

Analitičko određivanje pomaka zuba

Ojdanić, Antonio

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:966242>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Antonio Ojdanić

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić, dipl. ing.

Student:

Antonio Ojdanić

Zagreb, 2021.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Tanji Jurčević Lulić na savjetima i pomoći tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se dr. sc. Jasni Leder Horini na utrošenom vremenu, savjetima, podršci i razumijevanju tijekom izrade ovog rada.

Neizmjerno sam zahvalan roditeljima, braći Ivanu, Marinu i Dariju kao i svim prijateljima koji su bili uz mene za vrijeme trajanja ovog dugog preddiplomskog studija.

Antonio Ojdanić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 21 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 21 -	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Antonio Ojdanić** Mat. br.: 0035196872

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Analitičko određivanje pomaka zuba**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Analytical determination of orthodontic tooth movement**

Opis zadatka:

Kod ortodontske terapije dolazi do pomaka zuba u željeni položaj, a taj pomak prvenstveno ovisi o iskustvu ortodonta. Uz pomoć softvera, moguće je odrediti točan pomak zuba.

U radu je potrebno, na temelju CBCT snimki pacijenta, izraditi model desne polovine gornje čeljusti s pripadajućim jednokrijenskim zubima prije i nakon terapije. Cilj je prikazati zube prije i poslije ortodontske terapije kako bi se mogla utvrditi vrsta ortodontskog pomaka zubi. Potrebno je analitički odrediti iznose pomaka zubi, odnosno rotacije, s obzirom na početak terapije.

Potrebne parametre modela dogovoriti s mentorom.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
30. studenoga 2020.

Datum predaje rada:
1. rok: 18. veljače 2021.
2. rok (izvanredni): 5. srpnja 2021.
3. rok: 23. rujna 2021.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 22.2. – 26.2.2021.
2. rok (izvanredni): 9.7.2021.
3. rok: 27.9. – 1.10.2021.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA	VI
POPIS OZNAKA	VII
SAŽETAK	VIII
SUMMARY	IX
1. UVOD	1
2. ZUBI	2
2.1. Anatomske dijelove zuba	2
2.2. Građa zuba	3
2.2.1. Čaklina	3
2.2.2. Dentin	4
2.2.3. Cement	5
2.2.4. Pulpa	6
2.3. Potporne strukture zuba	7
2.3.1. Parodontni ligament	7
2.3.2. Alveolna kost	9
2.3.3. Gingiva	10
2.4. Anomalije zuba	10
2.4.1. Urođene anomalije	10
2.4.1.1. Mikrodoncija i makrodoncija	11
2.4.1.2. Hiperdoncija i hipodoncija	11
2.4.1.3. Fuzija i geminacija	12
2.4.2. Stečene anomalije	13
2.4.2.1. Malokluzija	13
2.4.2.2. Erozija	14
2.4.2.3. Patološka abrazija	14
2.4.2.4. Prijelom	15
2.5. Klasifikacija zuba	15
2.5.1. Podjela zuba prema periodu nicanja	15
2.5.2. Podjela zuba prema morfološkom obliku	17
2.5.3. Podjela zuba prema lokalizaciji u zubnom luku	17
2.6. Obilježavanje zuba	17
2.7. Oblik zubnih lukova	18
2.8. Orijentacijske ravnine i površine zuba	19
2.8.1. Orijentacijske ravnine	19
2.8.2. Površine zuba	19
3. ORTODONCIJA	21
3.1. Ortodontske naprave	22

3.1.1. Edgewise naprava	22
4. BIOMEHANIKA ZUBA	24
4.1. Raspodjela sile u ortodontskoj terapiji	24
4.2. Centar otpora	24
4.3. Centar rotacije	25
4.4. Vrste ortodontskog pomaka zubi	26
4.4.1. Translacija	26
4.4.2. Naginjanje	27
4.4.3. Rotacija	29
4.4.4. Ekstruzija i intruzija	29
5. IZRADA MODELA ČELJUSTI	30
6. MJERENJE ORTODONTSKIH POMAKA ZUBA	34
6.1. Prvi sjekutić	34
6.2. Drugi sjekutić	40
6.3. Očnjak	46
7. NAGINJANJE I ROTACIJA ZUBA	53
7.1. Prvi sjekutić	53
7.2. Drugi sjekutić	54
7.3. Očnjak	55
8. USPOREDBA REZULTATA	57
9. ZAKLJUČAK	58
LITERATURA	59

POPIS SLIKA

Slika 2.1 Korijen, kruna i vrat zuba [5]	2
Slika 2.2 Građa zuba [4]	3
Slika 2.3 Kristali kalcijevog fosfata [6]	4
Slika 2.4 Caklina (A) i dentin (B) [6]	5
Slika 2.5 Celularni (B) i acelularni (A) cement [7]	6
Slika 2.6 Periodont [8]	7
Slika 2.7 Osnovna vlakna parodontnog ligamenta [7]	8
Slika 2.8 Alveolna kost [7]	9
Slika 2.9 Građa alveolne kosti	10
Slika 2.10 Mikrodoncija [9]	11
Slika 2.11 Makrodoncija [10]	11
Slika 2.12 Hiperdoncija [11]	12
Slika 2.13 Hipodoncija [11]	12
Slika 2.14 Fuzija [4]	12
Slika 2.15 Geminacija [13]	13
Slika 2.16 Malokluzija [14]	13
Slika 2.17 Erozija [15]	14
Slika 2.18 Patološka abrazija [16]	14
Slika 2.19 Prijelom [17]	15
Slika 2.20 Mliječna i stalna denticija [18]	16
Slika 2.21 Mliječni i stalni zubi [19]	16
Slika 2.22 Morfološka podjela zuba [20]	17
Slika 2.23 Obilježavanje zuba [21]	18
Slika 2.24 Oblik zubnih lukova [22]	18
Slika 2.25 3D prikaz orijentacijskih ravnina [22]	19
Slika 2.26 Prikaz u medijalnoj ravnini [22]	19
Slika 2.27 Orijetacijske plohe na sjekutiću [22]	20

Slika 3.1 Ortodontske anomalije [23].....	21
Slika 3.2 Bravice edgewise naprave [26]	23
Slika 3.3 Aplicirana edgewise naprava [26].....	23
Slika 4.1 Raspodjela sile [25].....	24
Slika 4.2 Centar otpora [25]	25
Slika 4.3 Promijenjeni centar otpora [25].....	25
Slika 4.4 Centar rotacije prilikom djelovanja sprega sila [25]	26
Slika 4.5 Translacija [25]	27
Slika 4.6 Translacija [25]	27
Slika 4.7 Kontrolirano naginjanje [25].....	28
Slika 4.8 Nekontrolirano naginjanje [25]	28
Slika 5.1 Prikaz ravnina nakon učitavanja CBCT snimki	30
Slika 5.2 Thresholding.....	31
Slika 5.3 Calculate part.....	31
Slika 5.4 3D prikaz modela maske	32
Slika 5.5 Prije terapije	32
Slika 5.6 Poslije terapije	33
Slika 6.1 Pomak točke A u smjeru x osi.....	35
Slika 6.2 Pomak točke A u smjeru y osi.....	35
Slika 6.3 Pomak točke A u smjeru z osi	36
Slika 6.4 Pomak točke B u smjeru x osi.....	37
Slika 6.5 Pomak točke B u smjeru y osi.....	37
Slika 6.6 Pomak točke B u smjeru z osi	38
Slika 6.7 Pomak točke C u smjeru x osi.....	39
Slika 6.8 Pomak točke C u smjeru y osi.....	39
Slika 6.9 Pomak točke C u smjeru z osi	40
Slika 6.10 Pomak točke A u smjeru x osi.....	41
Slika 6.11 Pomak točke A u smjeru y osi.....	41
Slika 6.12 Pomak točke A u smjeru z osi	42
Slika 6.13 Pomak točke B u smjeru osi x.....	43
Slika 6.14 Pomak točke B u smjeru y osi.....	43

Slika 6.15 Pomak točke B u smjeru z osi	44
Slika 6.16 Pomak točke C u smjeru x osi.....	45
Slika 6.17 Pomak točke C u smjeru y osi.....	45
Slika 6.18 Pomak točke C u smjeru z osi	46
Slika 6.19 Pomak točke A u smjeru x osi.....	47
Slika 6.20 Pomak točke A u smjeru y osi.....	47
Slika 6.21 Pomak točke A u smjeru z osi	48
Slika 6.22 Pomak točke B u smjeru x osi.....	49
Slika 6.23 Pomak točke B u smjeru y osi.....	49
Slika 6.24 Pomak točke B u smjeru z osi	50
Slika 6.25 Pomak točke C u smjeru x osi.....	51
Slika 6.26 Pomak točke C u smjeru y osi.....	51
Slika 6.27 Pomak točke C u smjeru z osi	52
Slika 7.1 Naginjanje prvog sjekutića.....	53
Slika 7.2 Rotacija prvog sjekutića	54
Slika 7.3 Naginjanje drugog sjekutića.....	54
Slika 7.4 Rotacija drugog sjekutića	55
Slika 7.5 Naginjanje očnjaka.....	55
Slika 7.6 Rotacija očnjaka	56

POPIS TABLICA

Tablica 8.1 Usporedba komponenti pomaka te kutova zakreta zuba	57
Tablica 8.2 Usporedba ukupnog pomaka točaka A, B i C	57

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
l_A	mm	Ukupni pomak točke A
l_B	mm	Ukupni pomak točke B
l_C	mm	Ukupni pomak točke C
u_A	mm	Pomak točke A u smjeru osi x
u_B	mm	Pomak točke B u smjeru osi x
u_C	mm	Pomak točke C u smjeru osi x
v_A	mm	Pomak točke A u smjeru osi y
v_B	mm	Pomak točke B u smjeru osi y
v_C	mm	Pomak točke C u smjeru osi y
w_A	mm	Pomak točke A u smjeru osi z
w_B	mm	Pomak točke B u smjeru osi z
w_C	mm	Pomak točke C u smjeru osi z

SAŽETAK

Cilj ovog završnog rada bio je izraditi modele gornje desne polovine čeljusti s pripadajućim jednokorijenskim zubima prije i nakon ortodontske terapije na temelju CBCT snimki pacijenta.

Analitički su određeni pomaci svakog zuba prije i nakon terapije, kao i zakret zuba.

Završni rad je sastavljen od dva dijela. Prvi dio je teoretski u kojem su obrađeni osnovni pojmovi kao što su: osnovni dijelovi zuba, njihova građa, potporne strukture te zubne anomalije koje se mogu pojaviti. U drugom dijelu prikazano je modeliranje jednokorijenskih zubi uz mjerenje i izračunavanje ortodontskih pomaka i kutova zakreta.

Ključne riječi: biomehanika zuba, ortodontski pomak, Mimics

SUMMARY

The aim of this paper was to make models of the upper right half of the jaw with the corresponding single-rooted teeth before and after orthodontic therapy. Models should be made using the CBCT scans of the patient.

The displacements of each tooth before and after therapy, as well as the rotation of the tooth were determined analytically.

The first part of the paper is theoretical, which deals with basic concepts such as : basic parts of the teeth, their structure, supporting structures and dental anomalies that may occur.

The second part of this paper presents modeling of single-rooted teeth with the measurement and calculation of orthodontic displacements and angles of rotation.

Key words : tooth biomechanics, orthodontic displacement, Mimics

1. UVOD

Zubi su organi u ljudskom tijelu koji se nalaze u usnoj šupljini. Njihova funkcija je raznolika, a najbitnije je drobljenje hrane i uloga u govoru. Također, utječu na estetiku ljudskog lica.

Stomatologija ili dentalna medicina je klinička disciplina koja se bavi liječenjem zuba, usne šupljine i okolnih struktura [1].

Ortodoncija je grana stomatologije koja se bavi rastom i razvojem dentofacijalnog kompleksa te proučavanjem i sprječavanjem čimbenika koji mogu uzrokovati malokluzije [2]. Malokluzija je poremećaj normalnog zagriža kod pacijenta [3]. Nepravilan zagriz je problematičan jer stvara sile koje uzrokuju prijevremeno trošenje zuba. Razvojem stomatologije i ortodoncije moguće je ispraviti nepravilan položaj zubi kod čovjeka. Prilikom ortodontske terapije dolazi do pomaka zuba u željeni položaj [2].

U ovom završnom radu potrebno je izraditi model dva sjekutića i očnjaka desne polovice gornje čeljusti prije i nakon ortodontske terapije na temelju CBCT snimki pacijenta.

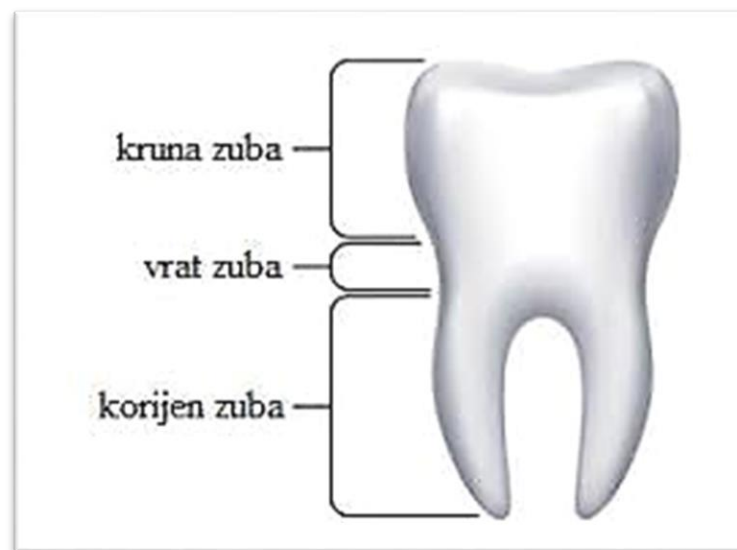
Nakon toga potrebno je utvrditi vrstu ortodontskog pomaka zubi i analitički odrediti iznose pomaka, odnosno rotacije zuba, s obzirom na početak terapije.

2. ZUBI

Zubi su kalcificirani organi koji se nalaze u usnoj šupljini na početku probavnog trakta. Zube nalazimo u alveolarnim nastavcima gornje čeljusti (lat. maxilla) i donje čeljusti (lat. mandibula). Smješteni su u zubne čašice, tj. alveole. Čovjek obično ima 32 stalna i 20 mliječnih zuba [4].

2.1. Anatomske dijelove zuba

Svaki zub se sastoji od tri osnovna dijela, a to su : kruna, vrat i korijen zuba (Slika 2.1).



Slika 2.1 Korijen, kruna i vrat zuba [5]

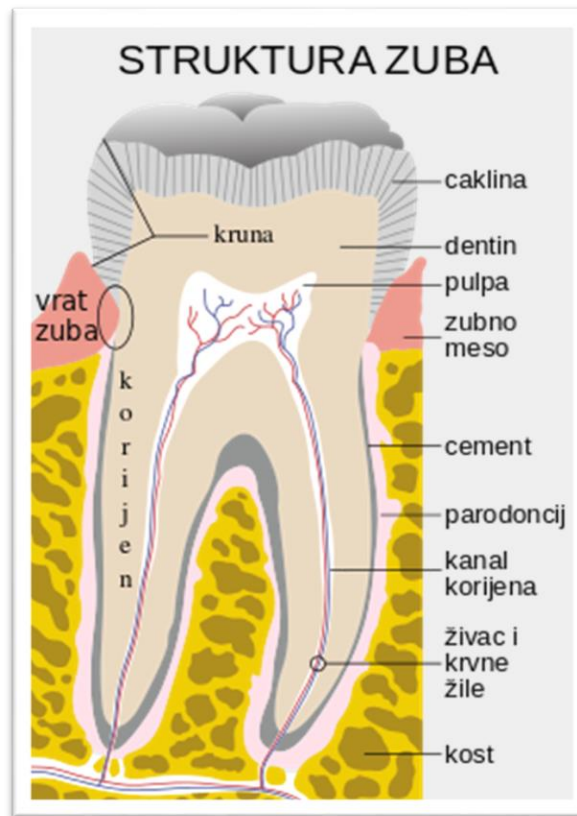
Kruna zuba se dijeli na anatomske i kliničke krunu. Anatomska kruna označava dio zuba koji je prekriven caklinom i prilikom pregleda se ne vidi jer je njen vratni dio prekriven desnama. Klinička kruna je vidljivi dio zuba koji se mijenja tokom života uslijed djelovanja različitih faktora.

Vrat zuba je suženi dio zuba koji se nalazi na granici cakline i cementa. Ima oblik plitkog žlijeba koji zovemo cervikalna linija.

Korijen zuba je dio koji služi za učvršćivanje. Prekriven je cementom i ugrađen je u zubnu jamicu (alveolu). Broj i veličina korijena se razlikuje od zuba do zuba. Razlikujemo jednokorjene, dvokorjene i trokorjene zube. Jednokrjenu zubi su sjekutići, očnjaci i pretkutnjaci (osim gornjeg prvog pretkutnjaka). Dvokrjenu zubi su svi donji kutnjaci i gornji prvi pretkutnjak. Trokorjenu zubi su svi gornji kutnjaci [1].

2.2. Građa zuba

Zub se u osnovi sastoji od tri kalcificirana tkiva : cakline, dentina i cementa te zubne pulpe koja predstavlja posebno vezivno tkivo (Slika 2.2) [4].



Slika 2.2 Građa zuba [4]

2.2.1. Caklina

Caklina je najtvrdije tkivo u ljudskom organizmu i sastoji se od preko 95% anorganskog sadržaja [6].

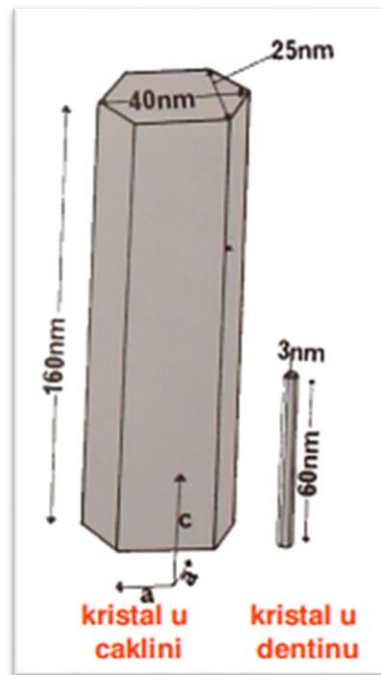
Ona služi za zaštitu unutrašnjosti zuba od jakih žvačnih sila i daje oblik zuba. Caklina je poluprozirna, a boja joj je siva ili plavkasto-bijela te ovisi o njenoj debljini.

Debljina cakline varira od 2,5 mm na griznim plohama do tek nekoliko desetinki milimetra na cervikalnom rubu. Karakterizira je visoka tvrdoća što omogućava otpornost na žvačne sile i bolju zaštitu dentina. Tvrdoća cakline u pravilu je veća na žvačnim plohama.

Caklinu karakterizira visok modul elastičnosti, niska čvrstoća i krhkost. Zbog toga caklina mora biti poduprta dentinom kako ne bi došlo do njenog loma.

Caklina se sastoji od 96% mineralne tvari (anorganski dio), 1% organske tvari i 3% vode.

Anorganski dio cakline čine kristali kalcijevog fosfata (hidroksiapatita). Kristali su heksagonalni na poprečnom presjeku i dugi 160 nm (Slika 2.3) [6].



Slika 2.3 Kristali kalcijevog fosfata [6]

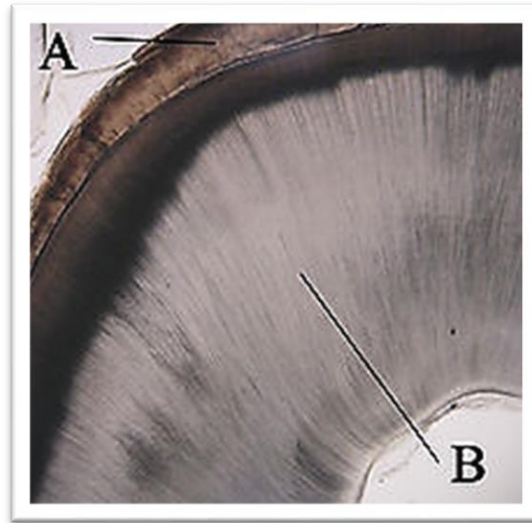
2.2.2. Dentin

Dentin ili zubna kost je je čvrsto tkivo koje izgrađuje najveći dio zuba. U području krune je prekriven caklinom (Slika 2.4.), a u području korijena cementom te ga nije moguće vidjeti. Njegov oblik sličan je obliku zuba, a u svom središnjem dijelu formira zubnu šupljinu [4].

Dentin je blijedo-žute boje. Tvrđi je od kosti i cementa, ali mekši od cakline. Elastičan je i prožet sustavom cjevčica što ga čini propusnijim od cakline.

Sastoji se od 70% anorganske tvari, 20% organske tvari i 10% vode. Najveći dio anorganskih tvari čine kristali hidroksiapatita ugrađeni u čvrstu mrežu kolagenih vlakana. Sadrži i soli kalcija koje ga čine izuzetno otpornim na pritisak.

Dentin se stvara tokom cijelog života i razlikujemo sekundarni i tercijalni dentin [6].



Slika 2.4 Caklina (A) i dentin (B) [6]

2.2.3. Cement

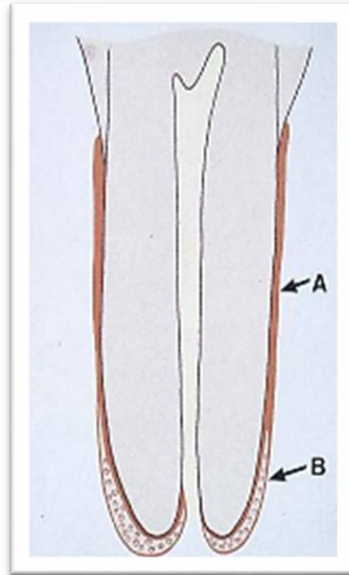
Cement je mineralizirano vezivno tkivo koje prekriva dentin u korijenu zuba. Pruža se od cervikalnog ruba cakline do vrha korijena. Debljina cementa ovisi o starosti i dijelu korijena na kojem se nalazi.

Funkcije cementa su :

- 1) vezivanje kolagenih vlakana paradontnog ligamenta za površinu dentina
- 2) održavanje odgovarajuće širine paradonta i duljine korijena koji su potrebni za savladavanje opterećenja
- 3) kao reparacijsko tkivo kojim se nadoknađuju oštećenja u području korijena.

Prema svojoj građi cement je sličan kostima i sastoji se od 27% organskog dijela, 61% anorganskog dijela i 12% vode [7].

Osnovna boja cementa je svijetložućkasta, a može poprimiti i boju dentina. Propusnost cementa se smanjuje sa starošću, što je povezano sa većom mineralizacijom. Kod ljudi postoje dvije vrste cementa, a to su celularni i acelularni cement (Slika 2.5) [7]. Celularni cement sadrži stanice cementocite, smješten je u vršku korijena i prekriva acelularni cement. Celularni cement je propusniji od acelularnog cementa [7].



Slika 2.5 Celularni (B) i acelularni (A) cement [7]

2.2.4. Pulpa

Zubna pulpa je posebno vezivno tkivo koje ispunjava unutrašnjost zuba. Osnovni elementi pulpe su vezivno-tkivne stanice, vlakna i osnovna supstanca. Osnovna supstanca se sastoji od kolagenih vlakana, krvnih i limfnih žila, živčanih vlakana te malog broja stanica (fibroblasti, fibrociti, odontoblasti i sl.) [4]. Kod starijih osoba pulpa se postupno smanjuje zbog slabije prokrvljenosti.

Pulpa ima više funkcija :

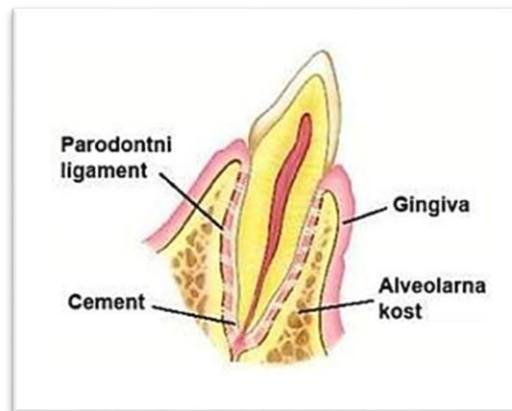
- 1) proizvodnja kolagenih vlakana i dentina,
- 2) regulira metabolizam svih ostalih dijelova zuba,
- 3) neurosenzornu jer sadrži živčana vlakna,
- 4) obrambenu zbog stvaranja sekundarnog i tercijalnog dentina.

Endodonticija je grana stomatologije koja se bavi terapijom oboljele pulpe [4].

2.3. Potporne strukture zuba

Potporne strukture zuba služe kako bi se zub povezao sa okolnim tkivima i osiguravaju osjećaj dodira i pritiska. Sastoje se od paradontnog ligamenta, alveolne kosti, gingive i cementa koji jedini pripada zubu (Slika 2.6).

Potporne strukture zuba se također zajedno nazivaju periodont.



Slika 2.6 Periodont [8]

2.3.1. Parodontni ligament

Parodontni ligament je gusto vezivno tkivo koje osigurava vezivanje zuba preko njegovog cementa za okolnu alveolnu kost. Nalazi se u paradontnom prostoru širokom između 0,4 i 1,5 mm koje je smješteno između cementa i alveolne kosti [7].

Funkcije paradontnog ligamenta su :

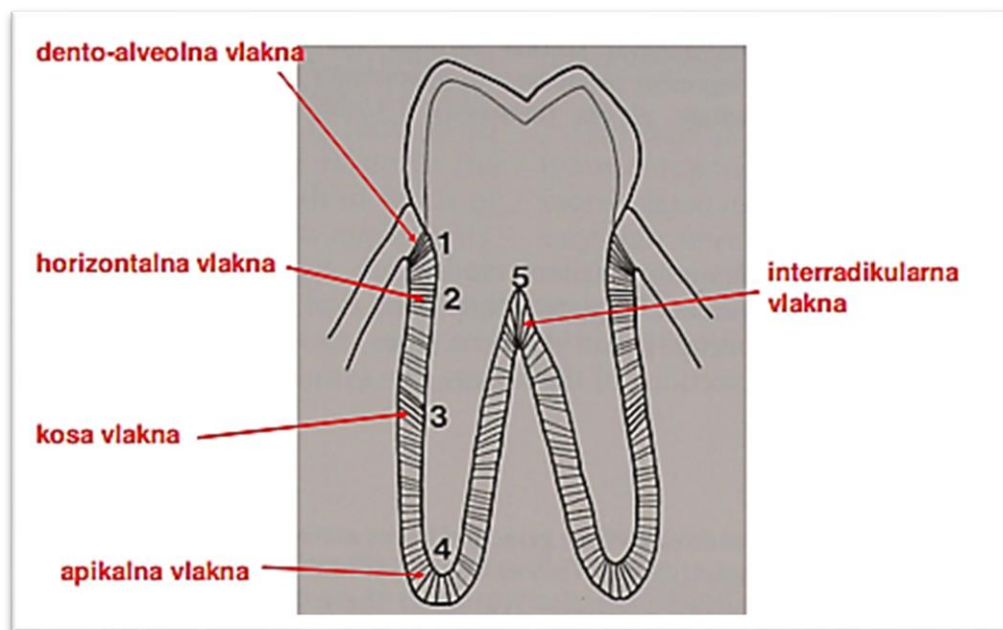
- 1) zadržavanje gingive u pravilnom položaju u odnosu na zub,
- 2) prenosi žvačne sile sa zuba na alveolnu kost,
- 3) sudjeluje u stvaranju tvrdih tkiva paradonta,
- 4) osigurava hranu okolnim tkivima cementa i alveolne kosti,
- 5) živci paradontnog ligamenta su zaduženi za osjet boli, dodira i sl.

Parodontni ligament se sastoji od stanica, međustanične tvari i vlakana. Opskrbljen je krvnim i limfnim žilama te živcima.

U parodontnom ligamentu razlikujemo dvije vrste živčanih vlakana, a to su senzorna i autonomna simpatička vlakna. Senzorna vlakna služe za prijenos osjeta, dok autonomna simpatička vlakna služe za regulaciju protoka krvi kroz krvne žile [7].

Stanice parodontnog ligamenta služe za njegovo obnavljanje i za stvaranje cementa i alveolne kosti. Neke od stanica parodontnog ligamenta su : fibroblasti, osteoklasti, osteoblasti, cementoblasti, epitelne stanice i sl.

Vlakna parodontnog ligamenta mogu biti : kolagena (tip I i tip III), oksitalanska, retikulinska i elastična. Kolagena fibrila je najmanja strukturna jedinica parodontnog ligamenta. Kolageni snop se dobiva kada je više kolagenih fibrila poredano paralelno. Razlikujemo cemento-gingivne snopove, transeptalne snopove i cemento-alveolne snopove. Osnovna vlakna parodontnog ligamenta prikazana su na slici 2.7.



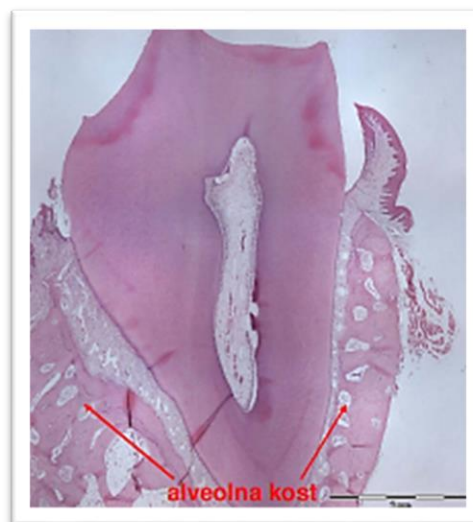
Slika 2.7 Osnovna vlakna parodontnog ligamenta [7]

Osnovna vezivna tvar parodontnog ligamenta se nalazi između kolagenih elemenata. Sadržava polisaharide poput hijaluronske kiseline, sumporne kiseline i tropokolagena [7].

2.3.2. Alveolna kost

Alveolna kost se nalazi oko samog zuba i ima funkciju da ga okruži i učvrsti (Slika 2.8). Izgrađuje alveolni nastavak koji skupa s kostima gornje čeljusti (maksile) i donje čeljusti (mandibule) čini jednu cjelinu. Alveolna kost se izgrađuje tijekom nicanja zuba, a resorbira se njihovim gubitkom [7].

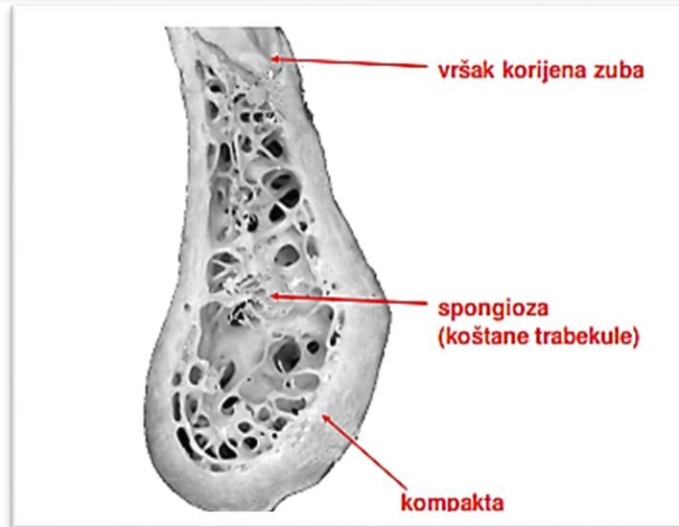
Ima dvije osnovne uloge, a to su vezivanje vlakana parodontnog ligamenta i prijenos i amortizaciju sila tijekom žvakanja.



Slika 2.8 Alveolna kost [7]

Alveolna kost izgrađena je od 45% anorganskih tvari, 35% organskih tvari, a ostalih 20% čini voda. 60% anorganskog dijela čine kristali hidroksiapatita dok je ostalih 40% tvari sadržano u amorfnom kalcij-fosfatu. Organski dio se uglavnom sastoji od kolagena.

S obzirom na funkciju alveolne kosti ona se može podijeliti na dva dijela: dio na koji se pripajaju vlakna parodontnog ligamenta i potporni dio. Potporni dio se sastoji od kompaktne i spužvaste (spongiozne) kosti (Slika 2.9) [7].



Slika 2.9 Građa alveolne kosti

2.3.3. Gingiva

Gingiva ili desni je meko tkivo koje prekriva zube i alveolnu kost i tako ju štiti od prodora bakterija. Gingivu dijelimo na slobodnu, pripojnu i interdentalnu.

Slobodna gingiva oblaže vrat zuba i ljubičaste je boje. Pripojna gingiva je čvrsta i elastična te je vezana za vanjsku ovojnicu alveolne kosti. Interdentalna gingiva se nalazi između dva susjedna zuba. [4]

2.4. Anomalije zuba

Uslijed djelovanja različitih faktora, odnosno metaboličkih smetnji, mogu se pojaviti zubne anomalije. Glavna podjela zubnih anomalija je na stečene i urođene anomalije [4].

2.4.1. Urođene anomalije

Urođene anomalije su anomalije vezane za oblik, veličinu i broj zuba.

2.4.1.1. Mikrodoncija i makrodoncija

Mikrodoncija i makrodoncija su poremećaji vezani za veličinu zuba. U prvom slučaju radi smanjenju, a u drugom slučaju o povećanju zubnog organa (Slika 2.10) (Slika 2.11) [4].



Slika 2.10 Mikrodoncija [9]



Slika 2.11 Makrodoncija [10]

2.4.1.2. Hiperdoncija i hipodoncija

Hiperdoncija i hipodoncija označavaju poremećaj u broju zuba. Hiperdoncija označava prekomjeren rast zuba (Slika 2.12) , dok hipodoncija označava odsustvo nekih zuba (Slika 2.13).

Također je korisno spomenuti anodonciju koja predstavlja potpuno odsustvo mliječnih i stalnih zubiju te oligodonciju koja označava nedostatak šest i više zuba [4].



Slika 2.12 Hiperdoncija [11]



Slika 2.13 Hipodoncija [11]

2.4.1.3. Fuzija i geminacija

Fuzija i geminacija su anomalije koje označavaju poremećeni oblik zuba. Fuzija označava spajanje dva susjedna zuba (Slika 2.14), dok se kod geminacije jedan zub podijeli na dva dijela (Slika 2.15) [4].



Slika 2.14 Fuzija [4]



Slika 2.15 Geminacija [13]

2.4.2. Stečene anomalije

Stečene zubne anomalije predstavljaju osnovnu patologiju zuba i dijele se na malokluziju, eroziju, patološku abraziju i prijelom [4].

2.4.2.1. Malokluzija

Malokluzija je najčešće nasljedna pojava kod koje gornji i donji zubi ne nasijedaju prikladno jedan na drugi te to dovodi do nepravilno raspoređenih žvačnih sila i povećanog trošenja cakline (Slika 2.16). Malokluzija se liječi upotrebom ortodontskih aparatića pomoću kojih se zubi dovode u pravilan položaj [4].



Slika 2.16 Malokluzija [14]

2.4.2.2. Erozija

Erozija se najčešće javlja na labijalnim površinama prednjih zubiju i pretkutnjacima. Nastaje u predjelu caklinsko-dentinskog spoja (Slika 2.17). To su udubljenja žute ili sive boje i ponekad mogu izazvati bol. Erozija je otporna na karijes [4].



Slika 2.17 Erozija [15]

2.4.2.3. Patološka abrazija

Patološka abrazija označava prekomjerno trošenje zuba i može se javiti u svim pravcima (Slika 2.18). Narušava međučeljusne odnose i narušava funkciju zubala. Liječenje patološke abrazije moguće je primjenom stomatološke protetike [4].



Slika 2.18 Patološka abrazija [16]

2.4.2.4. Prijelom

Prijelom zuba je posljedica traumatske povrede i odgovarajućim liječenjem ti zubi se mogu očuvati (Slika 2.19) [4].



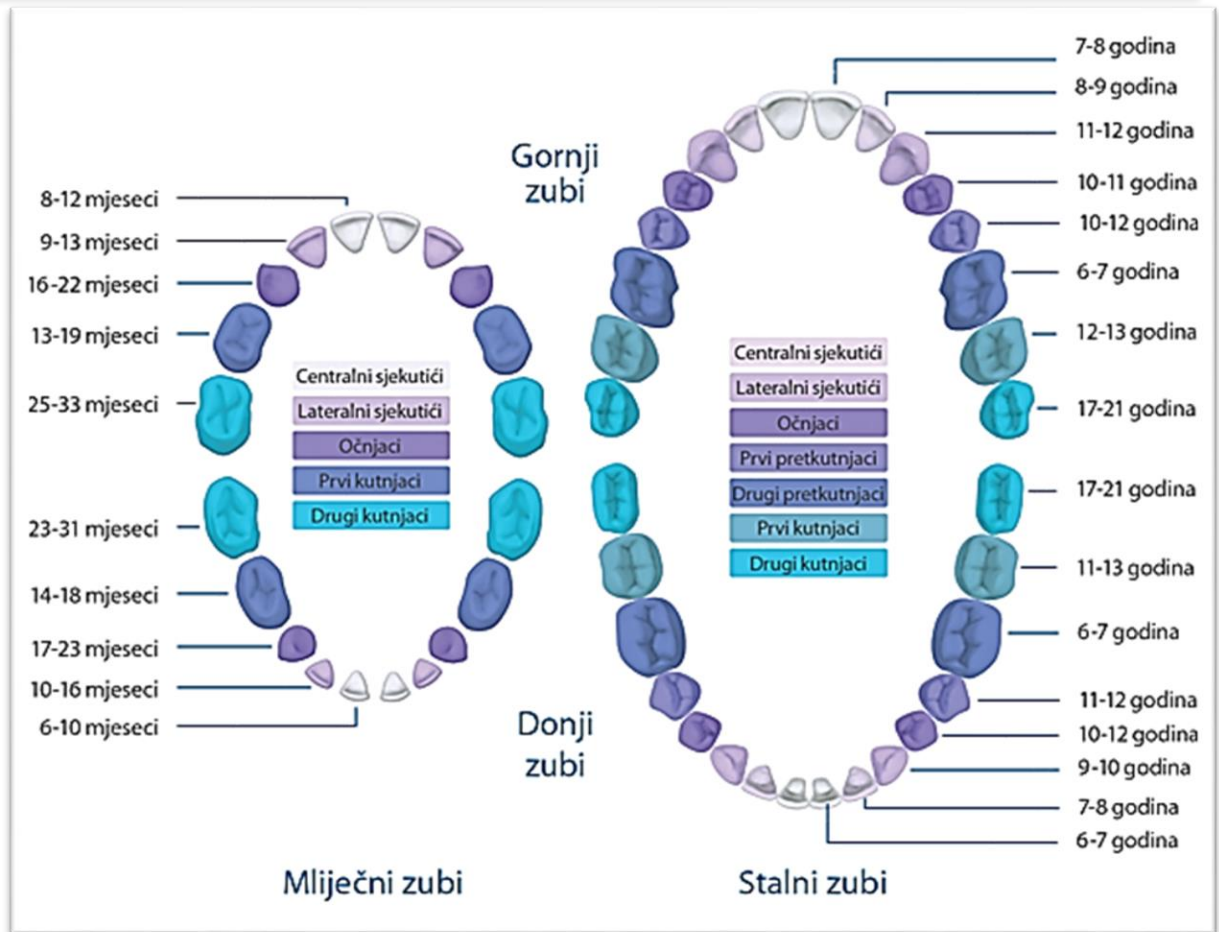
Slika 2.19 Prijelom [17]

2.5. Klasifikacija zuba

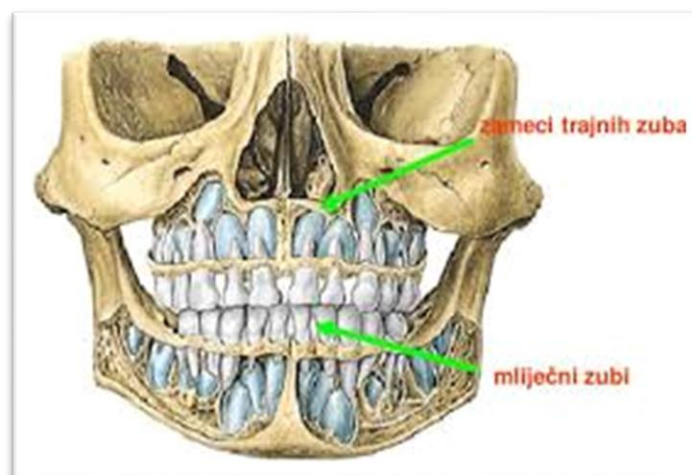
Osnovna podjela zuba je prema: periodu nicanja, morfološkom obliku i lokalizaciji u zubnom luku [4].

2.5.1. Podjela zuba prema periodu nicanja

Čovjek ima dva perioda nicanja zuba. Razlikujemo mliječnu i stalnu denticiju (Slika 2.20). Mliječna denticija se sastoji od 20 zuba i počinje u šestom mjesecu života. U rijetkim slučajevima beba po rođenju ima mliječne zube, tada govorimo o prenatalnim zubima. Stalna denticija se obično sastoji od 32 zuba, a stalni zubi počinju nicati od šeste godine života. Također postoji i mješovita denticija i ona označava prisutnost i mliječnih i stalnih zubiju, a pojavljuje se u periodu od 6. do 12. godine života (Slika 2.21) [4].



Slika 2.20 Mliječna i stalna denticija [18]



Slika 2.21 Mliječni i stalni zubi [19]

2.5.2. Podjela zuba prema morfološkom obliku

Prema morfološkom obliku zube možemo podijeliti na : sjekutiće, očnjake, pretkutnjake (premolare) i kutnjake (molare) (Slika 2.22). Prema različitom obliku zuba možemo reći da je čovjekovo zubalo heterodont, što upućuje na njihovu drugačiju funkciju [4].



Slika 2.22 Morfološka podjela zuba [20]

2.5.3. Podjela zuba prema lokalizaciji u zubnom luku

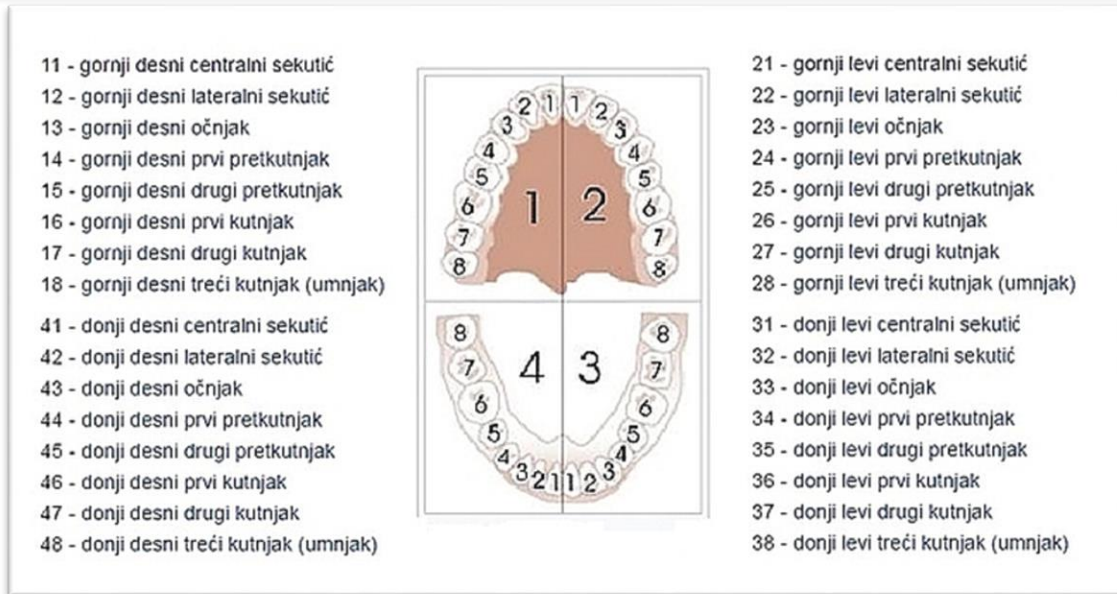
Prema mjestu u zubnom luku zubi se dijele na :

- 1) gornje i donje,
- 2) lijeve i desne,
- 3) prednje i bočne.

Prednji zubi su sjekutići i očnjaci, dok su bočni zubi pretkutnjaci i kutnjaci [4].

2.6. Obilježavanje zuba

Postoji više načina označavanja zuba, međutim danas se najviše koristi binarni broječni sustav. Ustanovljen je u Bukureštu 1970. na zasjedanju Međunarodne stomatološke federacije. Zubni lukovi su podijeljeni na četiri kvadranta koji su obilježeni brojevima 1-4 za stalnu denticiju (pri čemu 1 označava gornji desni, 2 gornji lijevi, 3 donji lijevi i 4 donji desni kvadrant) (Slika 2.23). Drugi broj u sustavu označava položaj zuba u kvadrantu, polazeći od medijalne linije [4].

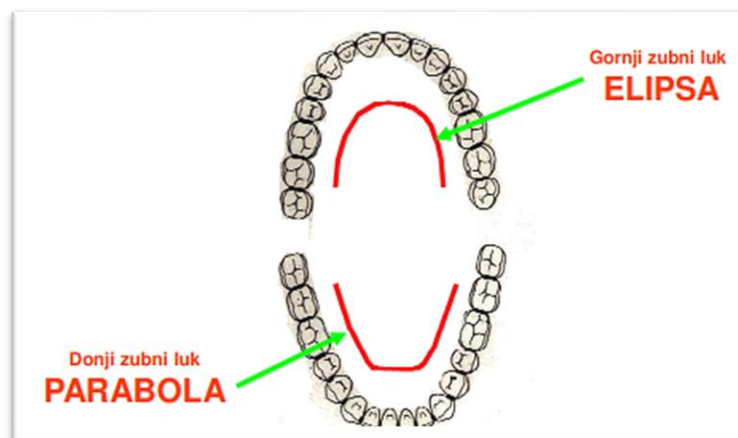


Slika 2.23 Obilježavanje zuba [21]

2.7. Oblik zubnih lukova

Gornji zubni luk ima oblik elipse dok donji zubni luk ima oblik parabole (Slika 2.24) [22].

U stalnoj denticiji svaki zubni luk ima 16 zuba, a donji zubni luk smješten na mandibulu čini pokretni dio ljudskog zubala.

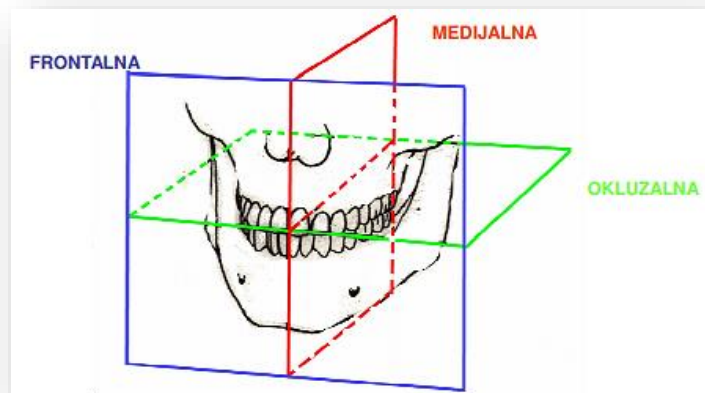


Slika 2.24 Oblik zubnih lukova [22]

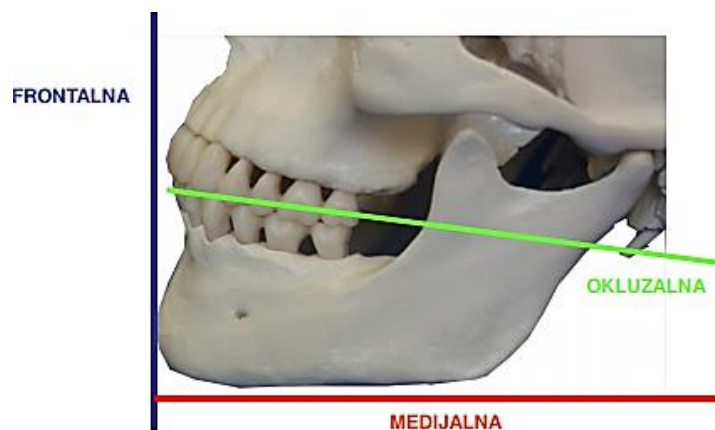
2.8. Orijentacijske ravnine i površine zuba

2.8.1. Orijentacijske ravnine

Orijentacijske ravnine koje se koriste pri proučavanju zuba su frontalna, medijalna i okluzalna (Slika 2.25.) (Slika 2.26) [22].



Slika 2.25 3D prikaz orijentacijskih ravnina [22]



Slika 2.26 Prikaz u medijalnoj ravnini [22]

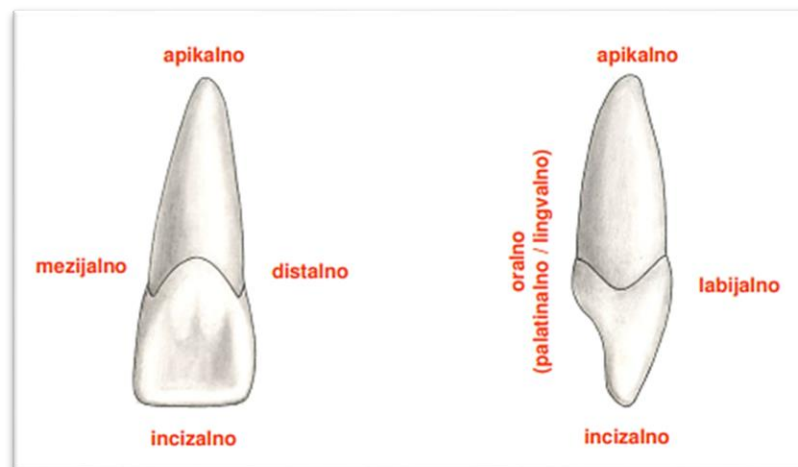
2.8.2. Površine zuba

Aproksimalna ploha zuba je ploha okrenuta prema susjednom zubu u istom luku. Ovisno o svom položaju aproksimalne plohe mogu biti mezijalne i distalne. Mezijalna ploha zuba je ona ploha koja je usmjerena prema središnjoj ravnini, dok je distalna ploha ona koja je udaljenija od

središnje ravnine. Kontaktna ili doticajna ploha je područje aproksimalne plohe koje dotiče susjedni zub u istom luku.

Facijalna ploha je ploha zuba usmjerena prema licu. Ona može biti labijalna i bukalna. Naziv labijalna označava plohu koja je u doticaju sa usnama, dok bukalna označava plohu zuba koji su u kontaktu sa obrazima. Lingvalna ploha je ploha zuba usmjerena prema jeziku. Za gornje zube koristi se naziv palatinalna ploha. Okluzalna ploha je ploha na pretkutnjacima i kutnjacima koja dodiruje odgovarajuće plohe antagonista u tijeku zatvaranja zubala [22].

Slika 2.27 prikazuje orijentacijske plohe na sjekutiću.



Slika 2.27 Orijetacijske plohe na sjekutiću [22]

3. ORTODONCIJA

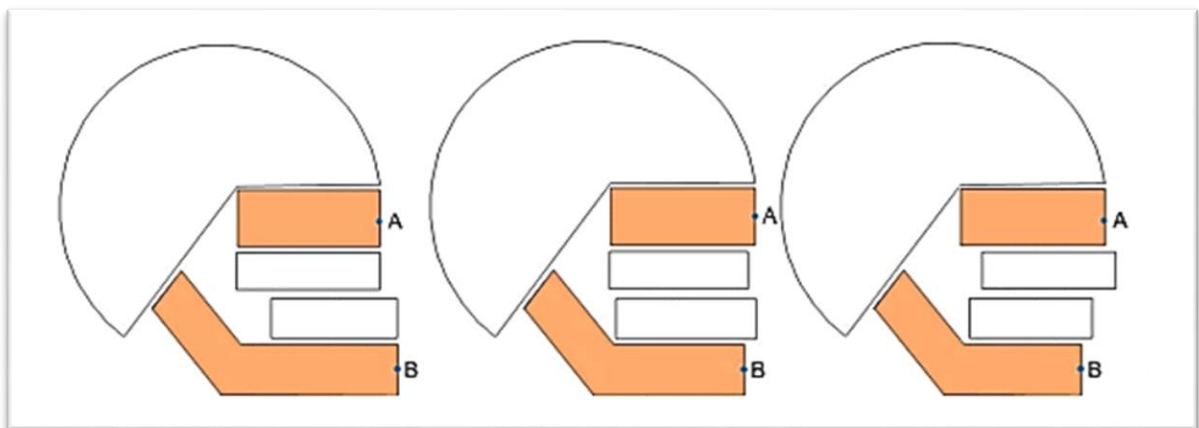
Ortodoncija je specijalistička disciplina dentalne medicine koja se bavi rastom i razvojem dentofacijalnih struktura te čimbenika koji mogu utjecati na njihov rast, razvoj i položaj. Bavi se također i dizajnom naprava za ispravljanje malokluzija te proučava njihov biomehanički učinak.

Ortodont može liječenjem pomicati i kosti donje trećine lica pa se ortodontija često naziva i dentofacijalna ortopedija. Glavni cilj ortodontske terapije je ispravljanje položaja zubi, tj. postizanje optimalne okluzije kod pacijenta.

Samo prisustvo malokluzije ne znači potrebu za ortodontskom terapijom, već ortodont za svakog pacijenta posebno određuje stupanj malokluzije te pripisuje određenu terapiju.

Ortodontske anomalije mogu biti : skeletne, dentoalveolarne ili kombinirane (Slika 3.1). Skeletne anomalije nastaju zbog nesklada u rastu kostiju lica. Dentoalveolarne anomalije nastaju zbog nepravilnog položaja zuba u zubnom luku, a kombinirane nastaju uslijed istovremenog pojavljivanja skeletnih i dentoalveolarnih anomalija.

Razlog ispravljanja malokluzija je prvenstveno zbog poboljšanja zdravlja zubi, ali korekcija malokluzije također utječe na estetiku lica i psihosocijalni život pacijenta [23].



Slika 3.1 Ortodontske anomalije [23]

3.1. Ortodonske naprave

Ortodonske naprave po dizajnu se dijele na mobilne i fiksne, aktivne i pasivne, monomaksilarne i bimaksilarne, intraoralne i ekstraoralne te zubno, tkivno i koštano nošene [26].

Mobilne naprave se ne nose cijelo vrijeme već ih pacijent može skinuti dok fiksne ortodonske naprave ostaju u svom položaju dulji vremenski period.

Aktivne ortodonske naprave imaju u sebi ugrađen neki aktivni element poput vijka, opruge ili žičanog luka dok pasivne naprave pokreće snaga aktiviranih mišića i zato ih zovemo funkcionalnim ili miofunkcionalnim ortodontskim napravama [23].

Monomaksilarne naprave su u kontaktu samo sa jednom čeljusti, dok bimaksilarne imaju kontakt sa obje čeljusti te u obje produciraju terapijski učinak.

Podjela ortodontskih naprava na intraoralne i ekstraoralne se zasniva na položaju sidrišnog elementa.

3.1.1. Edgewise naprava

Edward Angle se smatra ocem fiksnih ortodontskih naprava. Konstruirao je popularnu edgewise napravu, a usavršavanje je trajalo 40 godina. Prezentirao ju je 1928. Edgewise naprava se sastoji od metalnih bravica (Slika 3.2) koje imaju horizontalno orijentirane utore kroz koje prolazi žičani luk koji spaja sve bravice. Angle nije uspio do kraja razviti tehniku rada sa edgewise napravom već su to učinili njegovi sljedbenici Tweed i Merrifield. Značajniju modifikacije naprave osmislio je Holdaway 1955. godine koji je distalno nagnuo postranične bravice da bi bolje kontrolirao sidrište. Lee je u bravicu unio vestibulooralni nagib na sjekutićima [23]. Larry Andrews je sedamdesetih godina napravio revoluciju u edgewise napravama i razvio koncept tehniku ravnog luka. Edgewise naprava može se postaviti lingvalno i labijalno (Slika 3.3), a terapija se provodi u tri glavne faze. To su nivelacija, radna faza i finalizacija.



Slika 3.2 Bravice edgewise naprave [26]



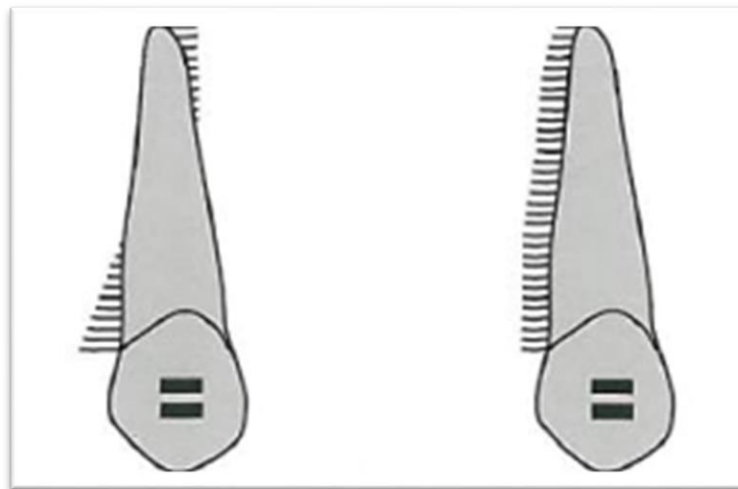
Slika 3.3 Aplicirana edgewise naprava [26]

4. BIOMEHANIKA ZUBA

4.1. Raspodjela sile u ortodontskoj terapiji

Prilikom izvođenja ortodontske terapije ortodont korištenjem ortodontskog aparata primjenjuje silu na zube i parodontna tkiva. Pod utjecajem te sile vrši se pomicanje zubi koje se može opisati pomoću tri rotacije i tri translacije.

U ortodonciji je osim smjera, veličine i orijentacije sile bitno i kako je sila raspoređena na zubu (Slika 4.1) i koliko dugo traje njeno djelovanje. Može se primjenjivati linearna raspodjela sile (mijenjanje iznosa sile po pravcu) ili sila može biti jednoliko raspoređena po zubu [25].



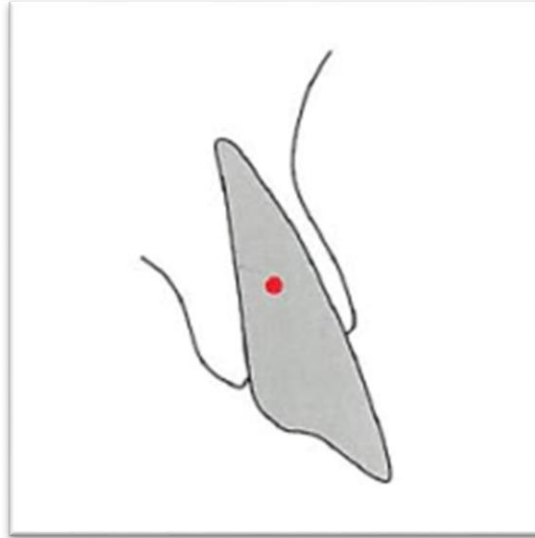
Slika 4.1 Raspodjela sile [25]

4.2. Centar otpora

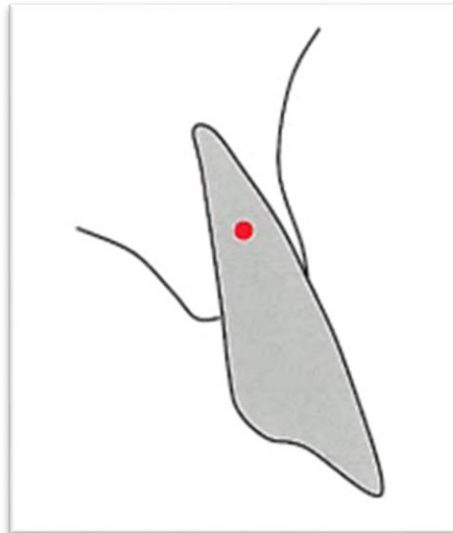
Centar otpora je točka u kojoj se sijeku uzdužna os zuba i pravac djelovanja resultantne sile (Slika 4.2).

U većini slučajeva centar otpora se nalazi na uzdužnoj osi zuba nedaleko od alveolarnog grebena, iako se teoretskim razmatranjima utvrđuje kako se centar otpora nalazi u korijenu zuba.

Centar otpora je drugačiji za svaki zub, a ovisi o nizu faktora kao što su: broju, duljini i morfologiji korijena. Centar otpora se može promijeniti tijekom godina zbog smanjenja gustoće alveolne kosti i gubitka elastičnosti okolnih tkiva (Slika 4.3.) [25].



Slika 4.2 Centar otpora [25]

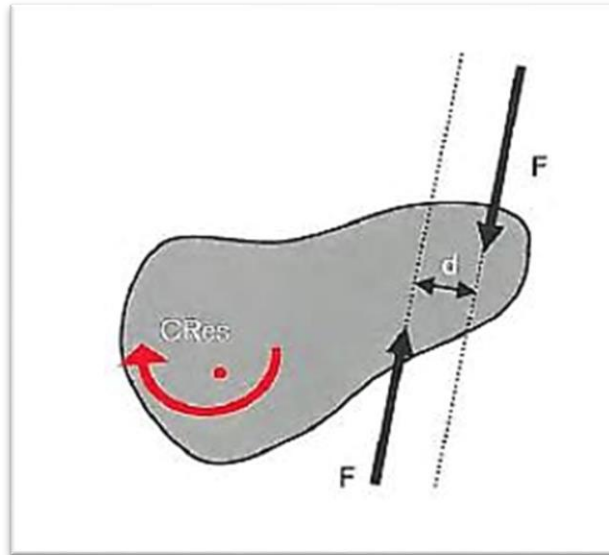


Slika 4.3 Promijenjeni centar otpora [25]

4.3. Centar rotacije

Centar rotacije je točka oko koje zub rotira. Kod dvodimenzionalnog prikaza centar rotacije je točka, dok je kod trodimenzionalnog prikaza centar rotacije pravac. Centar rotacije možemo odrediti geometrijski tako da nađemo sjecište pravaca koji spajaju točke prije i nakon pomaka. Najčešće su to točke na vrhu korijena i vrhu krune zuba. Centar rotacije ovisi o načinu primjene sile na zub.

Ukoliko na zub djeluje spreg sila, tada će se centar otpora spojiti s centrom rotacije (Slika 4.4) [25].



Slika 4.4 Centar rotacije prilikom djelovanja sprega sila [25]

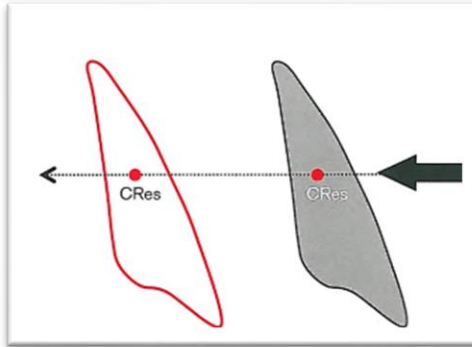
4.4. Vrste ortodontskog pomaka zubi

Vrste ortodontskog pomaka zubi su: translacija, rotacija, nagnjanje, intruzija i ekstruzija [25].

4.4.1. Translacija

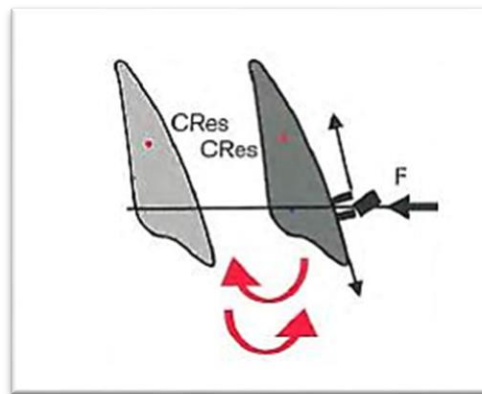
Ukoliko ortodontska sila djeluje u centru otpora zuba doći će do translacije.

To bi značilo da se svaka točka na zubu pomakla za isti iznos u nekom smjeru. U tom slučaju nema rotacije zube, a za centar rotacije kažemo da se nalazi u beskonačnosti. Translaciju zuba je teško postići u praksi zbog nepravilnosti određivanja centra otpora (Slika 4.5.) [25].



Slika 4.5 Translacija [25]

Translaciju je također moguće postići ukoliko se vrijednost momenta nagnjanja izjednači sa vrijednosti momenta na žici ortodontskog aparata (Slika 4.6).

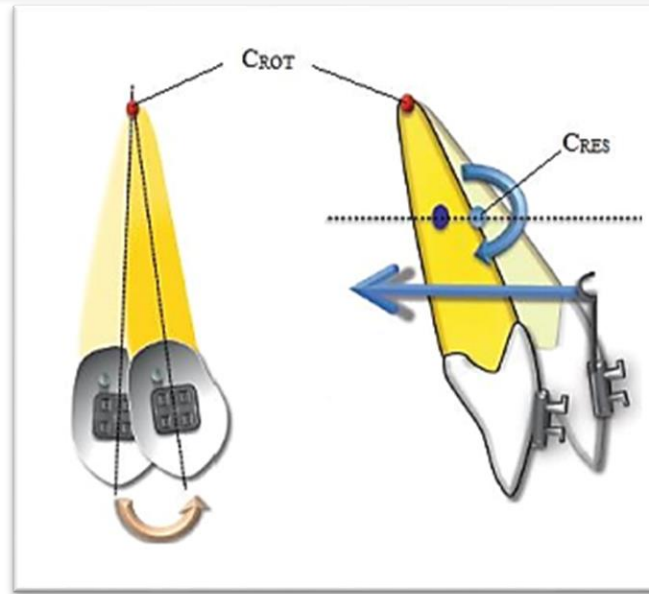


Slika 4.6 Translacija [25]

4.4.2. Nagnjanje

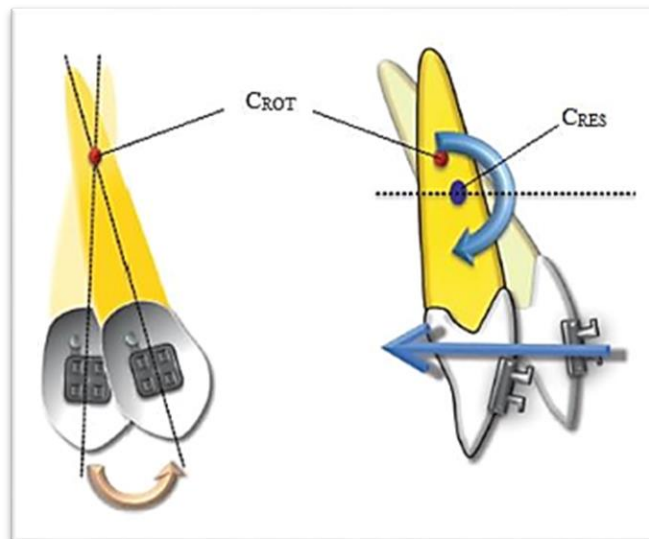
Nagnjanje je pomak zuba koje može biti kontrolirano i nekontrolirano.

Prilikom kontroliranog nagnjanja centar rotacije se nalazi pri vrhu korijena zuba te se zub giba u smjeru djelovanja pripadne sile, a pozicija korijena se u pravilu ne mijenja (Slika 4.7.) [25].



Slika 4.7 Kontrolirano nagnjanje [25]

Ukoliko su centar rotacije i centar otpora blizu, pod utjecajem ortodontske sile može doći do tzv. nekontroliranog nagnjanja. Za nekontrolirano nagnjanje je specifično to što se kruna zuba giba u smjeru sile, a korijen zuba u suprotnom smjeru (Slika 4.8) [25].



Slika 4.8 Nekontrolirano nagnjanje [25]

4.4.3. Rotacija

Uslijed djelovanja sila uzrokovanih primjenom ortodontskih naprava dolazi do zakreta zuba oko njegove uzdužne osi. Taj zakret nazivamo rotacija zuba i može se prikazati u okluzalnoj ravnini.

4.4.4. Ekstruzija i intruzija

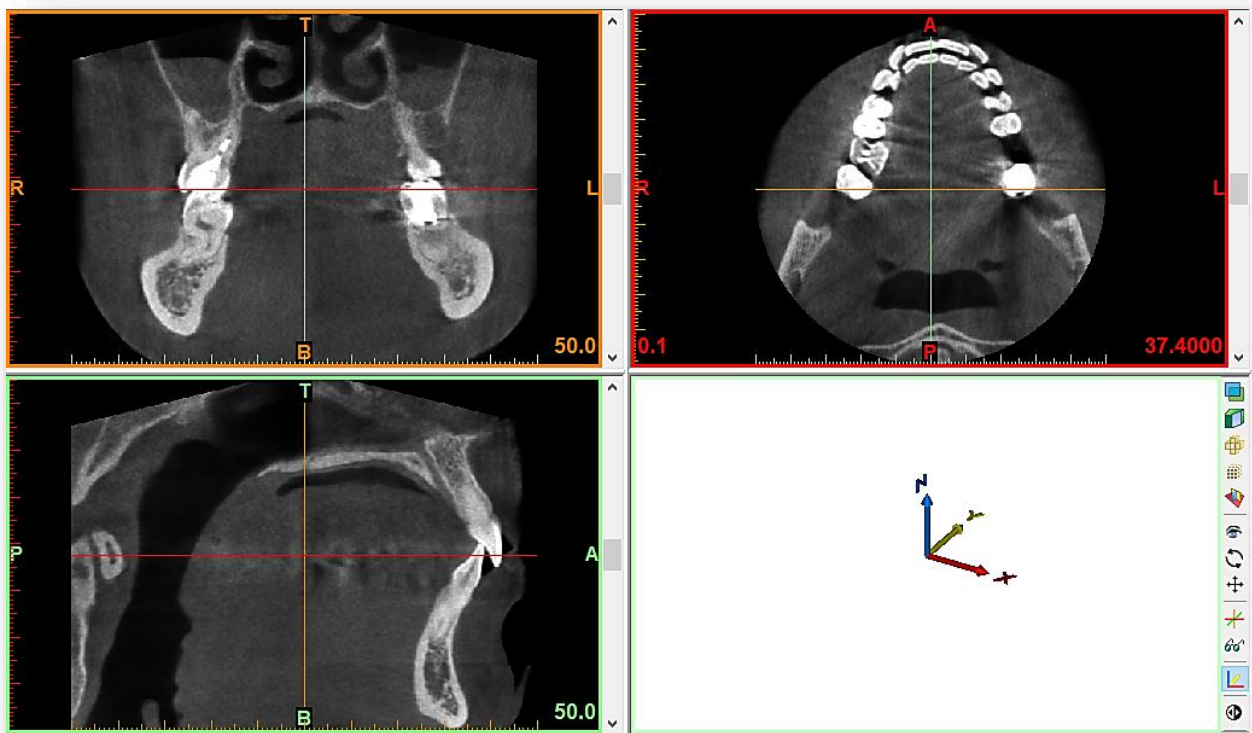
Ukoliko se zub pomiče u smjeru svoje uzdužne osi tada govorimo o ekstruziji, odnosno intruziji.

Ekstruzija je uzdužno pomicanje zuba u smjeru krune, a intruzija je uzdužno pomicanje zuba u smjeru korijena.

5. IZRADA MODELA ČELJUSTI

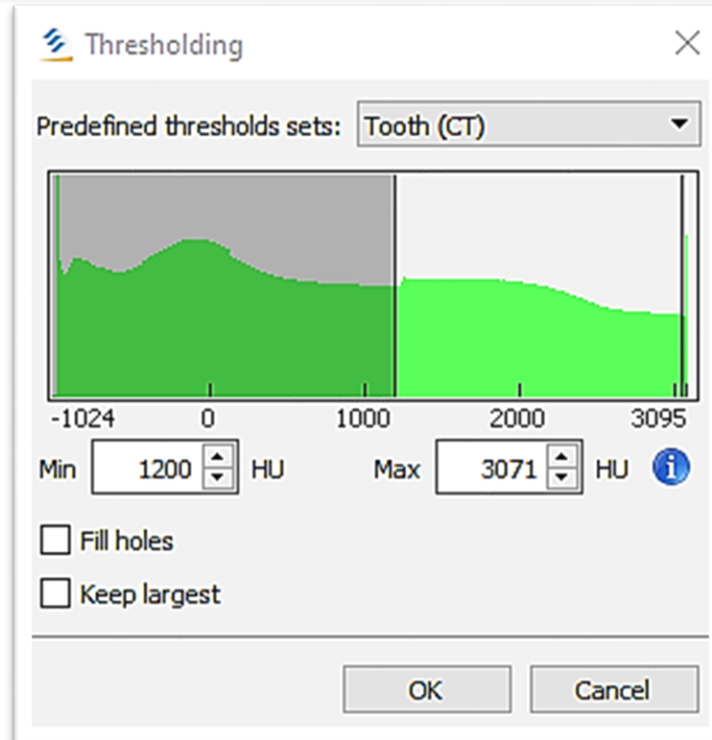
U ovom poglavlju biti će opisana izrada modela desne polovine gornje čeljusti s pripadajućim jednokorijenskim zubima prije i nakon ortodontske terapije. Modeli su napravljeni na temelju CBCT snimki pacijenta u programskom paketu Mimics Inovation Suite tvrtke Materialise.

Nakon učitavanja CBCT snimki u programski paket Mimics te snimke se prikazuju u tri ravnine (sagitalnoj, tranverznoj i frontalnoj) (Slika 5.1). U ovisnosti o broju CBCT snimki koje su učitane, dobivamo različiti broj slojeva u svakoj ravnini.



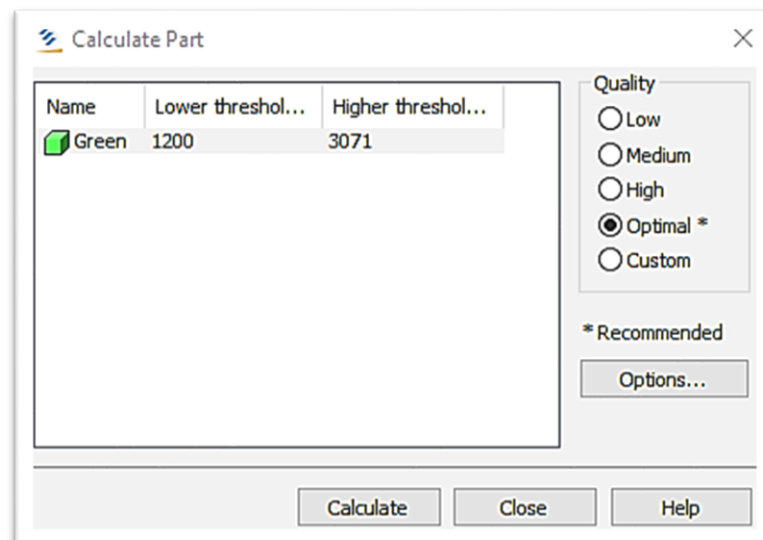
Slika 5.1 Prikaz ravnina nakon učitavanja CBCT snimki

Nakon toga odabrana je opcija *Thresholding* kako bi se definirao broj Hounsfieldovih jedinica. Preporučena vrijednost Hounsfieldovih jedinica za zub je od 1200 do 3071 (Slika 5.2).

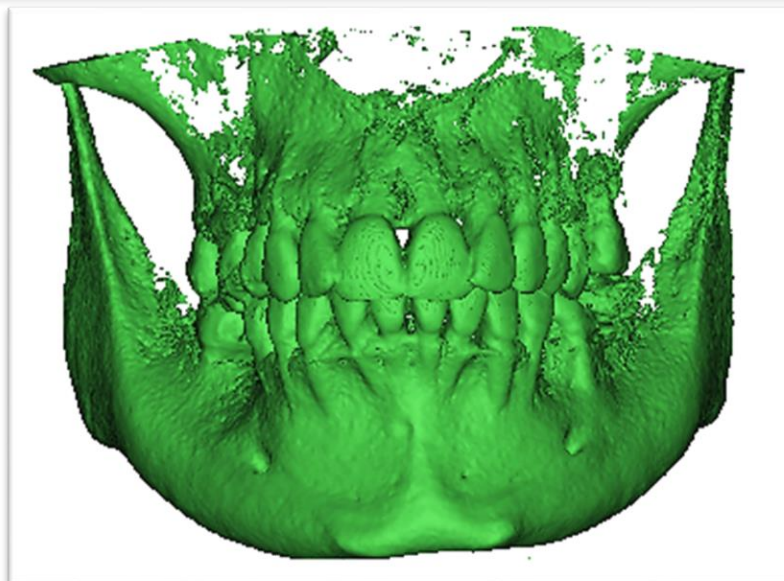


Slika 5.2 Thresholding

Odabirom prikladnih Hounsfieldovih jedinica dobijena je maska od koje je moguće napraviti model opcijom *Calculate Part*. (Slika 5.3), (Slika 5.4).

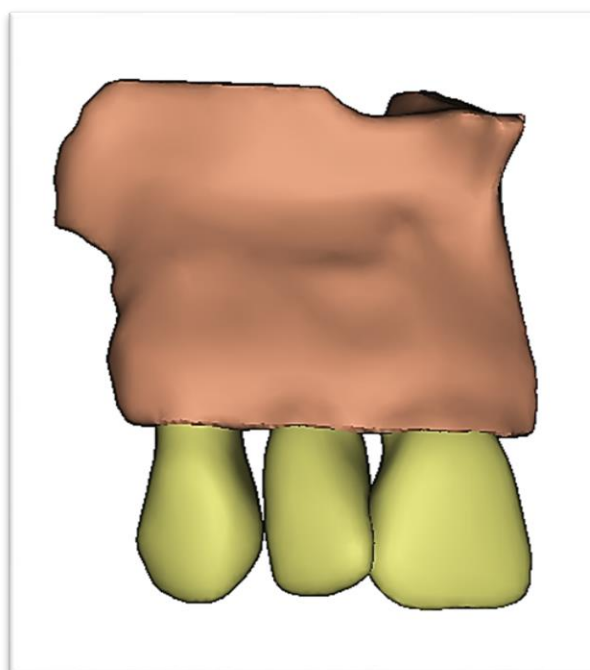


Slika 5.3 Calculate part

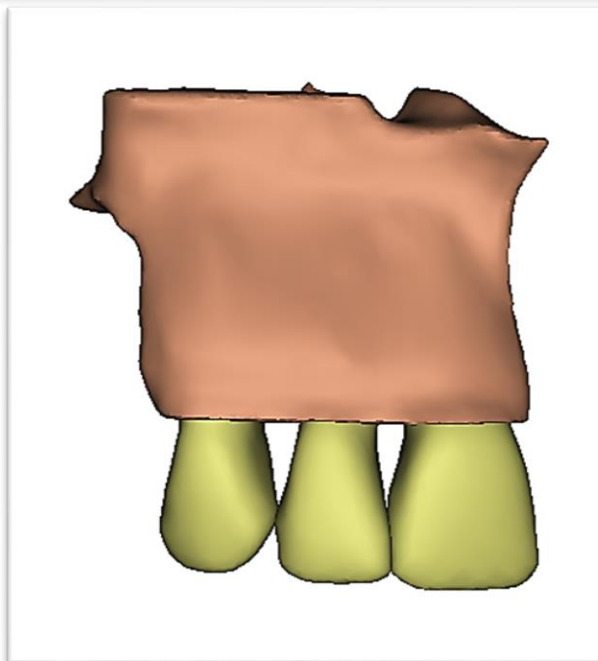


Slika 5.4 3D prikaz modela maske

Upotrebom više različitih maski i njihovim uređivanjem izrađeni su modeli čeljusti s pripadajućim jednokorijenski zubima prije (Slika 5.5) i nakon ortodontske terapije (Slika 5.6).



Slika 5.5 Prije terapije



Slika 5.6 Poslije terapije

6. MJERENJE ORTODONTSKIH POMAKA ZUBA

Gibanje zuba je složeno i sastoji se od translacije, rotacije i naginjanja. Zbog toga ćemo izmjeriti pomak referentnih točaka (A, B i C) za svaku koordinatnu os (x, y i z) zasebno te na kraju izračunati ukupan pomak svake referentne točke.

Prilikom mjerenja u programskom paketu korištene su sljedeće oznake :

- točka A predstavlja medijalni vrh krune zuba prije ortodontske terapije
- točka A' predstavlja medijalni vrh krune zuba nakon ortodontske terapije
- točka B predstavlja lateralni vrh krune zuba prije ortodontske terapije
- točka B' predstavlja lateralni vrh krune zuba nakon ortodontske terapije
- točka C predstavlja vrh korijena zuba prije ortodontske terapije
- -točka C' predstavlja vrh korijena zuba nakon ortodontske terapije

Zubi prije terapije su žute boje, dok su zubi nakon terapije plave boje.

Pomak svake točke (A, B i C) u smjeru glavnih koordinatnih osi (x, y i z) prikazan je na vlastitoj slici zbog bolje preglednosti.

6.1. Prvi sjekutić

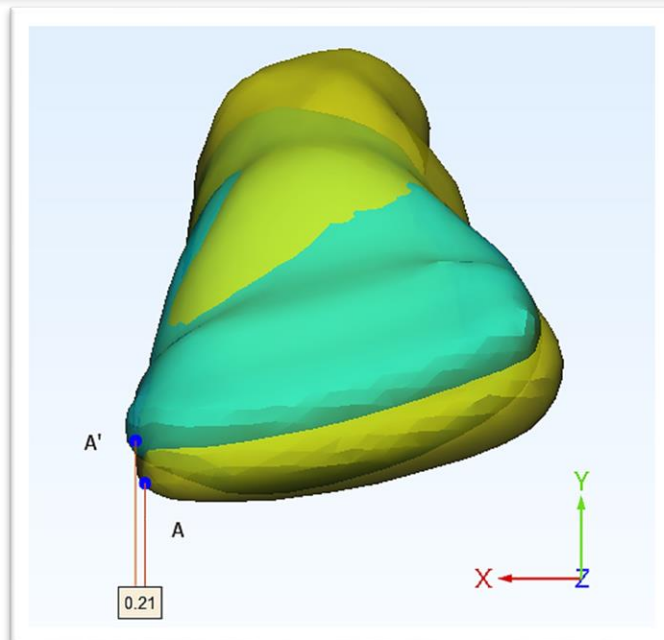
Pomak točke A:

- u smjeru osi x: $u_A = 0,21$ mm
- u smjeru osi y: $v_A = 0,95$ mm
- u smjeru osi z: $w_A = -0,46$ mm

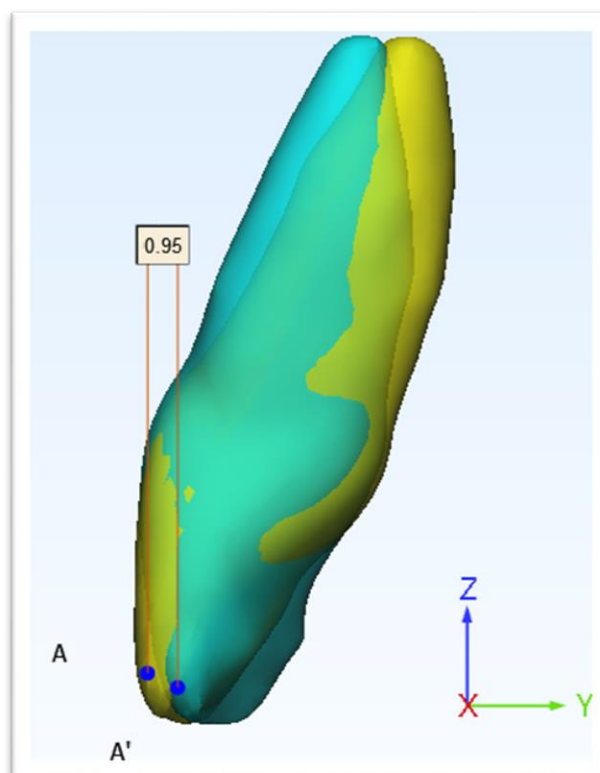
Ukupan pomak točke A je:

$$l_A = \sqrt{u_A^2 + v_A^2 + w_A^2} = \sqrt{0,21^2 + 0,95^2 + (-0,46)^2} = 1,076 \text{ mm}$$

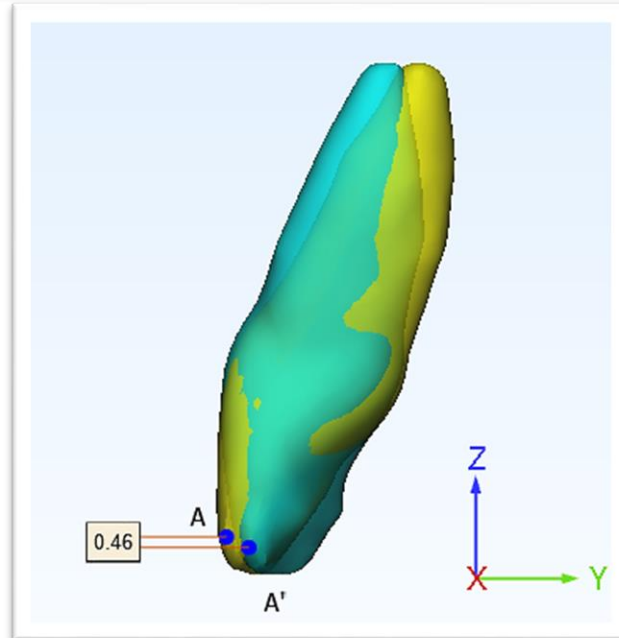
Pomaci točke A prikazani su na slikama 6.1., 6.2. i 6.3.



Slika 6.1 Pomak točke A u smjeru x osi



Slika 6.2 Pomak točke A u smjeru y osi



Slika 6.3 Pomak točke A u smjeru z osi

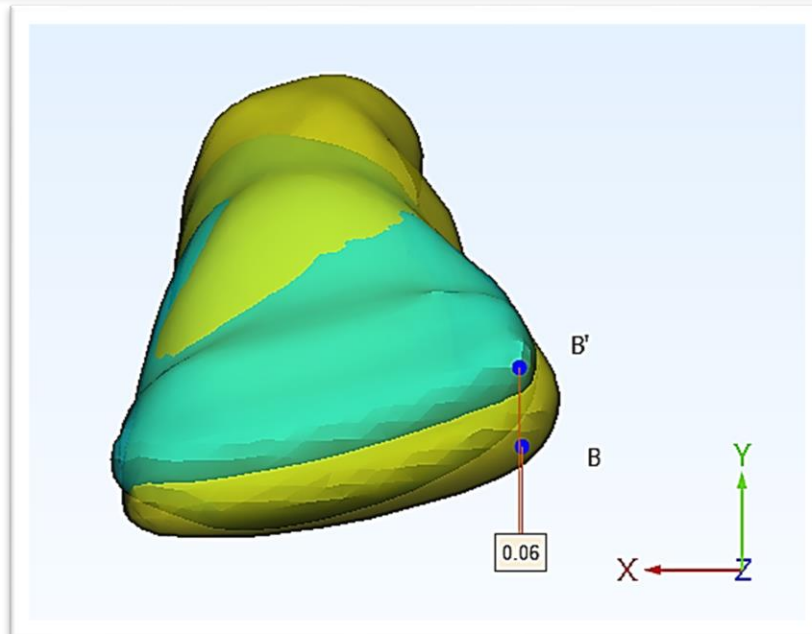
Pomak točke B:

- u smjeru osi x: $u_B = 0,06$ mm
- u smjeru osi y: $v_B = 1,72$ mm
- smjeru osi z: $w_B = -0,53$ mm

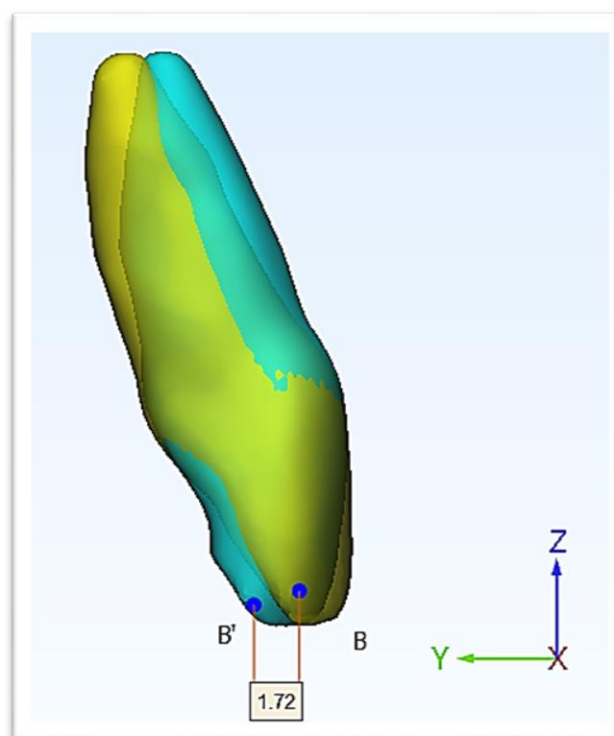
Ukupan pomak točke B je :

$$l_B = \sqrt{u_B^2 + v_B^2 + w_B^2} = \sqrt{0,06^2 + 1,72^2 + (-0,53)^2} = 1,801 \text{ mm}$$

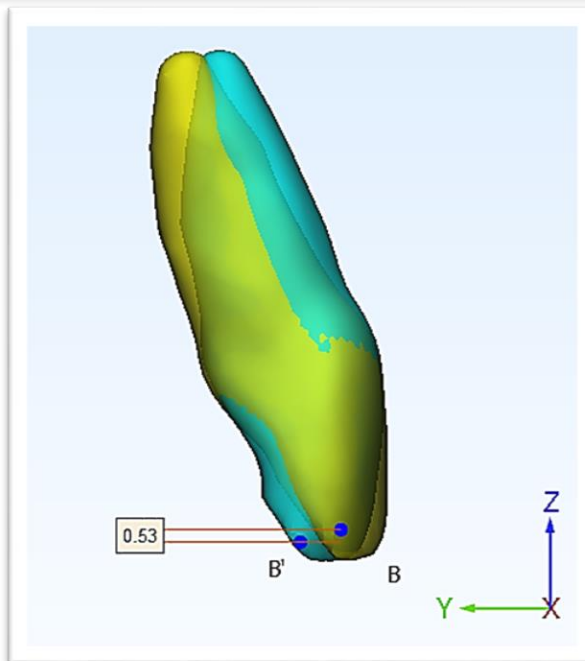
Pomaci točke B prikazani su na slikama 6.4., 6.5. i 6.6.



Slika 6.4 Pomak točke B u smjeru x osi



Slika 6.5 Pomak točke B u smjeru y osi



Slika 6.6 Pomak točke B u smjeru z osi

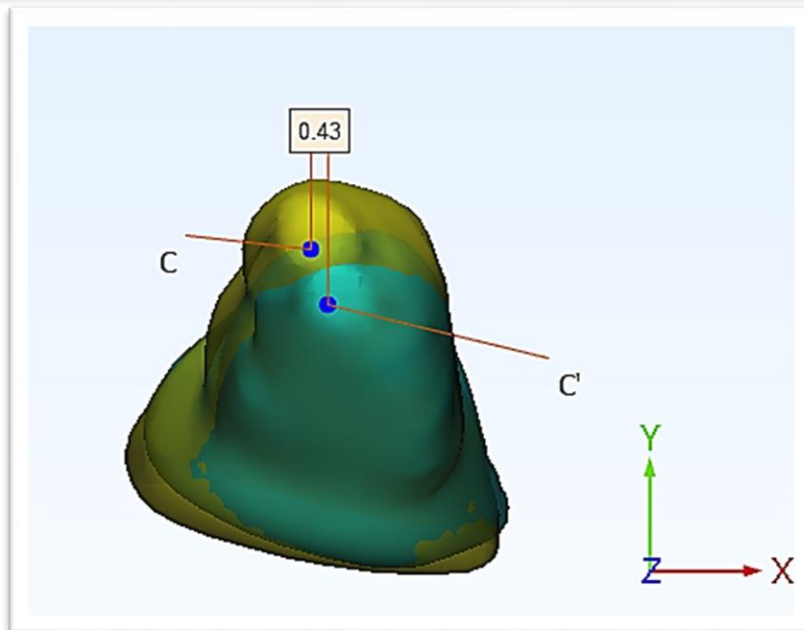
Pomak točke C:

- u smjeru osi x: $u_C = 0,43$ mm
- u smjeru osi y: $v_C = -1,42$ mm
- u smjeru osi z: $w_C = 0,03$ mm

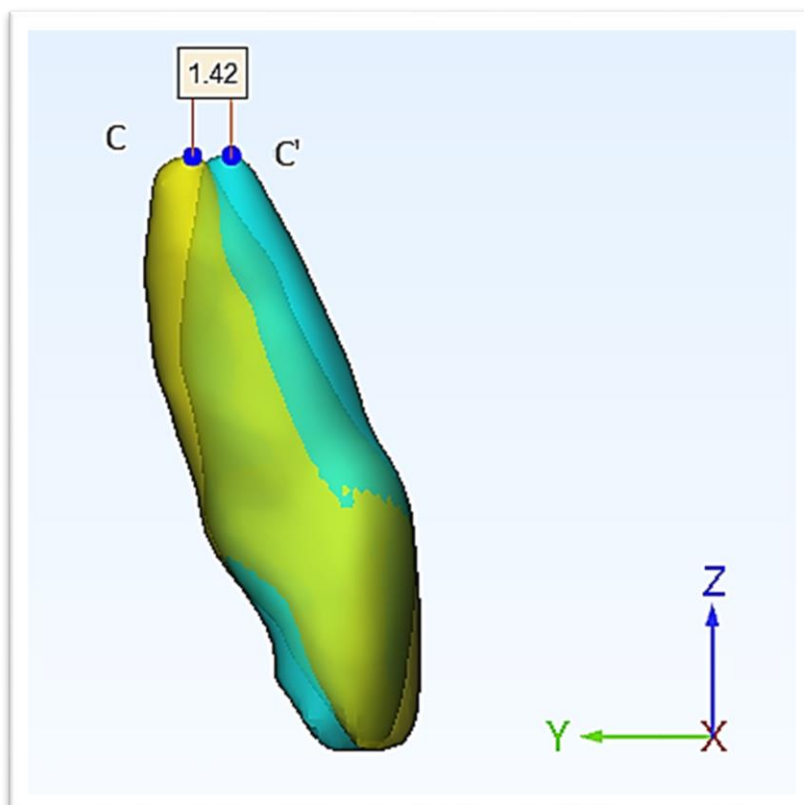
Ukupan pomak točke C je :

$$l_C = \sqrt{u_C^2 + v_C^2 + w_C^2} = \sqrt{0,43^2 + (-1,42)^2 + 0,03^2} = 1,484 \text{ mm}$$

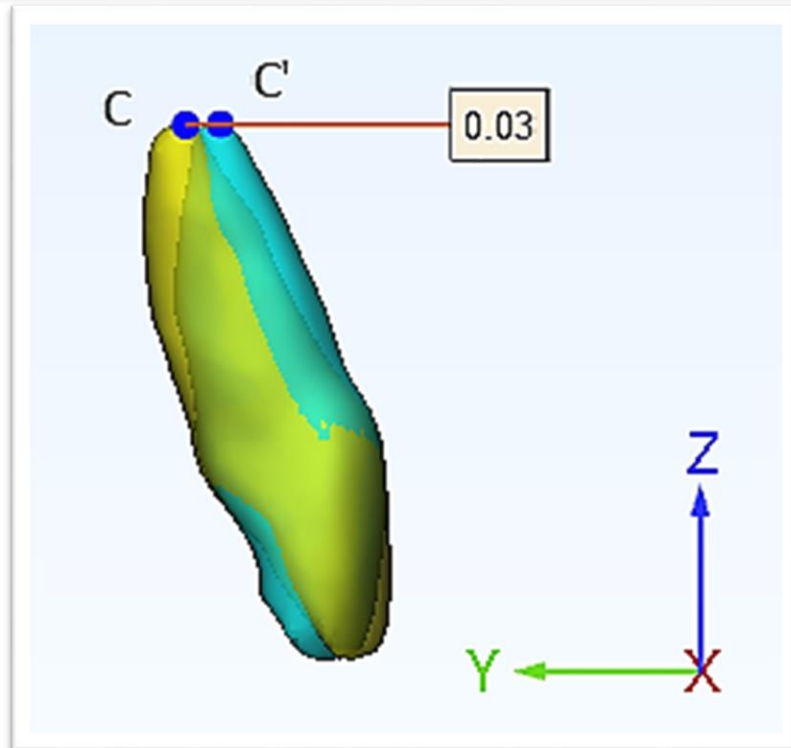
Pomaci točke C prikazani su na slikama 6.7., 6.8. i 6.9.



Slika 6.7 Pomak točke C u smjeru x osi



Slika 6.8 Pomak točke C u smjeru y osi



Slika 6.9 Pomak točke C u smjeru z osi

6.2. Drugi sjekutić

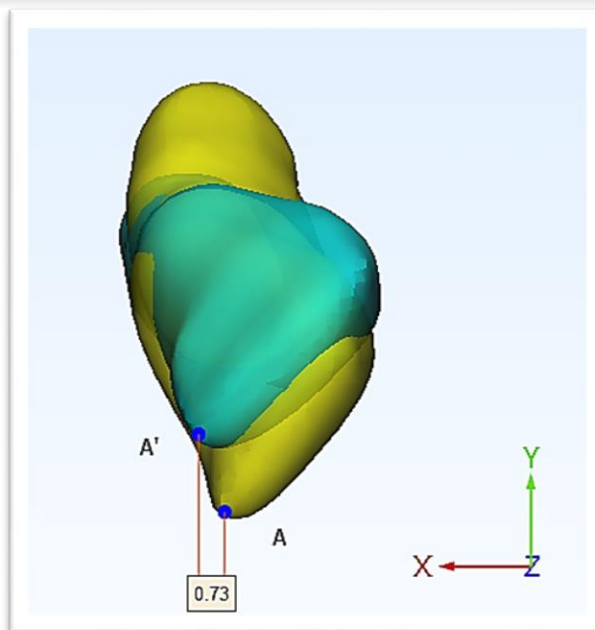
Pomak točke A:

- u smjeru osi x: $u_A = 0,73$ mm
- u smjeru osi y: $v_A = 2,20$ mm
- u smjeru osi z: $w_A = -1,23$ mm

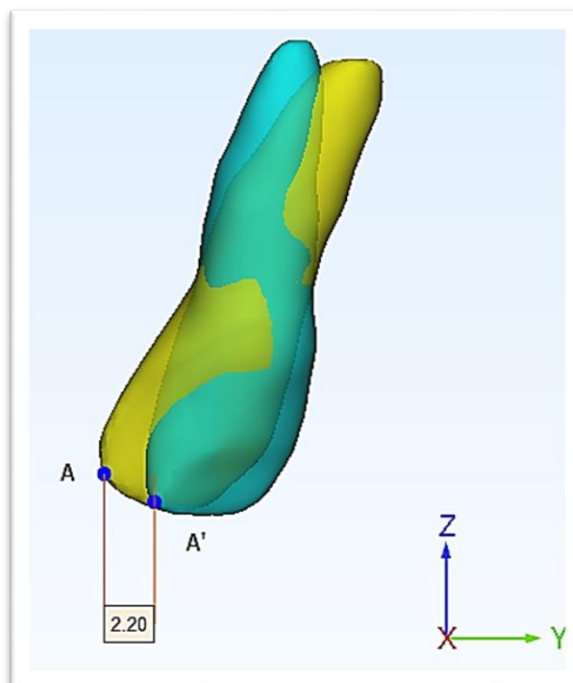
Ukupan pomak točke A je:

$$l_A = \sqrt{u_A^2 + v_A^2 + w_A^2} = \sqrt{0,73^2 + 2,20^2 + (-1,23)^2} = 2,624 \text{ mm}$$

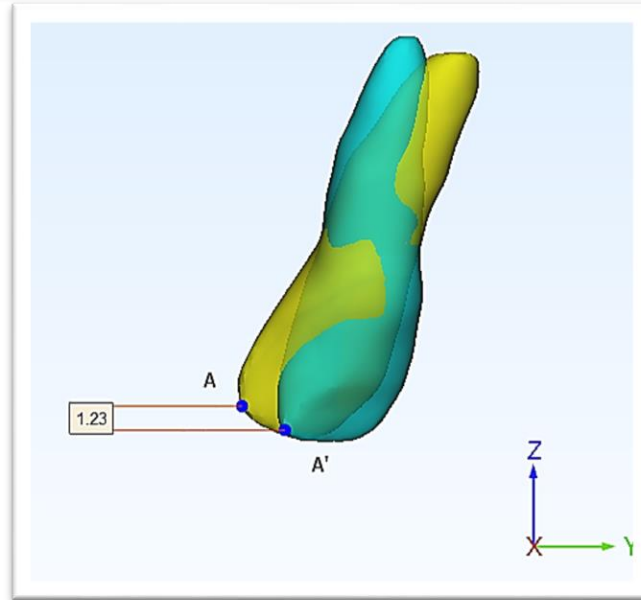
Pomaci točke A prikazani su na slikama 6.10., 6.11. i 6.12.



Slika 6.10 Pomak točke A u smjeru x osi



Slika 6.11 Pomak točke A u smjeru y osi



Slika 6.12 Pomak točke A u smjeru z osi

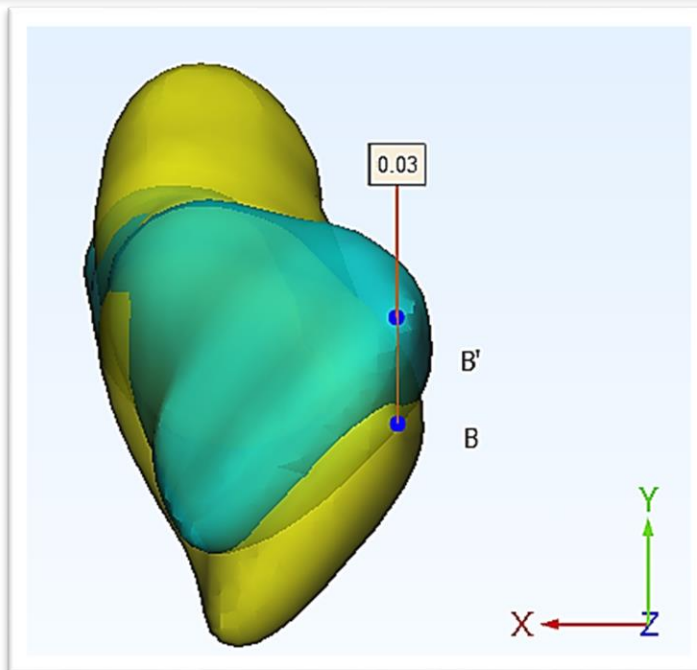
Pomak točke B:

- u smjeru osi x: $u_B = 0,03$ mm
- u smjeru osi y: $v_B = 2,25$ mm
- u smjeru osi z: $w_B = -0,35$ mm

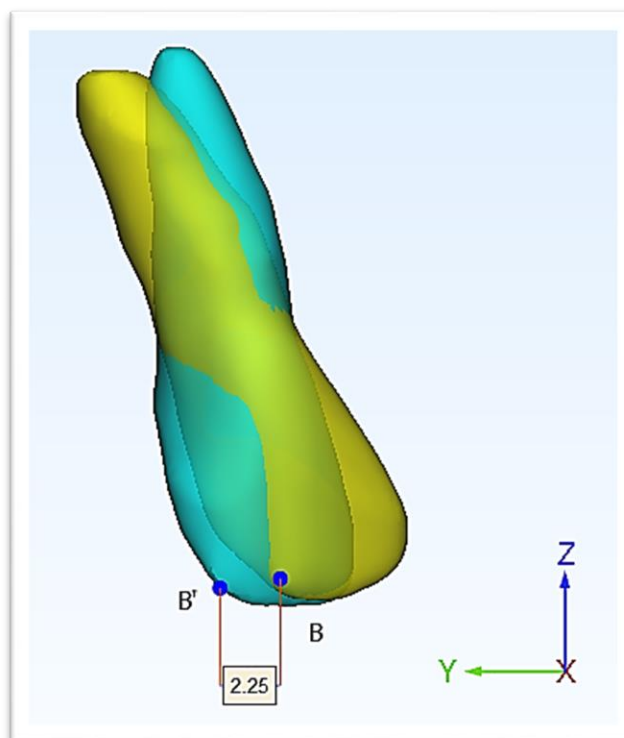
Ukupan pomak točke B je:

$$l_B = \sqrt{u_B^2 + v_B^2 + w_B^2} = \sqrt{0,03^2 + 2,25^2 + (-0,35)^2} = 2,277 \text{ mm}$$

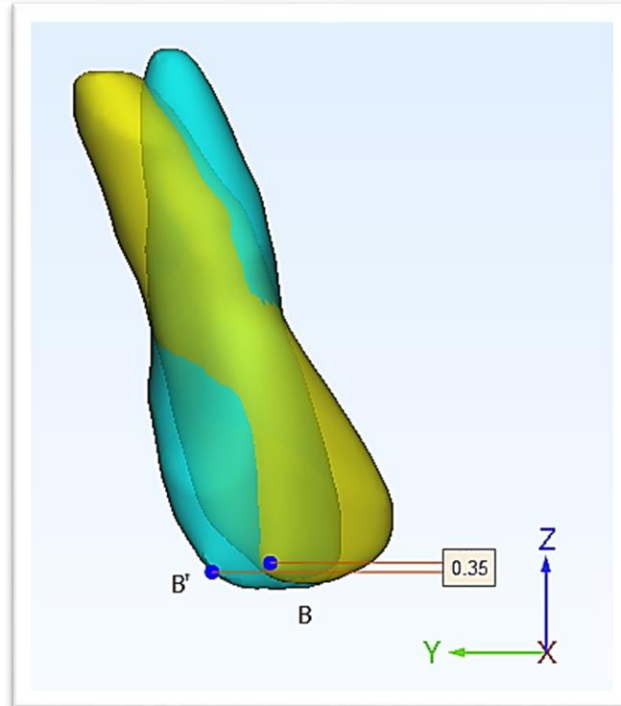
Pomaci točke B prikazani su na slikama 6.13., 6.14. i 6.15.



Slika 6.13 Pomak točke B u smjeru osi x



Slika 6.14 Pomak točke B u smjeru y osi



Slika 6.15 Pomak točke B u smjeru z osi

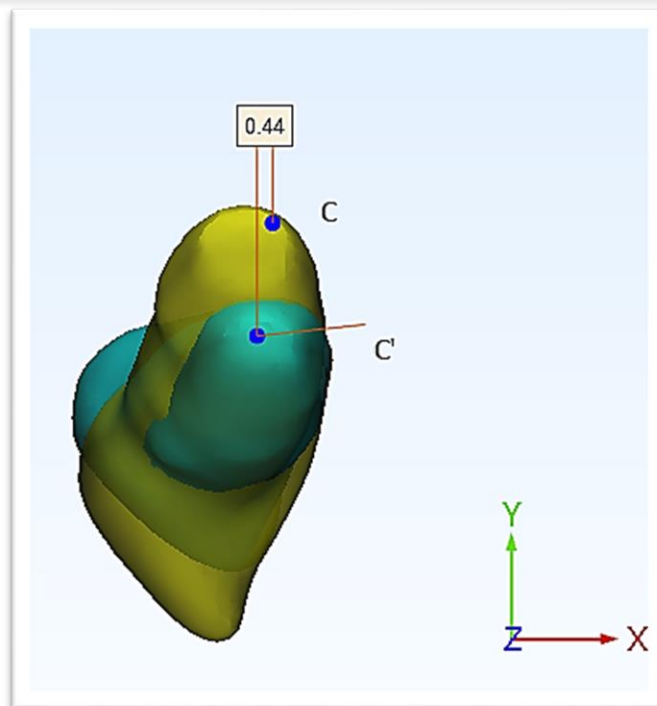
Pomak točke C:

- u smjeru osi x: $u_C = -0,44$ mm
- u smjeru osi y: $v_C = -3,19$ mm
- u smjeru osi z: $w_C = 0,94$ mm

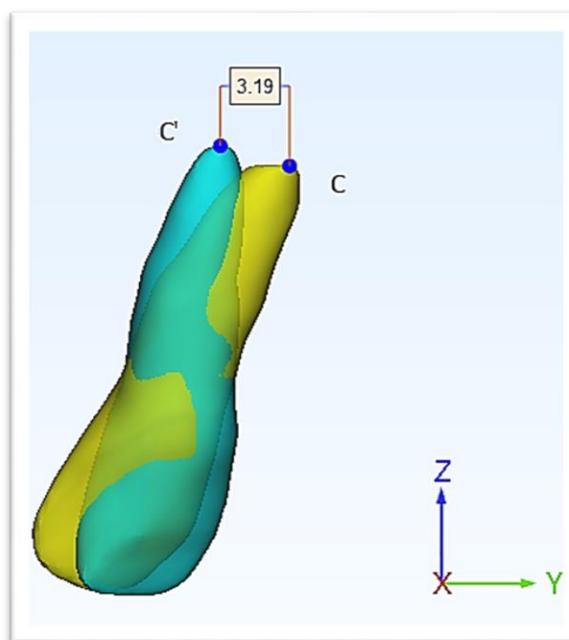
Ukupan pomak točke C je :

$$l_C = \sqrt{u_C^2 + v_C^2 + w_C^2} = \sqrt{(-0,44)^2 + (-3,19)^2 + 0,94^2} = 3,355 \text{ mm}$$

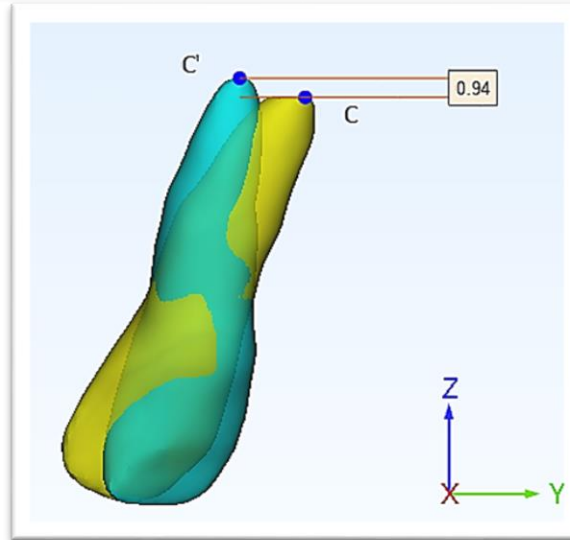
Pomaci točke C prikazani su na slikama 6.16., 6.17. i 6.18.



Slika 6.16 Pomak točke C u smjeru x osi



Slika 6.17 Pomak točke C u smjeru y osi



Slika 6.18 Pomak točke C u smjeru z osi

6.3. Očnjak

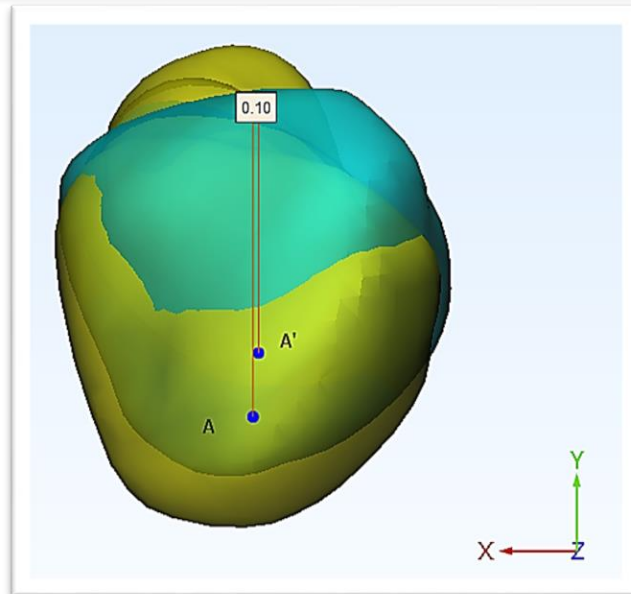
Pomak točke A:

- u smjeru osi x: $u_A = -0,10$ mm
- u smjeru osi y: $v_A = 1,19$ mm
- u smjeru osi z: $w_A = 0,63$ mm

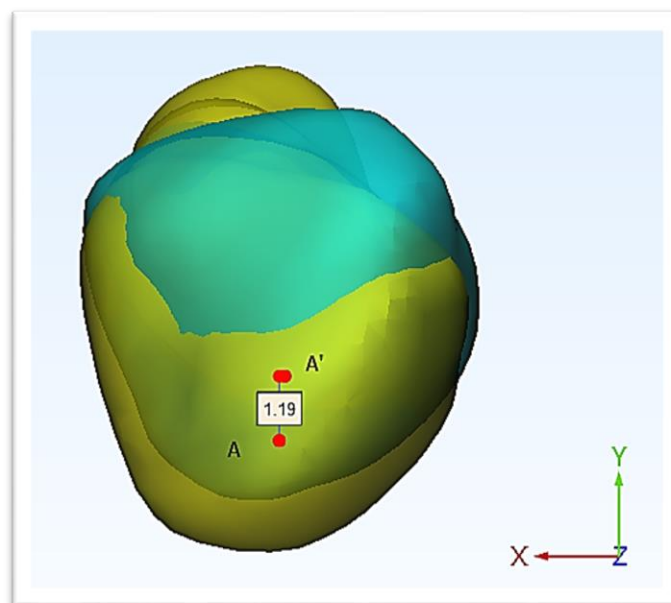
Ukupan pomak točke A je:

$$l_A = \sqrt{u_A^2 + v_A^2 + w_A^2} = \sqrt{(-0,10)^2 + 1,19^2 + 0,63^2} = 1,35 \text{ mm}$$

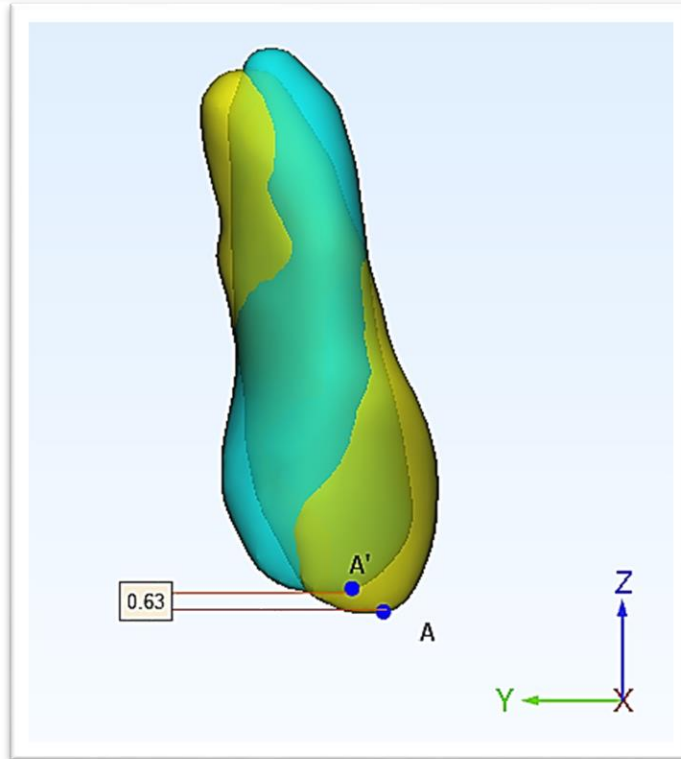
Pomaci točke A prikazani su na slikama 6.19., 6.20. i 6.21.



Slika 6.19 Pomak točke A u smjeru x osi



Slika 6.20 Pomak točke A u smjeru y osi



Slika 6.21 Pomak točke A u smjeru z osi

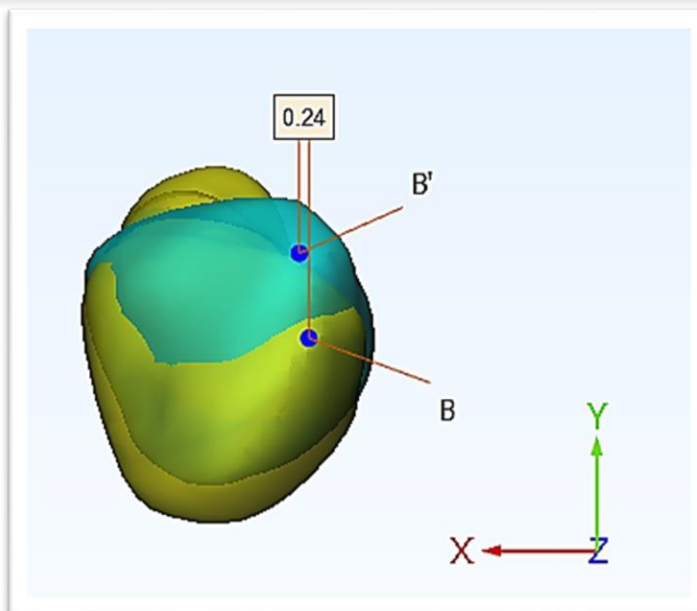
Pomak točke B:

- u smjeru osi x: $u_B = 0,24$ mm
- u smjeru osi y: $v_B = 2,14$ mm
- u smjeru osi z: $w_B = 1,08$ mm

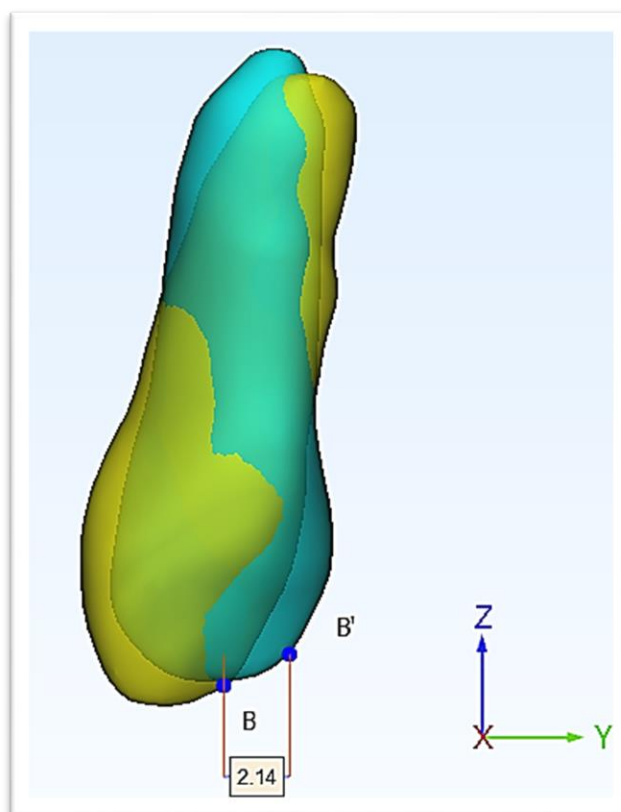
Ukupan pomak točke B je:

$$l_B = \sqrt{u_B^2 + v_B^2 + w_B^2} = \sqrt{0,24^2 + 2,14^2 + 1,08^2} = 2,409 \text{ mm}$$

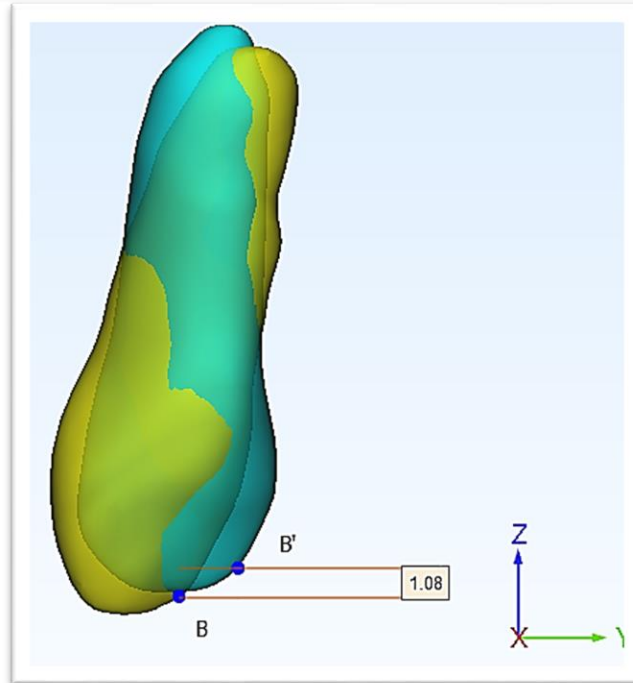
Pomaci točke B prikazani su na slikama 6.22., 6.23. i 6.24.



Slika 6.22 Pomak točke B u smjeru x osi



Slika 6.23 Pomak točke B u smjeru y osi



Slika 6.24 Pomak točke B u smjeru z osi

Pomak točke C:

-u smjeru osi x: $u_C = 0,69$ mm

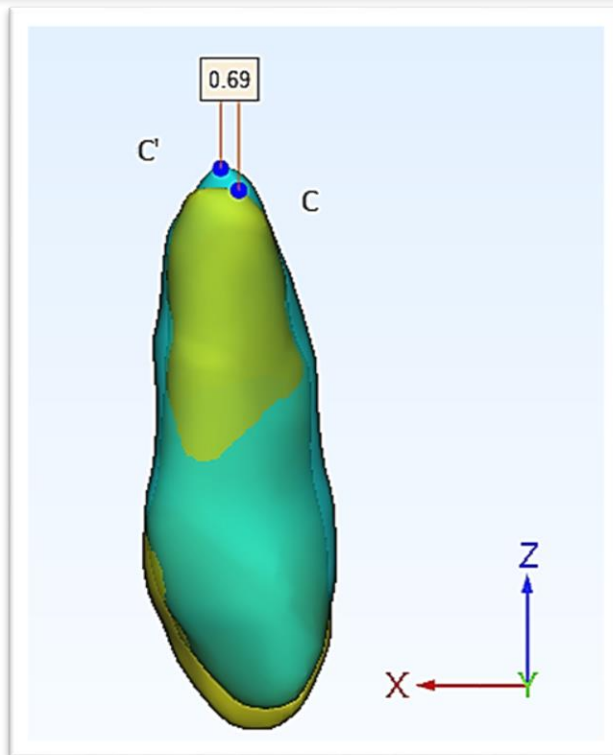
-u smjeru osi y: $v_C = -0,72$ mm

-u smjeru osi z: $w_C = 0,84$ mm

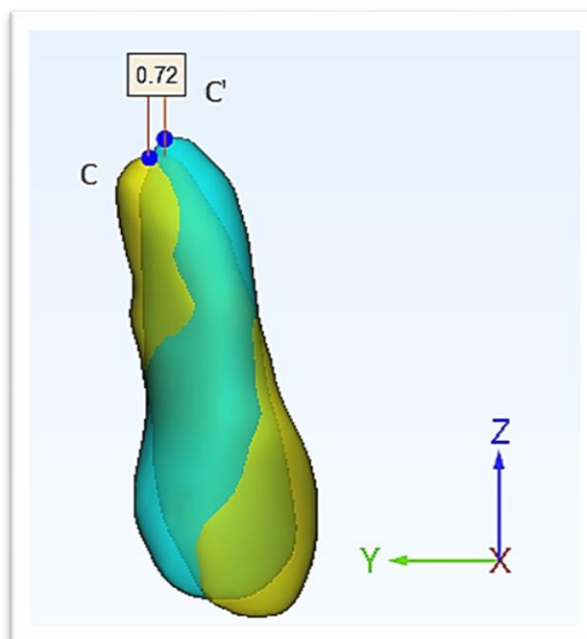
Ukupan pomak točke C je:

$$l_C = \sqrt{u_C^2 + v_C^2 + w_C^2} = \sqrt{0,69^2 + (-0,72)^2 + 0,84^2} = 1,304 \text{ mm}$$

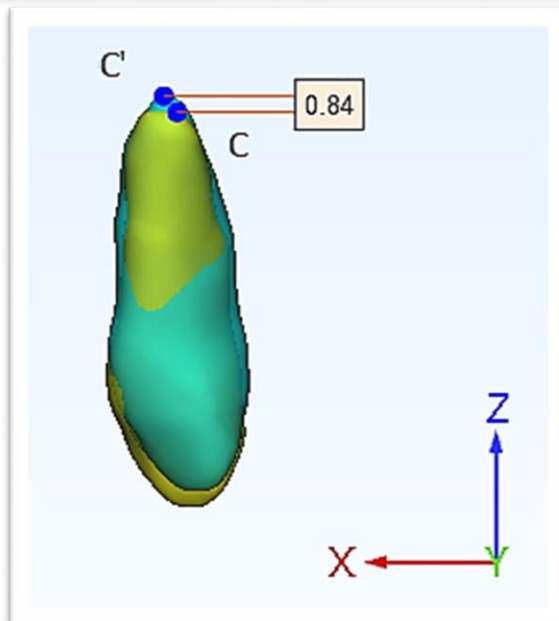
Pomaci točke C prikazani su na slikama 6.25., 6.26. i 6.27.



Slika 6.25 Pomak točke C u smjeru x osi



Slika 6.26 Pomak točke C u smjeru y osi



Slika 6.27 Pomak točke C u smjeru z osi

7. NAGINJANJE I ROTACIJA ZUBA

Naginjanje zuba objašnjeno je u poglavlju 4.4.2.

Naginjanje zuba mjeri se između uzdužne osi zuba prije i nakon ortodonske terapije u ravnini koja sadrži obje uzdužne osi zuba.

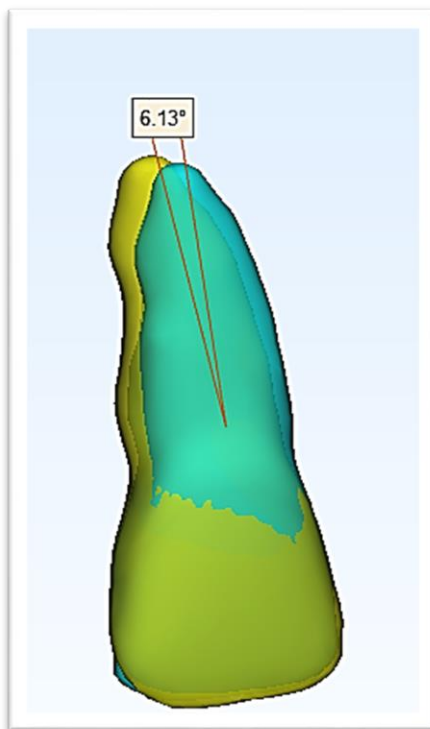
U ovom slučaju svi zubi se nekontrolirano nagnju zbog toga što im se vrh krune i vrh korijena zuba gibaju u različitim smjerovima.

Rotacija zuba je izmjerena između pravaca koji prolaze središtem krune zuba u okluzalnoj ravnini prije i nakon ortodonske terapije.

Zubi prije terapije su žute boje, dok su zubi nakon terapije plave boje, kao što je to bio slučaj kod mjerenja ortodonskih pomaka zuba.

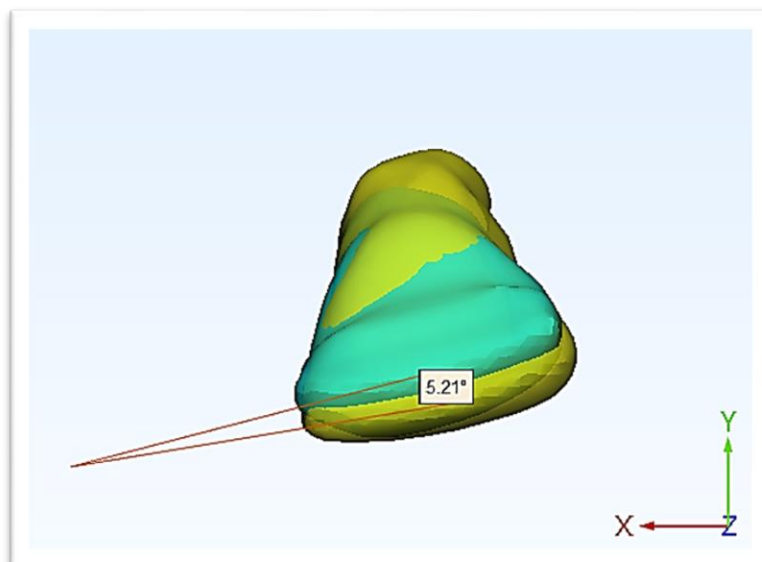
7.1. Prvi sjekutić

Naginjanje prvog sjekutića prikazano je na slici 7.1. i ono iznosi $6,13^\circ$.



Slika 7.1 Naginjanje prvog sjekutića

Na slici 7.2. vidimo rotaciju prvog sjekutića koji iznosi $5,21^\circ$.



Slika 7.2 Rotacija prvog sjekutića

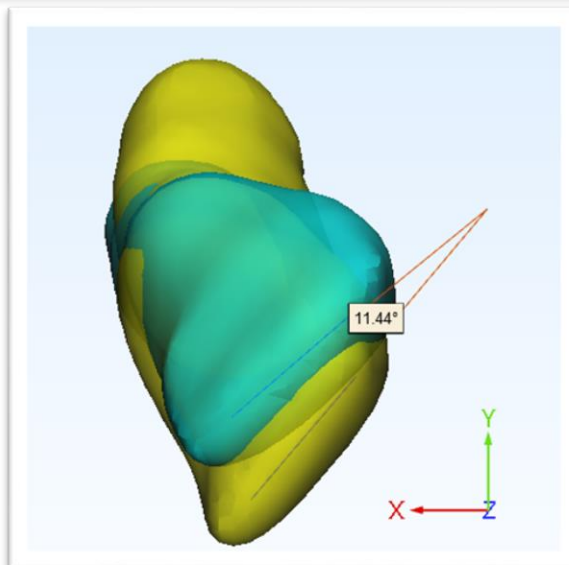
7.2. Drugi sjekutić

Na slici 7.3. vidimo naginjanje drugog sjekutića koje iznosi $13,41^\circ$.



Slika 7.3 Naginjanje drugog sjekutića.

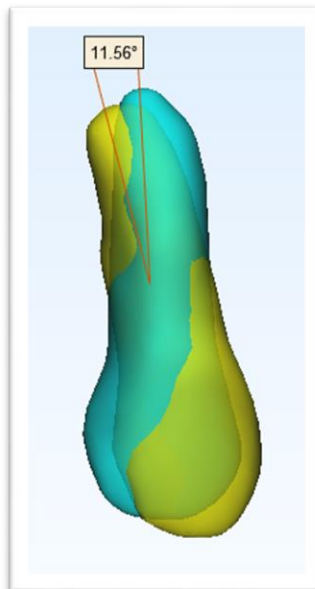
Na slici 7.4. vidimo rotaciju drugog sjekutića koja iznosi $11,44^\circ$.



Slika 7.4 Rotacija drugog sjekutića

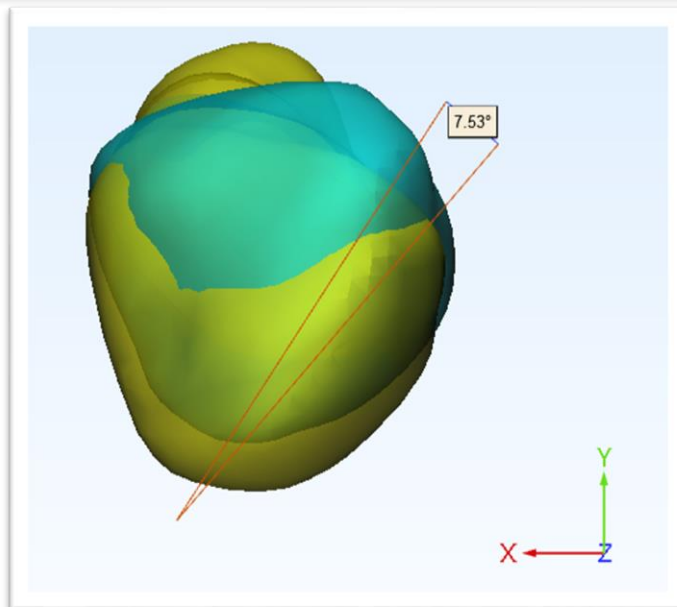
7.3. Očnjak

Na slici 7.5 vidimo naginjanje očnjaka i ono iznosi 11.56°.



Slika 7.5 Naginjanje očnjaka

Na slici 7.6. vidimo rotaciju očnjaka koja iznosi 7.53°.



Slika 7.6 Rotacija oćnjaka

8. USPOREDBA REZULTATA

(Tablica 8.1.) i (Tablica 8.2.) služe za usporedbu rezultata ortodontskog pomaka i kutova zakreta koji su dobiveni mjerenjem te analitičkim postupkom. Iz tablica možemo vidjeti da se najmanje pomakao prvi sjekutić što odgovara realnom prikazu koji je dobiven modeliranjem pomoću CBCT snimki.

Najveće pomake i kutove zakreta imao je drugi sjekutić što se također može vidjeti iz modela zuba prije i nakon ortodontske terapije.

Tablica 8.1 Usporedba komponenti pomaka te kutova zakreta zuba

Zub	Pomaci točke A			Pomaci točke B			Pomaci točke C			Kutovi zakreta	
	u_A [mm]	v_A [mm]	w_A [mm]	u_B [mm]	v_B [mm]	w_B [mm]	u_C [mm]	v_C [mm]	w_C [mm]	naginjanje [°]	rotacija [°]
Prvi sjekutić	0,21	0,95	-0,46	0,06	1,72	-0,53	0,43	-1,42	0,03	6,13	5,21
Drugi sjekutić	0,73	2,20	-1,23	0,03	2,25	-0,35	-0,44	-3,19	0,94	13,41	11,44
Očnjak	-0,10	1,19	0,63	0,24	2,14	1,08	0,69	-0,72	0,84	11,56	7,53

Tablica 8.2 Usporedba ukupnog pomaka točaka A, B i C

Zub	Ukupni pomak točke A l_A [mm]	Ukupni pomak točke B l_B [mm]	Ukupni pomak točke C l_C [mm]
Prvi sjekutić	1,076	1,801	1,484
Drugi sjekutić	2,624	2,277	3,355
Očnjak	1,35	2,409	1,304

9. ZAKLJUČAK

Cilj rada bio je izraditi modele gornje desne polovice čeljusti sa pripadajućim jednokorijenskim zubima na temelju CBCT snimki pacijenta prije i nakon ortodontske terapije te odrediti vrstu ortodontskog pomaka.

Kao što je vidljivo iz izrađenih modela, zubi su dobili mnogo bolji položaj na kraju terapije što će za posljedicu imati pravilniji zagriz te bolju raspodjelu žvačnih sila.

Pomaci zuba sastojali su se od translacije, naginjanja i rotacije. Prilikom mjerenja ustanovljeno je da se drugi sjekutić najviše pomakao tijekom terapije, što je i vidljivo ukoliko bolje pogledamo modele na slikama 5.5 i 5.6.

Program Mimics kvalitetno prikazuje 3D modele zubi i čeljusti, međutim samo mjerenje pomaka i kutova zakreta ovisi o iskustvu osobe koja to radi. U budućnosti će se sigurno više koristiti ovakvi računalni programi zbog svoje preciznosti i praktičnosti.

LITERATURA

- [1] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Stomatologija> , 15.2.2021.
- [2] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Ortodoncija> , 15.2.2021
- [3] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Malokluzija> , 15.2.2021.
- [4] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Zub> , 15.2.2021.
- [5] Puljić, M.: Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2016.
- [6] http://www.sfzg.unizg.hr/_download/repository/2012_morfologija_vjezba_8_ljetni_CA_KLINA.pdf
- [7] http://www.sfzg.unizg.hr/_download/repository/2012_morfologija_vjezba_11_ljetni_PA_RODONT.pdf
- [8] Klasić, T.: Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2020.
- [9] https://sr.wikipedia.org/sr-el/%D0%90%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%98%D0%B5_%D0%B7%D1%83%D0%B1%D0%B0 , 15.2.2021.
- [10] <http://dental4u.ba/aktuelnosti-iz-stomatologije/clanci/makrodoncija-i-mikrodoncija/> , 15.2.2021.
- [11] <https://www.maminsvijet.hr/zdravlje/zdravlje-zubi/mlijecni-zubi-rast-ispadanje-problemi-kod-nicanja-trajnih-zuba/> , 15.2.2021.
- [12] <https://repozitorij.sfzg.unizg.hr/islandora/object/sfzg%3A410/datastream/PDF/view>
- [13] <https://www.kaieteurnewsonline.com/2017/01/29/dental-health-embryological-stages-of-tooth-development/> , 15.2.2021.
- [14] <https://poliklinika-pavlic.hr/ortodoncija-rijeka/zanimljivosti/> , 15.2.2021.
- [15] <http://dentaland.info/delatnosti/estetska-stomatologija/erozija-zuba/> , 15.2.2021.
- [16] <https://www.juniordentist.com/abrasion-of-teeth.html> , 15.2.2021.

- [17] <https://repozitorij.sfzg.unizg.hr/islandora/object/sfzg%3A435/datastream/PDF/view>
- [18] <https://zh-cn.facebook.com/AnteCovicDrMedDent/photos/a.538543256174161/2945572708804525/?type=3&theater> , 15.2.2021.
- [19] Knapp, I.: Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2019.
- [20] <http://dental4u.ba/aktuelnosti-iz-stomatologije/clanci/obiljezavanje-zuba/> , 15.2.2021.
- [21] http://www.sfzg.unizg.hr/_download/repository/2011_morfologija_1_vjezba_11_13_za_PDF.pdf
- [22] https://bib.irb.hr/datoteka/591935.ORTODONTSKI_PRIRUNIK.pdf
- [23] Blaskovic, M.: Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2016.
- [24] Nanda, R.S. i Tosun, Y.S.: Biomechanics in Orthodontics: Principles and Practice, Quintessence Publishing Co, Inc, 2010.
- [25] Panić, T: Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2019.
- [26] Špalj, S. i suautori: Ortodontski priručnik, Medicinski fakultet sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2012.