordinate tako dobijenih tačaka se koriguju za veličine koje zavise od metode preoperativne obrade medularnog kanala i zahtevane debljine vezivnog sredstva (koštanog cementa), ako se koristi. Na slici 20a je prikazan raspored karakterističnih tačaka prema opštem parametarskom modelu i formirani presek endoproteze b).



Slika 20. Raspored kontrolnih tačaka Bezierove krive a) i formirani presek endoproteze b)

4.4 Postprocesor

Poslednju fazu procesa projektovanja tela endoproteze zgloba kuka čini formiranje računarskog modela koji se razvija primenom sopstvenog rešenja, opšteg parametarskog modela [29] zasnovanog na kombinovanoj metodi modelovanja koja koristi diskretno i funkcionalno parametarsko modelovanje. Model ovog podsistema je prikazan na slici 21.



Slika 21. Model postprocesorsog podsistema

5.0 ZAKLJUČAK

Razvijeno programsko rešenje „**Telo endoproteze**” predstavlja namenski koncipiran i razvijen softver sa ciljem usavršavanja procesa projektovanja i istraživanja uticaja pojedinih parametara projektovanja na oblik i karakteristike endoproteze. Programsko rešenje je bazirano na modularnom principu zbog potrebe za usavršavanjem pojedinih faza razvoja endoproteze.

Osnovni doprinos programskog rešenja području endoprotetike predstavlja implementacija opšteg parametarskog modela kao osnove za definisanje računarskog modela endoproteze koji sa jedne strane omogućava fleksibilni pristup procesu projektovanja endoproteza a sa druge formiranje geometrijski kompleksnijih a prema broju elemenata jednostavnijih modela koji manje opterećuju memorijske resurse računara.

6.0 LITERATURA

- [1] Pawlikowski, M., Skalski, K., Haraburda, M.: "Process of hip joint prosthesis design including bone remodeling phenomenon," *Computers & Structures*, vol. 81, No 5, pp. 887-893, 2003.
- [2] Jun, Y., Choi, K.: "Design of patient-specific hip implants based on the 3D geometry of the human femur," *Advances in Engineering Software*, vol. 41, No 4, pp. 537-547, 2010.
- [3] Cristofolini, L., Teutonico, A. S., Monti, L., Cappello, A., Toni, A.: "Comparative in vitro study on the long term performance of cemented hip stems: validation of a protocol to discriminate between "good" and "bad" designs," *Journal of Biomechanics*, vol. 36, No 11, pp. 1603-1615, 2003.
- [4] Garellick, G., Karrholm, J., Rogmark, C., Herberts, P.: *Annual Report 2010: Swedish Hip Arthroplasty Register*, 2011.
- [5] I. S. I.-T. e. 2008, "Implants for surgery — Partial and total hip joint prostheses," in *Part 1: Classification and designation of dimensions*, ed, 2008.

- [6] Bongini, D., Carfagni, M., Governi, L.: "Hippin: a semiautomatic computer program for selecting hip prosthesis femoral components," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 63, pp. 105-115, 10/1/ 2000.
- [7] Testi, D., Quadrani, P., Petrone, M., Zannoni, C., Fontana, F., Viceconti, M.: "JIDE: a new software for computer-aided design of hip prosthesis," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 75, No 9, pp. 213-220, 2004.
- [8] Kayabasi, O., Ekici, B.: "The effects of static, dynamic and fatigue behavior on three-dimensional shape optimization of hip prosthesis by finite element method," *Materials & Design*, vol. 28, pp. 2269-2277, 2007.
- [9] Ruben, R. B., Fernandes, P. R., Folgado, J.: "On the optimal shape of hip implants," *Journal of biomechanics*, vol. 45, pp. 239-246, 2012.
- [10] Kayabasi, O., Ekici, B.: "The effects of static, dynamic and fatigue behaviour on three-dimensional shape optimization of Kayabaşı_Ekici type hip prosthesis by finite element method and probabilistic approach," *Journal of biomechanics*, vol. 44, p. 6, 2011.
- [11] Sridhar, I., Adie, P. P., Ghista, D. N.: "Optimal design of customised hip prosthesis using fiber reinforced polymer composites," *Materials & Design*, vol. 31, No 6, pp. 2767-2775, 2010.
- [12] Otomaru, I., Nakamoto, M., Kagiya, Y., Takao, M., Sugano, N., Tomiyama, N., *et al.*: "Automated preoperative planning of femoral stem in total hip arthroplasty from 3D CT data: Atlas-based approach and comparative study," *Medical Image Analysis*, vol. 16, No 2, pp. 415-426, 2012.
- [13] I. S. I. 12052:2011, "Health informatics -- Digital imaging and communication in medicine (DICOM) including workflow and data management," ed, 2011, p. 11.
- [14] Galibarov, P. E., Prendergast, P. J., Lennon, A. B.: "A method to reconstruct patient-specific proximal femur surface models from planar pre-operative radiographs," *Medical Engineering & Physics*, vol. 32, No 12, pp. 1180-1188, 2010.
- [15] Li, X.: "Semi-Automatic Segmentation of Normal Female Pelvic Floor Structures from Magnetic Resonance Images," Cleveland State University, 2010.
- [16] Yin, L., Basu, A., Kwei Chang, J.: "Scalable edge enhancement with automatic optimization for digital radiographic images," *Pattern Recognition*, vol. 37, pp. 1407-1422, 7// 2004.
- [17] Kale, E. H., Mumcuoglu, E. U., Hamcan, S.: "Automatic segmentation of human facial tissue by MRI-CT fusion: A feasibility study," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 108, No 12, pp. 1106-1120, 2012.

- [18] Kang, Y., Engelke, K., Kalender, W. A.: "Interactive 3D editing tools for image segmentation," *Medical Image Analysis*, vol. 8, No 3, pp. 35-46, 2004.
- [19] Rathnayaka, K., Sahama, T., Schuetz, M. A., Schmutz, B.: "Effects of CT image segmentation methods on the accuracy of long bone 3D reconstructions," *Medical Engineering & Physics*, vol. 33, No 3, pp. 226-233, 2011.
- [20] Gamage, P., Xie, S. Q., Delmas, P., Xu, W. L.: "Diagnostic radiograph based 3D bone reconstruction framework: Application to the femur," *Computerized Medical Imaging and Graphics*, vol. 35, No 9, pp. 427-437, 2011.
- [21] Callaghan, J., Rosenberg, A., Rubash, H.: *The adult hip*: Lippincott Williams & Wilkins, 2007.
- [22] Rawal, B. R., Ribeiro, R., Malhotra, R., Bhatnagar, N.: "Design and manufacturing of femoral stems for the Indian population," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 14, No 8, pp. 216-223, 2012.
- [23] Boyle, C., Kim, Y.: "Comparison of different hip prosthesis shapes considering micro-level bone remodeling and stress-shielding criteria using three-dimensional design space topology optimization," *Journal of Biomechanics*, vol. 44, pp. 1722-1728, 2011.
- [24] Benum, P., Aamodt, A.: "Uncemented custom femoral components in hip arthroplasty. A prospective clinical study of 191 hips followed for at least 7 years," *Acta Orthop*, vol. 81, pp. 427-35, Aug 2010.
- [25] Crowninshield, R. D., Brand, R. A., Johnston, R. C., Milroy, J. C.: "An analysis of femoral component stem design in total hip arthroplasty," *The Journal of Bone & Joint Surgery*, vol. 62, pp. 68-78, 1980.
- [26] Breusch, S. J., Lukoschek, M., Kreutzer, J., Brocai, D., Gruen, T. A.: "Dependency of cement mantle thickness on femoral stem design and centralizer," *The Journal of Arthroplasty*, vol. 16, No 8, pp. 648-657, 2001.
- [27] Rathnayaka, K., Momot, K. I., Noser, H., Volp, A., Schuetz, M. A., Sahama, T., *et al.*: "Quantification of the accuracy of MRI generated 3D models of long bones compared to CT generated 3D models," *Medical Engineering & Physics*, vol. 34, No 4, pp. 357-363, 2012.
- [28] Sun, W., Lal, P.: "Recent development on computer aided tissue engineering — a review," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 67, No 2, pp. 85-103, 2002.
- [29] Tabaković, S., Živković, A., Grujić, J., Zeljković, M.: "Using CAD/CAE software systems in the design process of modular, revision total hip endoprosthesis," *Academic Journal of Manufacturing Engineering – AJME*, vol. 9, No 2, pp. 97-102, 2011.



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централа: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: _____

Ваш број: _____

Датум: 2012-12-07

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 2. редовној седници одржаној дана 28.11.2012. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

Тачка 14.2.8. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње / верификација нових техничких решења

У циљу доношења одлуке о прихватању *техничког решења –под називом:*

ПРОГРАМСКО РЕШЕЊЕ ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ ТЕЛА ЕНДОПРОТЕЗЕ ЗГЛОБА КУКА

именују се рецензенти:

- Проф. др Зора Коњовић, Факултет техничких наука у Новом Саду
- Проф. др Горан Девеџић, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу

Аутори техничког решења: доцент др Слободан Табаковић, доцент др Зоран Милојевић, проф. др Милан Зељковић, мр Александар Живковић, мр Јован Грујић.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:

Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник



Декан

Проф. др Рале Дорословачки

Предмет: Мишљење о испуњености критеријума за признање техничког решења

На основу Одлуке Наставно научног већа Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду, од 07.12.2012. године којом сам именована за рецензента Техничког решења под насловом „ПРОГРАМСКО РЕШЕЊЕ ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ ТЕЛА ЕНДОПРОТЕЗЕ ЗГЛОБА КУКА” реализованог у оквиру пројекта ТР-35025 „САВРЕМЕНИ ПРИЛАЗИ У РАЗВОЈУ СПЕЦИЈАЛНИХ РЕШЕЊА УЛЕЖИШТЕЊА У МАШИНСТВУ И МЕДИЦИНСКОЈ ПРОТЕТИЦИ” и достављене документације о техничком решењу, а у складу са одредбама *Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача*, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије («Службени гласник РС», бр. 38/2008,) проф. др Зора Коњовић оцењује да су испуњени услови за признање својства техничког решења следећем резултату:

Назив: ПРОГРАМСКО РЕШЕЊЕ ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ ТЕЛА ЕНДОПРОТЕЗЕ ЗГЛОБА КУКА

Аутори: Доцент др Слободан Табаковић, доцент др Зоран Милојевић, редовни професор др Милан Зељковић, асистент мр Алексанадар Живковић и дипломирани инжењер мр Јован Грујић

Категорија техничког решења: (M85) Прототип, нова метода, софтвер, стандардизован или атестиран инструмент, нова генска проба, микроорганизми (уз доказ)

Образложење

Предложено решење урађено је у оквиру пројекта ТР-35025 „САВРЕМЕНИ ПРИЛАЗИ У РАЗВОЈУ СПЕЦИЈАЛНИХ РЕШЕЊА УЛЕЖИШТЕЊА У МАШИНСТВУ И МЕДИЦИНСКОЈ ПРОТЕТИЦИ. Предложено решење је рађено: 2011 – 2014. год.

Субјекти који су решење прихватили и примењују: Предузеће „Грујић и Грујић” из Новог Сада Мат. бр. : 08434654; Шифра делат.: 24.51; ПИБ: 101662455, и Факултет техничких наука Нови Сад; Мат. бр. : 08067104; Шифра делат.: 8542; ПИБ: 10774720

Предложено решење се користи на следећи начин:

Корисник помоћу низа дијалог прозора приступа систему и обавља све неопходне активности: У то спадају:

- Избор DICOM документа на коме се спроводи реконструкција фемура
- Унос параметара који се односе на анамнезу пацијента, као и планираног оперативног захвата
- Избор морфолошких елемената чије дефинисање није аутоматизовано, на рачунарском моделу фемура

Област на коју се техничко решење односи је: софтвер за аутоматизацију пројектовања

Проблем који се техничким решењем решава:

- Аутоматизација реконструкције облика и димензија фемура
- Аутоматизација избора дела морфолошких параметара фемура
- Аутоматизација избора глобалних параметара тела ендопротезе
- Аутоматизација избора локалних параметара тела ендопротезе
- Аутоматизација процеса пројектовања ендопротезе

Стање решености тог проблема у окружењу

У последњих десет година у европским научно истраживачким институцијама су интензивирани истраживања у подручју пројектовања ендопротеза зглоба кука по мери пацијента. Према сазнањима аутора, за аутоматизацију њиховог избора и пројектовања су развијена два програмска решења, Hiprip који се користи за полуаутоматску селекцију типа и димензија ендопротеза зглоба кука из базе понуђених и JADE програмско решење за пројектовање типских ендопротеза. У Србији се у два научноистраживачка центара (Машинском факултету у Нишу и Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу) спроводе истраживања из области усавршавања метода реконструкције фемура и пројектовања ендопротеза зглоба кука.

Суштина техничког решења.

Програмско решење за пројектовање тела ендопротезе зглоба кука је развијено на модуларном принципу. У оквиру њега постоје модули за аквизицију DICOM снимака, препроцесорску обраду утицајних фактора обољења, пацијента и морфологије фемура, дефинисање геометријских параметара ендопротезе и моделирање рачунарског модела ендопротезе. Погодно је за научно истраживачке и практичне примене за добијање прелиминарног модела тела ендопротезе.

Кориснички интерфејс програмског решења је прилагођен потребама и захтевима корисника медицинске струке, који немају предходну обуку из области рачунаром подржаног пројектовања производа.

Карактеристике предложеног техничког решења су следеће:

Програмско решење је конципирано као скуп подсистема развијених применом програмског језика C++ који се као целина интегришу у CAD програмски систем CATIA применом CAA (Component Application Architecture) интерфејса, користећи његове ресурсе за пројектовање производа. За реализацију модула за аквизицију DICOM података су коришћени програмски алати за увоз и обраду дијагностичких снимака и филтери за побољшање контраста слика присутни у ITK (Insight Segmentation and Registration Toolkit) библиотеци.

Могућности примене предложеног техничког решења:

Програмско решење за пројектовање тела ендопротезе зглоба кука је предвиђено за употребу у пројектантским одељењима предузећа које развијају ендопротезе, уз интерфејс прилагођен специјалистима ортопедије у фазама пројектовања где су неопходне њихове субјективне и објективне одлуке. Обзиром на обим производње наведених производа наведена предузећа спадају у групу малих предузећа.

На основу свега наведеног као рецензент оцењујем да резултат истраживачког рада под називом: „ПРОГРАМСКО РЕШЕЊЕ ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ ТЕЛА ЕНДОПРОТЕЗЕ ЗГЛОБА КУКА” представља резултат који се по важећим критеријумима може сврстати у категорију M85.

У Новом Саду, 17.01.2013. год.

Рецензент:

Проф. др Зора Коњовић, редовни професор
Факултета техничких наука, Нови Сад



Одлуком Наставно научног већа Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду, од 07.12.2012. године, именован сам за рецензента Техничког решења под насловом „ПРОГРАМСКО РЕШЕЊЕ ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ ТЕЛА ЕНДОПРОТЕЗЕ ЗГЛОБА КУКА”, реализованог у оквиру пројекта ТР-35025 „САВРЕМЕНИ ПРИЛАЗИ У РАЗВОЈ СПЕЦИЈАЛНИХ РЕШЕЊА УЛЕЖИШТЕЊА У МАШИНСТВУ И МЕДИЦИНСКОЈ ПРОТЕТИЦИ”, а у сарадњи са предузећем „Грујић и Грујић” из Новог Сада, чији су аутори: др Слободан Табаковић, доцент, др Зоран Милојевић, доцент, др Милан Зељковић, редовни професор, мр Александар Живковић, асистент и мр Јован Грујић, дипл. маш. инж. На основу прегледа Елабората овог техничког решења и увида у публиковане радове, у складу са одредбама *Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача* (у даљем тексту „Правилник“), који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије („Службени гласник РС“, бр. 38/2008) о истом подносим следећи

ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење „ПРОГРАМСКО РЕШЕЊЕ ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ ТЕЛА ЕНДОПРОТЕЗЕ ЗГЛОБА КУКА”, аутора: доцента др Слободана Табаковића, доцента др Зорана Милојевића, редовног професора др Милана Зељковића, асистента мр Александра Живковића и мр Јована Грујића описано је у Елаборату који садржи 25 страница формата А4. Елаборат садржи шест поглавља у које спада и списак коришћене литературе (29 референци) и 21 слика. Наслови поглавља су:

1. Област примене техничког решења
2. Технички проблем
3. Научно-стричне подлоге техничког решења
4. Детаљан опис техничког решења
5. Закључак
6. Литература

Техничко решење према Правилнику припада категорији техничког решења М85: Прототип, нова метода, софтвер, стандардизован или атестиран инструмент, нова генска проба, микроорганизми (уз доказ). Подкатегија конкретног Техничког решења је „софтвер“. Техничко решење (софтвер – програмско решење) је предвиђено за аутоматизацију процеса пројектовања производа и реализовано је у оквиру пројекта ТР-35025 „Савремени прилази у развоју специјалних решења улежиштења у машинству и медицинској протетици” из програма технолошког развоја Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Програмско решење за пројектовање тела ендопротезе зглоба кука користи се на Факултету техничких наука као средство за усавршавање процеса пројектовања ендопротеза и у предузећу „Грујић и Грујић” из Новог Сада (Матични број: 08434654; Шифра делатности: 24.51; ПИБ: 101662455) које се бави развојем и изградом протетичких помагала.

У поглављу *Област примене* техничког решења се указује на могућности и подручје примене програмског решења за пројектовање ендопротеза.

У поглављу *Технички проблем* је описана проблематика ендопротеза зглоба кука. Детаљно су описани оперативни поступак замене природног зглоба кука

вештачким, досадашње методе примењиване у процесу развоја ендопротеза и наведени су разлози за све чешћу примену ендопротеза које су развијане за конкретног пацијента.

Поглавље *Научно-технолошке подлоге техничког решења* се детаљно описује процес развоја ендопротеза зглоба кука према мерама пацијента и неопходне активности за његову аутоматизацију. У овом поглављу су описани поступак реконструкције фемура на основу дијагностичких снимака, утицајни фактори који утичу на процес пројектовања, оригинални приступ поступку моделирања ендопротезе и опис процеса пројектовања ендопротезе кроз неопходне кораке и увођење функционалних зависности између утицајних фактора и параметара рачунарског модела.

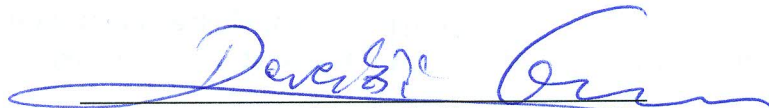
У поглављу *Детаљан опис техничког решења* је описана глобална структура и реализација програмског решења. Структура програмског система је описана парцијално кроз опис и начин функционисања свих подсистема. У сегменту поглавља који се односи на реконструкцију фемура је описан усвојени метод обраде дијагностичких снимака код ког се информације о фемуру добијају применом 2Д сегментације снимака са дијагностичких уређаја. У сегменту који се односи на формирање улазних информација у процес пројектовања се дефинише одговарајући низ информација делом у аутоматизованом режиму на основу реконструисаног снимка а делом у интерактивној комуникацији лекара специјалисте и програмског решења.

У закључку се на основу представљених чињеница сумирају могућности развијеног програмског решења у истраживачким и активностима пројектовања конкретних ендопротеза. Поред тога се указује на допринос који у области развоја ендопротеза према мерама пацијента представља развијено програмско решење.

МИШЉЕЊЕ

Аутори техничког решења „ПРОГРАМСКО РЕШЕЊЕ ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ ТЕЛА ЕНДОПРОТЕЗЕ ЗГЛОБА КУКА” су Елаборатом детаљно описали методологију аутоматизованог пројектовања тела ендопротезе зглоба кука и структуру програмског решења за његову реализацију. Приказане карактеристике програмског решења и могућности његовог прилагођавања различитим типовима ендопротеза јасно указују да ово техничко решење представља допринос у аутоматизације пројектовања ендопротеза у биомедицинском инжењерингу. Предлажем Наставно научног већу Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду, да софтвер „ПРОГРАМСКО РЕШЕЊЕ ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ ТЕЛА ЕНДОПРОТЕЗЕ ЗГЛОБА КУКА” прихвати као ново техничко решење категорије М-85.

У Крагујевцу,
22. јануара 2013. године



Проф. Др Горан Девеџић
Факултет инжењерских наука
Сестре Јањић 6
34000 Крагујевац

е-пошта: devdzic@kg.ac.rs



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централна: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftnDean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број: _____

Датум: 2012-12-28

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 3. редовној седници одржаној дана 26.12.2012. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

Тачка 14.1.11. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње / верификација нових техничких решења

Одлука

На основу позитивног извештаја рецензената прихвата се
техничко решење – под називом:

ПРОГРАМСКО РЕШЕЊЕ ЗА ПРОЈЕКТОВАЊЕ ТЕЛА ЕНДОПРОТЕЗЕ ЗГЛОБА КУКА

Аутори техничког решења: доцент др Слободан Табаковић, доцент др Зоран Милојевић, проф. др Милан Зељковић, мр Александар Живковић, мр Јован Грујић.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник



Проф. др Раде Дорословачки