

# Rubni uvjeti kod opisa ortodontskog pomaka zuba

---

**Klasić, Tomislav**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*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:235:361229>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-31**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Tomislav Klasić**

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

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

Dr. sc. Jasna Leder Horina, mag. ing.

Student:

Tomislav Klasić

Zagreb, 2020.

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. Jasna Leder Horina na ukazanoj pomoći, savjetima, strpljenju i razumijevanju tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se svojoj obitelji, djevojci i prijateljima na potpori tijekom studiranja.

Tomislav Klasić



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, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Tomislav Klasić** Mat. br.: 0035205160

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Rubni uvjeti kod opisa ortodontskog pomaka zuba**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Necessary boundary conditions for orthodontic tooth movement**

Opis zadatka:

Tijekom ortodontske terapije dolazi do pomicanja zuba u željeni položaj. Položaj ortodontskog aparata, kao i primijenjeno opterećenje, ovise o iskustvu ortodonta.

U radu je potrebno, na temelju CBCT snimki pacijenta, izraditi model lijeve polovine gornje čeljusti s pripadajućim jednokorijenskim zubima prije i nakon terapije. Cilj je prikazati zube prije i poslije ortodontske terapije te utvrditi vrste ortodontskog pomaka zuba. Nakon određivanja pomaka, potrebno je postaviti rubne uvjete koji su potrebni za pojedini pomak zuba.

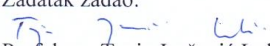
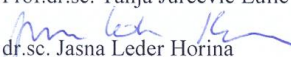
Potrebne parametre modela dogovoriti s mentorima.


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

Zadatak zadan:  
28. studenog 2019.

Datum predaje rada:  
**1. rok:** 21. veljače 2020.  
**2. rok (izvanredni):** 1. srpnja 2020.  
**3. rok:** 17. rujna 2020.

Predviđeni datumi obrane:  
**1. rok:** 24.2. – 28.2.2020.  
**2. rok (izvanredni):** 3.7.2020.  
**3. rok:** 21.9. – 25.9.2020.

Zadatak zadao:  
  
Prof.dr.sc. Tanja Jurčević Lulić  
  
dr.sc. Jasna Leder Horina

Predsjednik Povjerenstva:  
  
Prof. dr. sc. Igor Balen

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY .....	VIII
1. Uvod .....	1
2. Zubi.....	2
2.1. Denticija .....	3
2.2. Usna šupljina.....	6
2.3. Anatomski dijelovi i građa zuba .....	9
2.3.1. Anatomski dijelovi zuba .....	9
2.3.2. Građa zuba .....	10
2.4. Potporne strukture zuba .....	13
2.4.1. Parodontni ligament .....	13
2.4.2. Alveolna kost .....	14
2.4.3. Gingiva.....	15
2.5. Morfološka podjela zubi .....	16
2.6. Obilježavanje zuba .....	19
2.7. Zubne anomalije.....	20
2.7.1. Podjela zubnih anomalija .....	20
2.7.2. Anomalije broja zuba .....	20
2.7.3. Anomalije veličine zuba.....	22
2.7.4. Anomalije položaja zuba.....	22
3. Ortodontska terapija.....	26
3.1. Ortodoncija.....	26
3.2. Ortodontske naprave .....	27
3.3. Fiksne ortodontske naprave .....	28
3.4. Ključevi optimalne okluzije .....	30
4. Biomehanika zuba .....	31
4.1. Omjer moment-sila .....	32
4.2. Pomicanje zuba .....	33
5. Rubni uvjeti kod opisa pomaka zuba.....	35
6. Pomaci izrađenog modela i primjena rubnih uvjeta .....	36
6.1. Prvi sjekutić.....	39
6.2. Drugi sjekutić .....	41
6.3. Očnjak .....	44
6.4. Prikaz rezultata.....	47
7. ZAKLJUČAK.....	49

---

LITERATURA..... 50

**POPIS SLIKA**

Slika 2.1	Evolucija zuba [2] .....	2
Slika 2.2	Mliječni zubi [4] .....	3
Slika 2.3	Trajna denticija [5] .....	4
Slika 2.4	Usna šupljina [7] .....	6
Slika 2.5	Zubni lukovi [8] .....	6
Slika 2.6	Orijentacijske ravnine [8] .....	7
Slika 2.7	Mezijalne (lijevo) i distalne (desno) plohe [8] .....	8
Slika 2.8	Orijentacijske točke jednokorijenskih (lijevo) i višekorijenskih (desno) zubi [8] ..	8
Slika 2.9	Struktura zuba [1] .....	9
Slika 2.10	Zdrava (lijevo) i oštećena (desno) caklina [12] .....	10
Slika 2.11	Kristal kalcij-hidroksiapatita [11] .....	11
Slika 2.12	Karijes dentina [14] .....	11
Slika 2.13	Endodontski postupak [16] .....	12
Slika 2.14	Periodont [18] .....	13
Slika 2.15	Alveolna kost [15] .....	14
Slika 2.16	Upala desni [20] .....	15
Slika 2.17	Prvi (lijevo) i drugi (desno) gornji sjekutić [8] .....	16
Slika 2.18	Trajni gornji očnjak [8] .....	17
Slika 2.19	Prvi gornji pretkutnjak [21] .....	17
Slika 2.20	Gornji desni kutnjaci [22] .....	18
Slika 2.21	Univerzalni sustav za trajne zube [21] .....	19
Slika 2.22	Haderupov sustav obilježavanja [21] .....	19
Slika 2.23	Hipodoncija gornjeg lijevog bočnog sjekutića [23] .....	21
Slika 2.24	Anodoncija [24] .....	21
Slika 2.25	Hiperdonicija [25] .....	22
Slika 2.26	Ektopija [26] .....	23
Slika 2.27	Transpozicija [26] .....	23
Slika 2.28	Inklinacija [27] .....	24
Slika 2.29	Rotacija [26] .....	24
Slika 2.30	Infrapozicija [26] .....	25
Slika 3.1	Skeletna (lijevo), dentoalveolarna (sredina) i kombinirana (desno) anomalija [28] .....	26
Slika 3.2	Moblina naprava – Schwarzova ploča [28] .....	27
Slika 3.3	Fiksna naprava za forsirano cijepanje nepca [28] .....	27
Slika 3.4	Edgewise bravica [28] .....	29
Slika 3.5	Labijalna (lijevo) i lingvalna (desno) tehnika .....	29
Slika 3.6	Šest ključeva okluzije [28] .....	30
Slika 4.1	Raspodjela sile [29] .....	31
Slika 4.2	Centar otpora [29] .....	31
Slika 4.3	Centar rotacije pri djelovanju sprega sila [29] .....	32
Slika 4.4	Nekontrolirano naginjanje [29] .....	33
Slika 4.5	Kontrolirano naginjanje [29] .....	33
Slika 4.6	Translacija [29] .....	34
Slika 6.1	CBCT snimke .....	36
Slika 6.2	Izrada maske .....	37



---

Slika 6.3	3D prikaz maske .....	37
Slika 6.4	Model zubi i čeljusti prije (lijevo) i nakon (desno) terapije .....	38
Slika 6.5	Djelovanje sila pri translaciji (lijevo), naginjanju (sredina) i rotaciji (desno) prvog sjekutića .....	39
Slika 6.6	Model prvog sjekutića prije i nakon terapije .....	40
Slika 6.7	Centar rotacije pri naginjanju drugog sjekutića .....	41
Slika 6.8	Djelovanje sila pri naginjanju (lijevo), translaciji (sredina) i rotaciji (desno) drugog sjekutića .....	42
Slika 6.9	Drugi sjekutić prije i nakon terapije .....	43
Slika 6.10	Centar rotacije pri naginjanju očnjaka .....	44
Slika 6.11	Djelovanje sila pri naginjanju (lijevo), translaciji (sredina) i rotaciji (desno) očnjaka .....	45
Slika 6.12	Očnjak prije i poslije terapije .....	46
Slika 6.13	Pozitivni smjerovi za određivanje predznaka kuteva .....	47
Slika 6.14	Ukupni pomak $d$ .....	48

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Nicanje zubi [1] .....	5
Tablica 2. Kutevi zakreta.....	47
Tablica 3. Pomaci zuba .....	48

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$d$	mm	Udaljenost, pomak
$d_1, d_2, d_3$	mm	Pomak prvog sjekutića, drugog sjekutića i očnjaka
$F$	N	Sila
$F_n$	N	Sila naginjanja
$F_r$	N	Sila rotacije
$F_t$	N	Sila translacije
$M$	Nmm	Moment
$M_1$	Nmm	Moment naginjanja
$M_2$	Nmm	Moment na žici
$x_{co}, y_{co}, z_{co}$	/	Koordinate centra otpora
$x_{cr}, y_{cr}, z_{cr}$	/	Koordinate centra rotacije
$\alpha_n$	°	Kut naginjanja
$\alpha_{xy}, \alpha_{yz}, \alpha_{zx}$	°	Kut između dva zuba u ravninama $xy$ , $yz$ i $zx$

## SAŽETAK

Cilj ovog rada bio je odrediti rubne uvjete kod opisa ortodontskog pomaka zuba. U radu su navedena osnovna svojstva zuba, navedeni i opisani njegovi dijelovi te način označavanja zubi u usnoj šupljini, a navedena je i morfološka podjela zubi. Također, navedene su i opisane anomalije broja, veličine i položaja zubi. Navedena su opća svojstva ortodoncije, kao grane koja se bavi ispravljanjem navedenih zubnih anomalija, te mobilnih i fiksnih naprava koje se koriste u ortodontskih terapijama. Prikazani su zakoni biomehanike zuba, čije poznavanje je nužno za određivanje rubnih uvjeta kod ortodontskih pomaka, te su opisani i prikazani centar otpora i centar rotacije zuba. Ukupni pomak zuba podijeljen je na translacije i rotacije, a za pojedine pomake definirani su rubni uvjeti. Pomake se mjerilo na modelima zubi izrađenih pomoću CBCT snimki čeljusti, a izrađeni su modeli lijeve polovine gornje čeljusti s pripadajućim jednokorijenskim zubima prije i nakon ortodontske terapije. Izmjereni pomaci prikazani su tablično na kraju rada.

Ključne riječi: biomehanika zuba, ortodontski pomak, centar otpora, centar rotacije, rubni uvjeti

## **SUMMARY**

The aim of this paper was to determine boundary conditions when describing the orthodontic displacement of the tooth. The paper describes basic properties of tooth, listing and describing its parts and describes the way of marking teeth in oral cavity. Morphological division is also listed. The anomalies in number, size and position of teeth are also listed and described. Basic properties of orthodontics, specialty of dentistry that deals with correction of listed anomalies, and mobile and fixed devices used in orthodontics, are listed. The laws of tooth biomechanics are described, because understanding those laws is crucial for determination of boundary conditions. The center of resistance and center of rotation of tooth are also described. Total tooth displacement is divided in translations and rotations for which boundary conditions were determined. Displacements were measured on tooth models. Models of the left half of the upper jaw with associated single root teeth, before and after the orthodontic therapy, were made. Measured displacements are shown in tables at the end of the paper.

Key words: tooth biomechanics, orthodontic displacement, center of resistance, center of rotation, boundary conditions

## **1. Uvod**

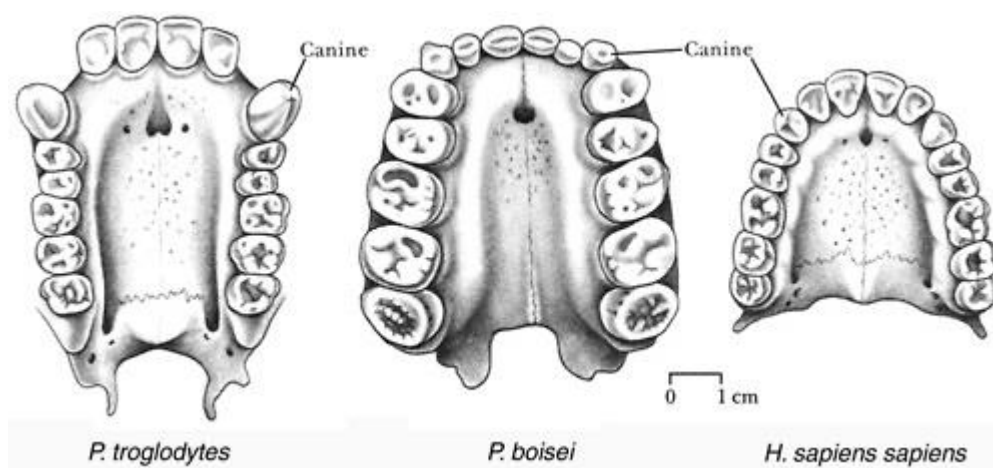
Razvoj znanosti, medicine i tehnike omogućio je čovjeku ispravljanje raznih tjelesnih nedostataka, poput nepravilnog položaja, orijentacije i broja zubi. Zubi su važan dio ljudskog tijela koji služi za pripremu (žvakanje i drobljenje) hrane te imaju važnu funkciju u govoru. Također, sami izgled zubi utječe na estetiku lica, a osim estetskih, nepravilni položaj zubi u usnoj šupljini može dovesti i do zdravstvenih problema. Nepravilan položaj zuba dovodi do nepravilnog zagriža, a nepravilan zagriž uzrokuje stvaranje sila koje uzrokuju trošenje, pucanje te moguće ispadanje zuba. Grana medicine koja se bavi bolestima zubi naziva se stomatologija, a grana koja se bavi ispravljanjem nepravilnosti u razmještanju zubi naziva se ortodontija.

U radu je potrebno izraditi personalizirane modele 3 zuba (dva sjekutića i očnjaka na gornjoj lijevoj strani čeljusti) i čeljusti prije i nakon ortodontske terapije, u računalnom programu Mimics, na temelju dobivenih CT snimaka pacijenta. Na temelju tih modela potrebno je odrediti rubne uvjete prilikom pomaka zuba.

## 2. Zubi

Zubi su kalcificirani organi koji se nalaze na početku probavnog trakta, u usnoj šupljini. Smješteni su u alveolne nastavke donje i gornje čeljusti te su usađeni u zubne čašice. Unutar zubnih lukova zubi se nalaze u neutralnom položaju u kojem je djelovanje svih sila u ravnoteži. Nalaze se u usnoj šupljini većine kralježnjaka, a oblik im je određen funkcijom koju obavljaju [1].

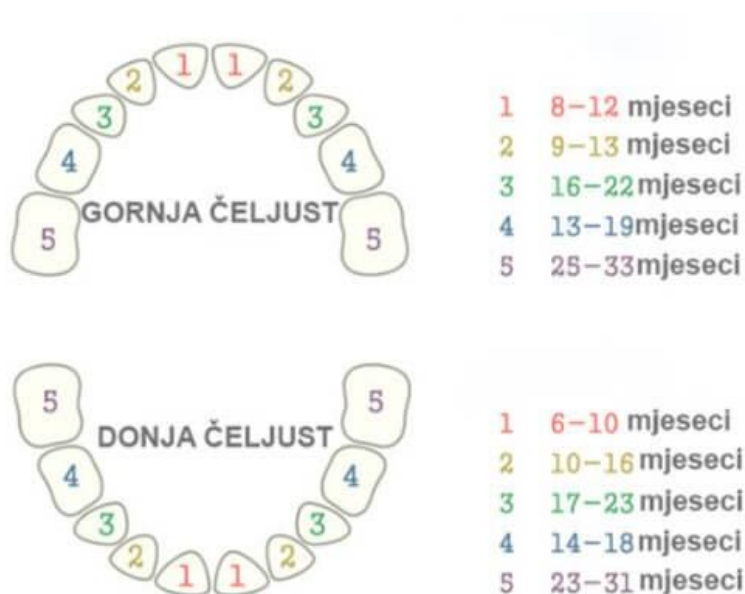
Postoji više teorija o nastanku zubi, a sve se zasnivaju na analizama fosilnih ostataka [Slika 2.1]. Niti jedna od tih teorija nije u potpunosti potvrđena. Teorija diferencijacije kaže da je čovječje zubalo nastalo od jednokvržičnih zuba reptila, a objavio ju je Osborne 1888. godine. On je smatrao da su se na postojećoj kvržici pojavile dvije oštre elevacije, od kojih su daljnom evolucijom nastale još dvije kvržice. Okulzalne površine današnjih kutnjaka formirane su u periodu Jure kada su nastale dodatne kvržice. Konkrescentna teorija kaže da su današnji zubi sisavaca nastali spajanjem pojedinačnih zuba reptila, a broj kvržica odgovara broju spojenih primarnih zuba. Koncentracijska teorija kaže da su složeni zubi sisavaca nastali nepotpunim cijepanjem jednostavne dentalne osnove reptila. Tu je teoriju predložio Bolk 1916. godine [1].



Slika 2.1 Evolucija zuba [2]

## 2.1. Denticija

Denticija je proces nicanja zube koji počinje formiranjem zuba, a završava njegovim smještanjem u funkcionalan zubni niz. Kod ljudi se razlikuju dvije denticije: mliječna i trajna. Mliječna denticija sastoji se od 20 zubi čije nicanje počinje u šestom mjesecu života, a do treće godine su u ustima prisutni svi mliječni zubi. Razvoj zuba ili odontogeneza uključuje mnoge složene biološke procese te započinje oko sredine 6. tjedna embrionalnog razvoja. Veoma rijetko beba odmah nakon rođenja ima iznikle zube, koji se označavaju kao prenatalni. Mliječna denticija sveukupno broji 20 zubi: 8 sjekutića, 4 očnjaka i 8 molara [Slika 2.2]. Dakle, u primarnoj denticiji ne postoje pretkutnjaci. Mliječni zubi ispadaju između 7. i 12. godine života [1,3].



Slika 2.2 Mliječni zubi [4]



Od 6. godine počinju nicati trajni zubi, a od 6. do 12. godine u usnoj šupljini se nalaze i mliječni i trajni zubi. Trajnu denticiju u čovjeka čine 32 zuba, po 16 u svakoj čeljusti: četiri sjekutića, dva očnjaka, četiri pretkutnjaka i šest kutnjaka [Slika 2.3] [3].



**Slika 2.3** Trajna denticija [5]

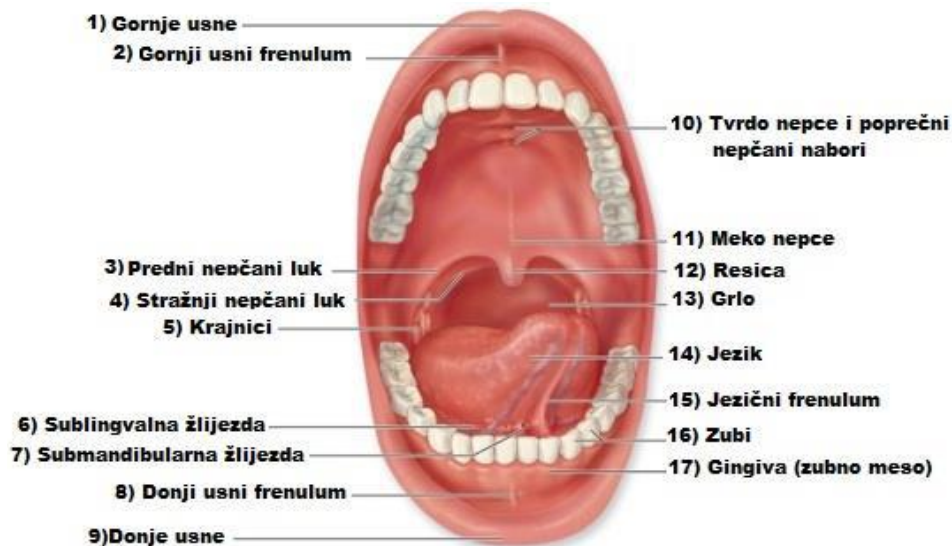
U tablici 1 prikazano je vrijeme nicanja mliječnih i trajnih zubi.

**Tablica 1. Nicanje zubi [1]**

	Mliječni zubi				Trajni zubi			
	Donji		Gornji		Donji		Gornji	
	Vrijeme (mj.)	Redoslijed	Vrijeme (mj.)	Redoslijed	Vrijeme (god.)	Redoslijed	Vrijeme (god.)	Redoslijed
<b>Središnji sjekutić</b>	6	1	7,5	1	6-7	2	7-8	2
<b>Lateralni sjekutić</b>	7	2	9	2	7-8	3	8-9	3
<b>Očnjak</b>	16	4	19	4	9-10	4	11-12	6
<b>Prvi pretkutnjak</b>	-	-	-	-	10-11	5	10-11	4
<b>Drugi pretkutnjak</b>	-	-	-	-	11-12	6	11-12	5
<b>Prvi kutnjak</b>	12	3	14	3	6-7	1	6-7	1
<b>Drugi kutnjak</b>	20	5	24	5	11-13	7	12-13	7
<b>Treći kutnjak</b>	-	-	-	-	17-21	8	17-21	8

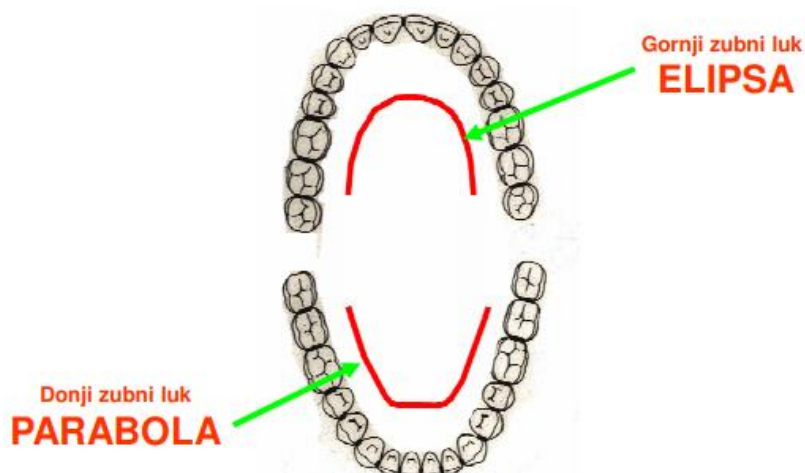
## 2.2. Usna šupljina

Usna šupljina početni je dio probavnog sustava, a proteže se od usnica do ždrijela [Slika 2.4]. U usnu šupljinu hrana ulazi, u njoj se priprema te potiskuje dalje u ždrijelo. Također, usna šupljina ima bitnu ulogu u tvorbi glasa i disanju [6].



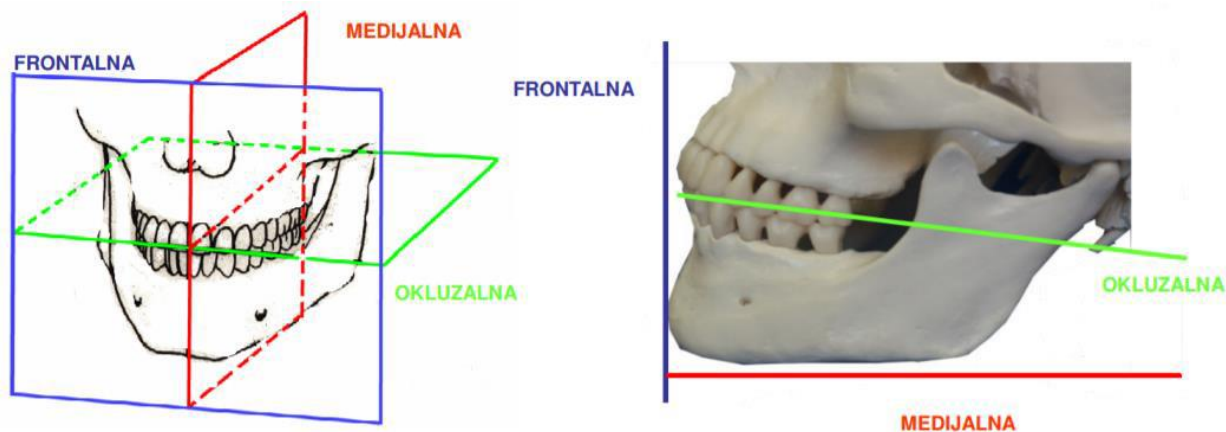
Slika 2.4 Usna šupljina [7]

Zubi su smješteni u dva zuba luka. Zubni luk čini niz zuba uloženi u alveolarne nastavke i obloženih gingivom. Gornji zubni luk dio je gornje čeljusti, nepomičan je i ima oblik poluelipse. Donji zubni luk je dio donje čeljusti te se s njom pomiče u usnoj šupljini, a ima oblik parabole [Slika 2.5] [1,8].



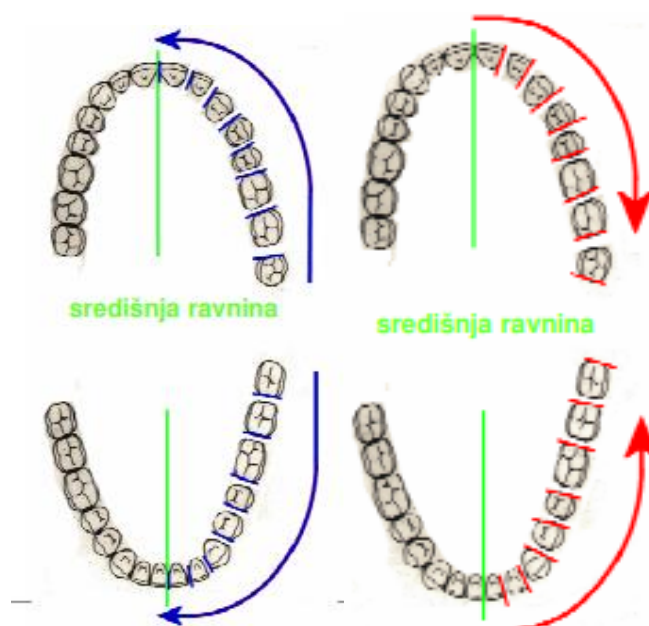
Slika 2.5 Zubni lukovi [8]

Kod promatranja zubi razlikujemo tri orijentacijske ravnine: frontalnu, medijalnu i okluzalnu [Slika 2.6]. Na zube u usnoj šupljini djeluju različite sile, poput sila mišića obraza i jezika te sila žvakanja, gutanja i govora. Različiti poremećaju u djelovanju tih sila mogu dovesti do poremećaja položaja zuba u čeljusti [9].



Slika 2.6 Orijentacijske ravnine [8]

Prilikom opisivanja zuba važno je poznavati orijentacijske točke i površine zuba. Prednji zubi imaju četiri površine i jedan greben, a bočni zubi imaju pet površina. Vanjska površina se naziva vestibularna jer je okrenuta prema vanjskoj strani usne šupljine. Za prednje zube se naziva labijalna jer je okrenuta prema usnama, dok se za bočne naziva bukalna zbog okrenutosti obrazima. Unutarnja površina zuba se naziva oralna odnosno lingualna jer je okrenuta prema unutrašnjosti usne šupljine i jeziku. Površina zuba okrenuta medijalnoj plohi se naziva mezijalna, a suprotno od nje se nalazi distalna površina zuba [Slika 2.7]. Mezijalna i distalna strana se nazivaju proksimalne strane. Površina zuba okrenuta prema antagonistima naziva se okluzalna ili grizna površina [8,10].

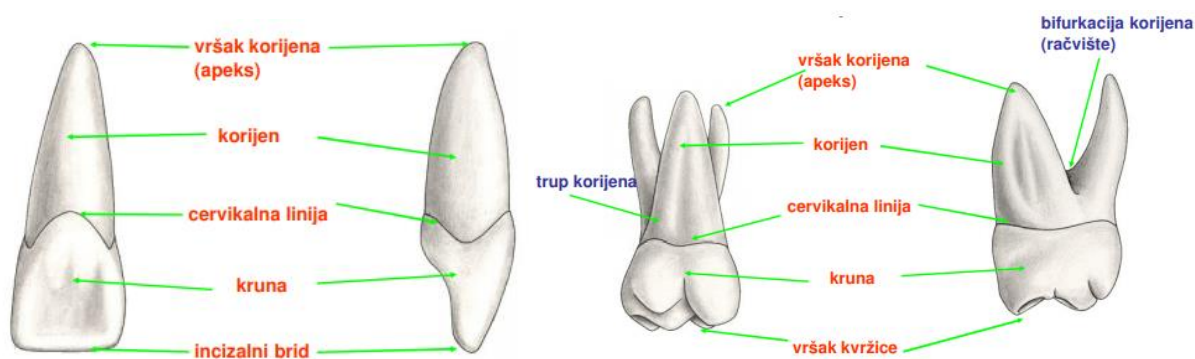


Slika 2.7 Mezijalne (lijevo) i distalne (desno) plohe [8]

Orijentacijske točke na jednokorijenskom zubu su [8]:

- vršak korijena (apeks),
- korijen,
- cervikalna linija,
- kruna,
- incizalni brid,

dok na višekorijenskim zubima uz navedene nalazimo trup i račvište korijena, te vršak kvržice koji zamjenjuje incizalni brid [Slika 2.8] [8].



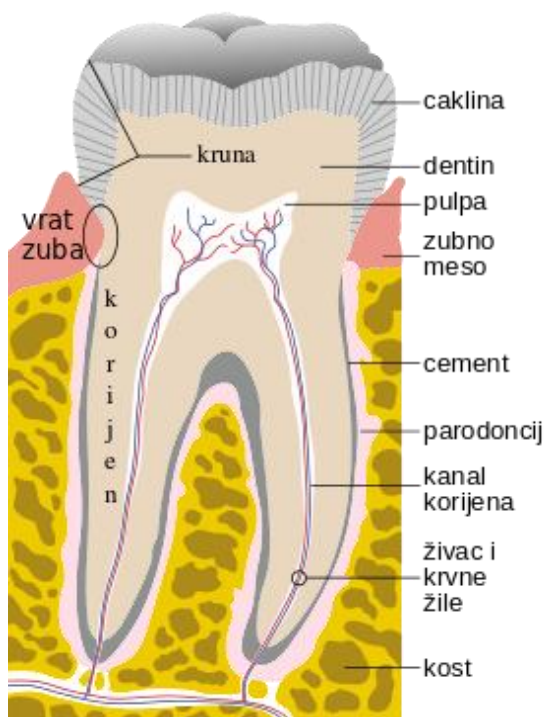
Slika 2.8 Orijentacijske točke jednokorijenskih (lijevo) i višekorijenskih (desno) zubi [8]

## 2.3. Anatomski dijelovi i građa zuba

### 2.3.1. Anatomski dijelovi zuba

Na svakom zubu se razlikuju tri osnovna dijela: kruna, vrat i korijen zuba. Kruna zuba se označava s dva termina: anatomska i klinička kruna. Anatomska kruna je dio zuba prekriven caklinom, a dio joj je pokriven desnim pa se ne vidi cijela. Klinička kruna je vidljivi dio zuba i može, ali ne mora, odgovarati anatomskej kruni. Ona se obično mijenja tokom života. Vrat zuba je suženje na granici cakline i cementa, a u fiziološkim uvjetima je prekriven sluznicom usta. Između zuba i sluznice se nalazi uzak prostor koji se naziva fiziološki džep. Korijen zuba također promatramo kao anatomski i klinički, a služi učvršćivanju zuba. Anatomski korijen je dio zuba prekriven cementom i usađen u zubnu jamicu (alveolu). Klinički korijen je onaj dio zuba koji se ne vidi pri inspekciji u ustima i može, ali ne mora, odgovarati anatomskej korijenu. Prema broju zubnih korijena razlikujemo [1,3]:

- jednokorijenske zube (sjekutići, očnjaci i pretkutnjaci, uz izuzetak gornjeg prvog pretkutnjaka),
- dvokorijenske zube (gornji prvi pretkutnjak i svi donji kutnjaci),
- trokorijenske zube (gornji kutnjaci).



Slika 2.9 Struktura zuba [1]

### 2.3.2. Građa zuba

Svaki zub je izgrađen od tri mineralizirana tkiva (cakline, cementa i dentina), te posebnog vezivnog tkiva koje se naziva zubna pulpa [1].

Zubna caklina je čvrsto mineralno tkivo koje prekriva dentin u predjelu anatomske krune zuba. To je najtvrdi dio zuba i najtvrdje tkivo u organizmu uopće, ali je vrlo kruta. Sastoji se od caklinskih prizmi promjera 3-6  $\mu\text{m}$ , tj. velikih i veoma zbijenih kristala kalcij-hidroksiapatita [Slika 2.11] za koji su vezani ioni karbonata, magnezija, natrija, kalija itd. Ti kristali su ugrađeni u finu mrežu vrlo čvrstih i gotovo potpuno netopivih proteinskih vlakana, a vanjska površina cakline je prekrivena caklinskom košuljicom. Zbog svog sastava caklina je vrlo otporna na djelovanje enzima, kiselina i ostalih korozivnih tvari, te predstavlja prvu i glavnu liniju obrane od karijesa. Djelomično je prozirna tako da boja zuba ovisi o boji dentina i prozirnosti cakline [Slika 2.10] (što je caklina manje prozirna to su zubi bjelji). Caklina štiti strukturu zuba od jakih žvačnih sila, te daje vanjski oblik kruni zuba. Stanice koje stvaraju caklinu, ameloblasti, nestaju nakon što zub izađe, pa se caklina ne može regenerirati [1,11].

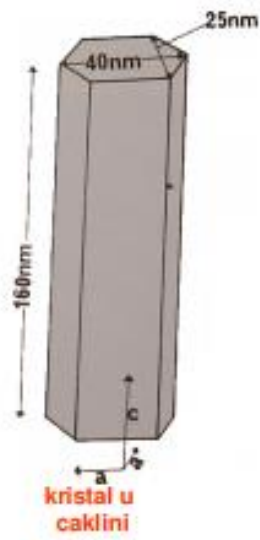


**Slika 2.10 Zdrava (lijevo) i oštećena (desno) caklina [12]**

Caklina ima određena fizikalna i kemijska svojstva. Fizikalna svojstva cakline su [11]:

- a) debljina (od nekoliko mm do maksimalnih 2,5 mm),
- b) indeks loma (prosječno 1,62),
- c) tvrdoća,
- d) modul elastičnosti (visok modul elastičnosti, krhka i niske čvrstoće),
- e) permeabilnost,
- f) gustoća (2,8 – 3,0 g/ml).

Kemijska svojstva cakline ovise o njenom sastavu. S obzirom na masene udjele, caklina se sastoji od 96% mineralne tvari (anorganski dio), 1% organske tvari i 3% vode [11].



Slika 2.11 Kristal kalcij-hidroksiapatita [11]

Dentin ili zubna kost je čvrsto tkivo koje izgrađuje najveći dio zuba. Pokriven je caklinom u području krune i cementom u području korijena. Ima približan oblik zuba, a u središnjem dijelu formira zubnu šupljinu. Po sastavu je sličan kostima, a građen je od 20% organskih tvari, 70% anorganskih tvari i 10% vode. Sastoji se uglavnom od kristala hidroksiapatita ugrađenih u čvrstu mrežu kolagenih vlakana, a soli kalcija ga čine otpornim na pritisak. Kroz dentin prolaze Haversovi kanalići promjera 2-5  $\mu\text{m}$ , kroz koje prolaze Thomasova vlakna (ogranci krvnih žila i živaca), te fibra vlakna. Za razliku od cakline, dentin se stvara tokom cijelog života. Na slici 2.12 prikazan je karijes dentina [1, 13].



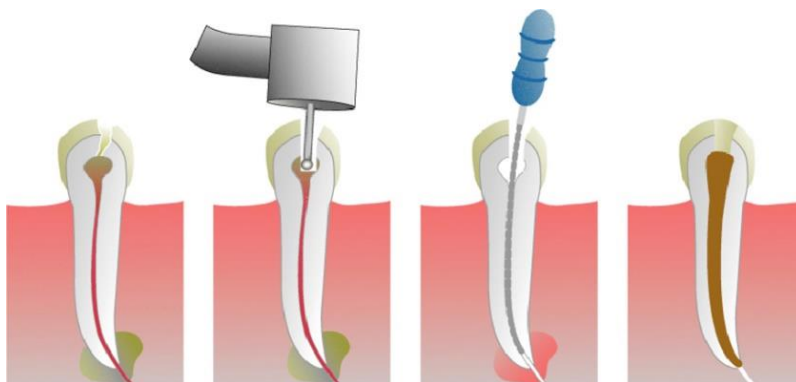
Slika 2.12 Karijes dentina [14]



Cement je mineralizirano vezivno tkivo koje prekriva dentin u području anatomskog korijena zuba. Po građi je sličan kostima i sadrži 30% organskih tvari, 45% anorganskih tvari i 25% vode. Najdeblji je u području vrha i račvanja korijena. Cement služi kao medij preko kojeg parodontni ligament tvori stabilan spoj sa zubom. Kao i dentin, cement se stvara tokom cijelog života [1,15].

Zubna pulpa ispunjava unutrašnjost zuba, a sastoji se od mekog vezivnog tkiva. To tkivo sadrži krvne žile i živce koji u zub ulaze kroz otvor u vrhu korijena. Na granici dentina i pulpe nalaze se odontoblasti, koji stvaraju dentin. Kod starijih osoba se pulpa postepeno smanjuje. Grana stomatologije koja se bavi terapijom oboljele pulpe naziva endodoncija [Slika 2.13.]. Funkcije pulpe su [1]:

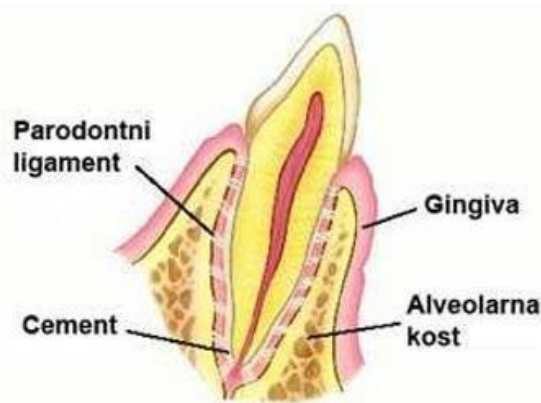
- formativna (produkcija kolagenih vlakana i stvaranje dentina),
- nutritivna (regulacija metabolizma osnovnih elemenata svih dijelova zuba),
- neurosenzorna (sadrži živčana vlakna),
- obrambena (stvaranje sekundarnog i terciarnog dentina).



Slika 2.13 Endodontski postupak [16]

## 2.4. Potporne strukture zuba

Periodont je potporna struktura zuba koja služi za povezivanje zuba s okolnim tkivima i omogućava osjećaj dodira i tlaka [Slika 2.14.]. Sastoji se od cementa (jedini dio koji pripada samom zubu), parodontnog ligamenta, alveolne kosti i gingive [17].



Slika 2.14 Periodont [18]

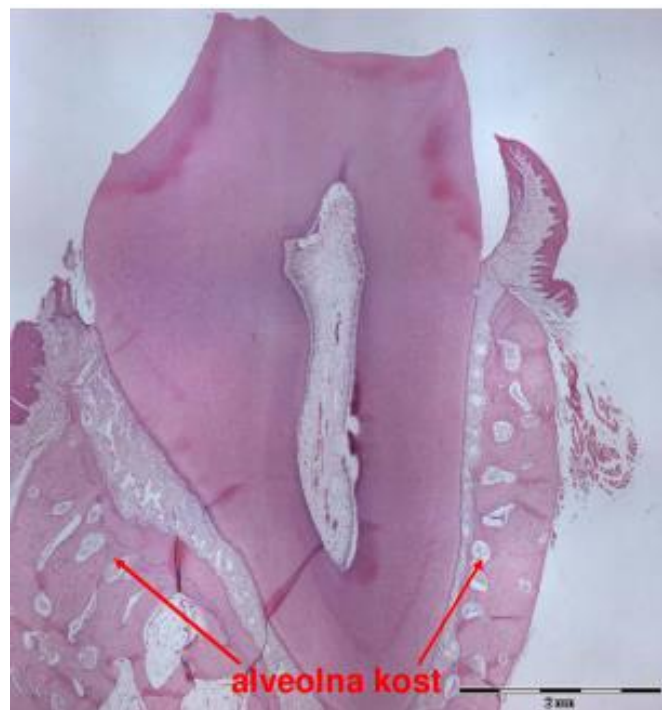
### 2.4.1. Parodontni ligament

Parodontni ligament (PDL) je specijalizirano vezivno tkivo koje povezuje cement zuba s alveolnom kosti te prekriva vrh korijena. Također, PDL drži gingivu u pravilnom položaju u odnosu na zub, te amortizira i prenosi sile sa zuba na alveolnu kost. Sastoji se od stanica, međustanične tvari i vlakana. Glavna vlakna su kolagena vlakna koja su s jedne strane usidrena u cement, a s druge u alveolnu kost. PDL sadrži i elastična vlakna koja osiguravaju položaj zuba prilikom žvakanja. Stanice parodontnog ligamenta sudjeluju u stvaranju i resorpciji tvrdih tkiva periodonta. Bogato je opskrbljen krvnim žilama i živcima. Krvne žile parodontnog ligamenta osiguravaju hranu stanicama parodontnog ligamenta te okolnim stanicama cementa i alveolne kosti, a živci parodontnog ligamenta su sastavni dio mehanizma za prijenos osjeta boli, pritiska, dodira i sl. Debljina PDL-a kreće se u rasponu od 0,15 do 0,38 mm, a opada s godinama [1,15,17].

### 2.4.2. Alveolna kost

Alveolna kost [Slika 2.15] je koštano tkivo koje okružuje i učvršćuje zube, a tvori kontinuiranu cjelinu s kostima gornje i donje čeljusti. Kroz nju prolaze krvne žile i živci sve do vrha korijena zuba, gdje ulaze u zubnu pulpu. Građena je od 45% anorganskih tvari, 35% organskih tvari i 20% vode, a preko 90% organskog dijela čini kolagen. S obzirom na funkciju može se podijeliti na dva dijela [15,17]:

- dio kosti na koji se veže PDL
- potporni dio kosti



Slika 2.15 Alveolna kost [15]

### 2.4.3. *Gingiva*

Gingiva ili desni je meko tkivo koje okružuje zube i prekriva alveolnu kost. Njezin najveći dio je spojen s alveolnom kosti, te štiti kost od prodora bakterija. Gingivu dijelimo na [17]:

- slobodnu gingivu,
- pripojnu gingivu,
- interdentalnu gingivu.

Slobodna gingiva oblaže vrat zuba, obično je svjetloljubičaste boje te je valovita. U apikalnom području slobodna gingiva prelazi u pripojnu gingivu, koja je čvrsta i elastična te čvrsto vezana za periost, tj. vanjsku ovojnicu alveolne kosti. Interdentalna gingiva zauzima prostor između dva zuba koji stoje u kontaktu. Zdrava gingiva je ružičaste boje, a promjene mogu biti posljedica upala i djelovanja raznih bakterija [slika 2.16.] [19].



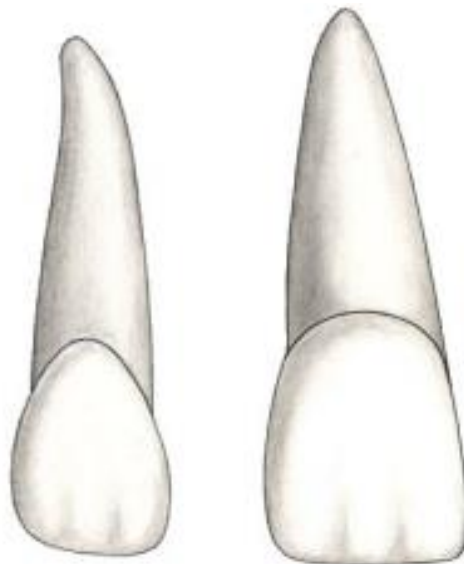
**Slika 2.16** Upala desni [20]

## 2.5. Morfološka podjela zubi

Prema morfološkim karakteristikama zubi se dijele na [1]:

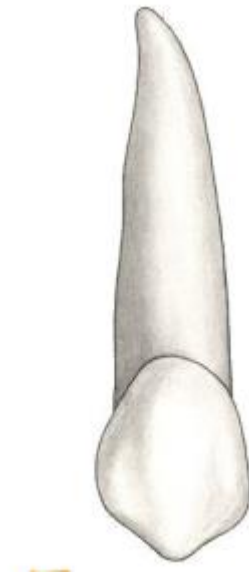
- a) sjekutiće,
- b) očnjake,
- c) pretkutnjake,
- d) kutnjake (molare).

U sjekutiće (incizive) [Slika 2.17] spada 8 prednjih jednokorijenskih zuba, 4 u gornjoj i 4 u donjoj čeljusti. Sjekutić bliži medijalnoj ravnini naziva se prvi, a onaj do njega drugi. Njihova funkcija je sjeckanje i prerezivanje hrane prilikom žvakanja. Zbog nepostojanja vrha na sjekutićima, površina zuba koja se koristi prilikom žvakanja se naziva rub zuba [8]:



**Slika 2.17** Prvi (lijevo) i drugi (desno) gornji sjekutić [8]

Očnjaci [Slika 2.18] su zubi koji se nalaze između sjekutića i pretkutnjaka, a služe za kidanje hrane. Jednokorijenski su zubi, a u zubalu odraslog čovjeka nalaze se 4 očnjaka, dva na gornjoj i dva na donjoj čeljusti. Imaju najdeblji i najdulji korijen koji je dobro učvršćen u alveolnu kost, te su zbog toga najstabilniji zubi. Kruna očnjaka ima oblik oštrice, a građena je od cakline [8]:



**Slika 2.18** Trajni gornji očnjak [8]

Pretkutnjaci [Slika 2.19] se nalaze između očnjaka i kutnjaka, višekorijenski su zubi raznolike funkcije. U mliječnoj denticiji se ne pojavljuju, a odrastao čovjek ima 8 pretkutnjaka, 4 gornja i 4 donja [12].



**Slika 2.19** Prvi gornji pretkutnjak [21]

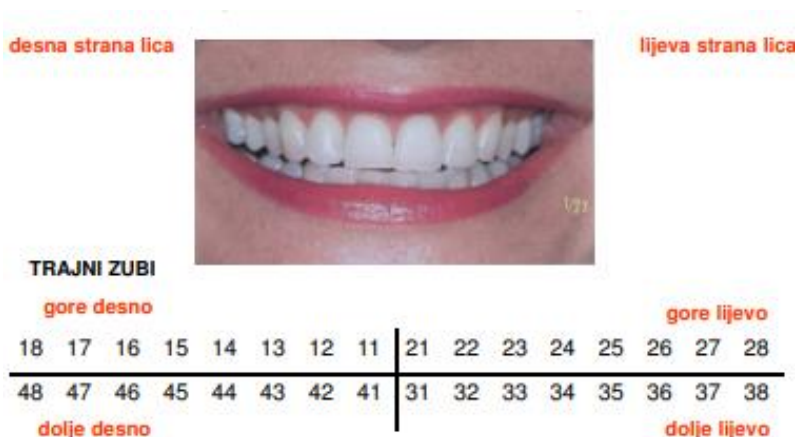
Kutnjaci [Slika 2.20] su višekorijenski zubi koji imaju najveću ulogu u drobljenju i žvakanju hrane, te prenose najveće sile, što uvjetuje njihovu veličinu i raspored korijena. Prvi kutnjak je trokorijenski, šesti od medijalne linije i najveći zub u ustima čovjeka. Drugi gornji kutnjak je također trokorijenski, sličan, ali manji od prvog kutnjaka. Treći kutnjak ili umnjak je zub koji zadnji niče, a može se i ne pojaviti. Osnovna funkcija mu je gnječenje i mljevenje hrane [22].



Slika 2.20 Gornji desni kutnjaci [22]

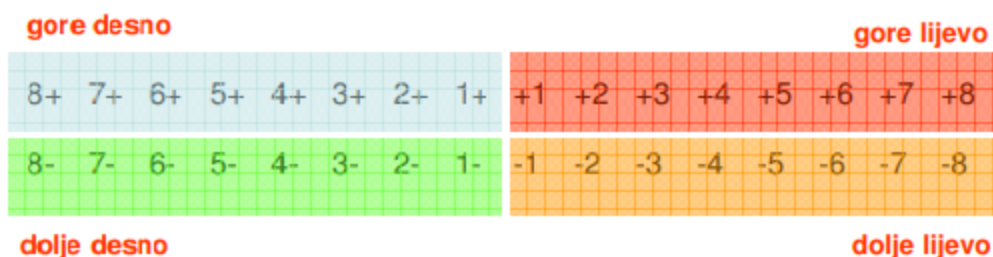
## 2.6. Obilježavanje zuba

Postoji više načina za obilježavanje zuba kao što su Haderupov sustav, Palmer-Zigmondy sustav, univerzalni sustav, FDI sustav itd. Univerzalni sustav [Slika 2.21] se koristi od 1969. godine. Za trajne zube, zubni lukovi su podijeljeni na četiri kvadranta označena brojevima od 1 do 4, pri čemu 1 označava gornji desni, 2 gornji lijevi, 3 donji lijevi i 4 donji desni kvadrant. Četiri kvadranta mliječne denticije označena su brojevima od 5 do 8. Drugi broj u oznaci zuba predstavlja položaj zuba u kvadrantu, polazeći od medijalne linije. Mliječni zubi se označavaju velikim slovima od A do T [21].



Slika 2.21 Univerzalni sustav za trajne zube [21]

Također, koristi se i Haderupov sustav obilježavanja zubi [Slika 2.22]. Njega je predložio Victor Haderup u Danskoj, 1887. godine. Zubni lukovi su podijeljeni u četiri kvadranta, gornja čeljust označava se znakom “+”, a donja “-“ [21].



Slika 2.22 Haderupov sustav obilježavanja [21]



## **2.7. Zubne anomalije**

Velik je broj raznovrsnih poremećaja koji se mogu manifestirati na zubu ili drugim orofacijalnim strukturama. Ovisno u kojem stadiju razvoja zuba dolazi do poremećaja, razlikujemo anomalije broja, veličine, oblika, strukture i položaja zuba [23].

### **2.7.1. Podjela zubnih anomalija**

Anomalije broja zuba nastaju kao posljedica poremećaja koji se javljaju tijekom stadija pupoljka zuba (stadij inicijacije). U slučaju nedostatka zubi se razlikuju hipodoncija, oligodoncija ili anodoncija, dok u slučaju prekobrojnih zubi, govorimo o hiperdonciji. Anodoncija će biti dijagnosticirana u slučajevima kada nedostaju svi zubi, termin hipodoncije se koristi u slučajevima kada nedostaje jedan do šest zuba, a ako nedostaje više od šest zuba, tada se koristi termin oligodoncija. Nepravilnosti broja zuba mogu se pojaviti i u mliječnoj i u trajnoj denticiji [23].

Anomalije veličine zuba mogu se manifestirati kao manji zubi od ostalih, i tada govorimo o mikrodonciji, ili kao veći zubi od ostalih, kada govorimo o makrodonciji. Varijacije u veličini zuba susreću se među spolovima, tako da se može reći da muškarci generalno imaju veće zube od žena, a prisutne su i razlike među rasama. Ako veličina zuba odstupa za dvije standardne devijacije od prosječne veličine za tu rasu i spol, stanje se dijagnosticira kao anomalija [23].

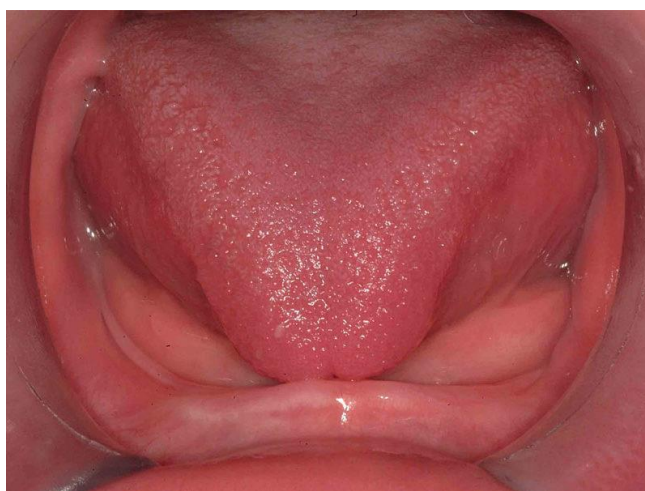
### **2.7.2. Anomalije broja zuba**

Hipodoncija je anomalija nedostatka do šest zubi. Može se pojaviti i u mliječnoj i u trajnoj denticiji. Uzrok nedostatka pojedinačnog zuba najčešće je nejasan i smatra se kako može nastati kao posljedica genetskog poremećaja, ali i određenih utjecaja čimbenika okoline, koji djeluju tijekom razvitka. Na nedostatak pojedinačnog zuba mogu utjecati i određene bolesti majke tijekom trudnoće kao što je npr. rubeola. Dentalni antropolozi smatraju hipodonciju filogenetskom anomalijom. Po Lavelleu i suradnicima postoji evolucijska sklonost skraćanju čeljusti suvremenog čovjeka. Po nekim mišljenjima zubi koji najčešće nedostaju male su praktične vrijednosti, te će s vremenom potpuno nestati iz ljudskog zubala. Najčešći zubi zahvaćeni ovom anomalijom su bočni sjekutići, drugi pretkutnjaci i treći kutnjaci [slika 2.23.] [23].



**Slika 2.23 Hipodoncija gornjeg lijevog bočnog sjekutića [23]**

Ako u denticiji nedostaje više od šest zuba, tada govorimo o oligodonciji. Anodoncija, anomalija nedostatka svih zuba, izuzetno je rijetka [slika 2.24.] [23].



**Slika 2.24 Anodoncija [24]**

Hiperodoncija je anomalija povećanja broja zubi u čeljustima, nasljedna je, a manifestira se poremećajima nicanja i povećanim brojem zubi koji se u nekim slučajevima mogu manifestirati trećom denticijom [Slika 2.25]. Prekobrojni zubi često se pojavljuju udruženi s rascjepom nepca. Ukoliko prekobrojni zubi po svojoj morfologiji odgovaraju postojećim zubima, tada se nazivaju dodatni ili suplementarni zubi, a ako po morfologiji ne odgovaraju postojećim zubima, nazivaju se rudimentarni zubi. Prekobrojni zubi smješteni distalno od kutnjaka nazivaju se distomolari, a oni smješteni bukalno ili lingvalno od kutnjaka nazivaju se paramolari [13].



**Slika 2.25 Hiperdoncija [25]**

### **2.7.3. Anomalije veličine zuba**

Anomalije veličine zuba dijele se na mikrodonciju i makrodonciju. Pod mikrodoncijom se podrazumijevaju zubi manji od normalnih. Postoje tri tipa mikrodoncije [23]:

1. prava generalizirana mikrodoncija,
2. relativna generalizirana mikrodoncija,
3. mikrodoncija pojedinačnih zubi.

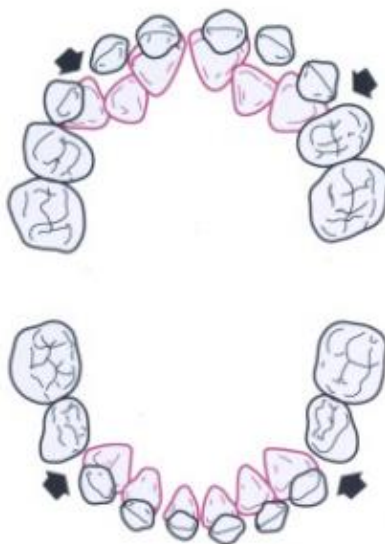
Pojam makrodoncija označava zube veće od normalnih. Radi se o rijetkoj dentalnoj anomaliji koja češće zahvaća zube generalizirano nego pojedinačno [23]:

### **2.7.4. Anomalije položaja zuba**

U anomalije položaja zuba spadaju [26]:

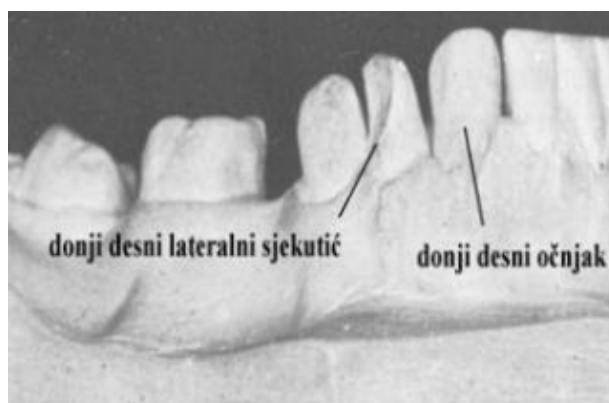
- ektopija,
- heterotopia dentis,
- transpozicija,
- inklinacija,
- rotacija,
- bodily pomicanje,
- suprapozicija,
- infrapozicija.

Ektopiju definiramo kao nicanje zuba van njegovog normalnog položaja [Slika 2.26]. Najčešća je ektopija gornjih prvih molara, očnjaka i drugih premolara, te donjih umnjaka, prvih molara i očnjaka. Ako je odstupanje u smještaju zuba mnogo veće od normalnog, onda takvo stanje nazivamo heterotopia dentis [26].



**Slika 2.26 Ektopija [26]**

Transpozicija se definira kao zamjena položaja dva susjedna zuba u zubnom nizu [Slika 2.27]. Može biti parcijalna ili totalna. Kod parcijalne transpozicije dolazi do nepotpune izmjene mjesta između dva zuba. Zubi koji mijenjaju mjesta su izvan luka ili nagnuti te im samo krune mijenjaju mjesta. Kod totalne transpozicije dolazi do potpune zamjene mjesta dvaju zuba. Parcijalne transpozicije se javljaju tri puta češće od totalnih, te ih je moguće ispraviti ortodontskom terapijom. Totalne transpozicije nije moguće ispraviti [26].



**Slika 2.27 Transpozicija [26]**

Inklinacija nastaje pomicanjem zuba oko bilo koje poprečne osi [Slika 2.28]. Može biti centrična (os između apikalne i središnje trećine kliničkog korijena) i ekscentrična (bilo koja druga poprečna os). Pravci inklinacije određuju se prema nagibu krune zuba, te mogu biti mezijalni, distalni, oralni i vestibularni. Uz 4 osnovna pravca postoje i međupravci koji se dijele na meziobukalni, distobukalni, mezioralni i distooralni [26].



**Slika 2.28** Inklinacija [27]

Rotacija se definiira kao okretanje zuba oko uzdužne osi [Slika 2.29]. Može biti centrična (oko vlastite centralne osi zuba) i ekscentrična (oko druge uzdužne osi paralelne s vlastitom centralnom osi zuba). Rotacije variraju od blagih meziolingvalnih ili distolingvalnih do rotacija za 180 stupnjeva, a uzrokovane su nedostatkom prostora, genetikom, hiperdoncijom ili nepravilnim ortodontskim liječenjem [26].



**Slika 2.29** Rotacija [26]

Bodily pomicanje nastaje djelovanjem sile kroz centar otpora zuba. To kao posljedicu ima pomicanje čitavog zuba na nepravilno mjesto. Prema pravcu to pomicanje može biti mezijalno, distalno, oralno i vestibularno [26].

Suprapozicija se opisuje previše izniklim zubima, čiji rubovi prelaze iznad okluzalne ravnine. Najčešći uzrok suprapozicije je gubitak zuba antagonista. Frontalni zubi koji se nalaze u suprapoziciji podložniji su traumatskim frakturama. Suprotno suprapoziciji definira se infrapozicija, kao vertikalna nepravilnost položaja zuba kod koje rub zuba nije dosegao okluzalnu ravninu [Slika 2.30]. Razlikuju se primarna (tijekom nicanja) i trajna infrapozicija. Najčešći uzroci infrapozicije su nedostatak prostora, hiperdoncija i nepravilna ortodontska terapija [26].



**Slika 2.30**      **Infrapozicija [26]**

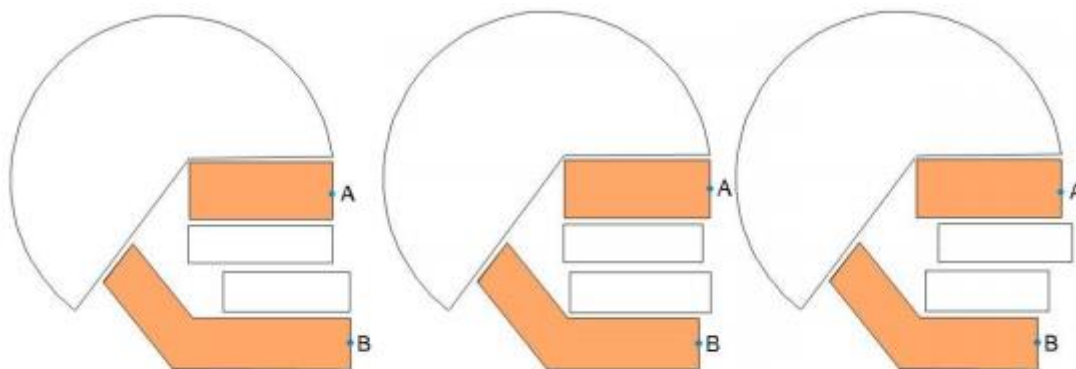
### 3. Ortodontska terapija

#### 3.1. Ortodoncija

Ortodoncija je specijalistička disciplina dentalne medicine koja se bavi proučavanjem i praćenjem rasta i razvoja dentofacijalnih struktura i čimbenika koji utječu na njihov rast, razvoj i položaj. Bavi se i dijagnostikom malokluzija, procjenom terapijskih potreba i prioriteta, sprečavanjem njihovog nastanka, zaustavljanjem progresije te njihovom terapijom. Ortodoncija se bavi i dizajnom naprava za korekciju malokluzija i proučava njihov biološki i biomehanički učinak. Cilj je ortodontske terapije postići individualni optimalni sklad okluzije, orofacijalne funkcije, estetike osmjeha i lica te psihosocijalne kvalitete života pacijenta [28].

Normalno stanje okluzije naziva se normokluzija, a devijaciju od normokluzije – malokluzija ili disgnatija. Malokluzija nije bolest nego niz prirodnih dentofacijalnih varijacija koje u većoj ili manjoj mjeri utječu na oralno zdravlje i kvalitetu života. Samo prisustvo malokluzije ne znači potrebu za ortodontskom terapijom. Malokluzije su oduvijek postojale, no evidentno je da su u porastu zbog promjena iniciranih promijenjenim načinom prehrane, pri čemu dolazi do smanjenja veličine čeljusti i broja zubi. Kako se zub kao razvijeno tkivo teže mijenja od čeljusti, evolucija brže smanjuje veličinu čeljusti nego broj zubi. Ortodontske anomalije [Slika 3.1] u svojoj podlozi mogu biti [28]:

- a) skeletne (zbog nesklada u rastu kostiju i lica),
- b) dentoalveolarne (nesklad u položaju zubi unutar zubnog luka i alveolarnog grebena),
- c) kombinirane (skeletni nesklad uz dentoalveolarnu malpoziciju zubi).



**Slika 3.1** Skeletna (lijevo), dentoalveolarna (sredina) i kombinirana (desno) anomalija [28]

### 3.2. Ortodontske naprave

Osnova je ortodontske terapije u kliničkoj primjeni biomehaničkih koncepata putem aplikacije sile na zube, meka tkiva i koštanu strukturu. Ortodontske naprave prema dizajnu se dijele na [28]:

- a) mobilne i fiksne,
- b) aktivne i pasivne,
- c) monomaksilarne i bimaksilarne,
- d) intraoralne i ekstraoralne,
- e) zubno, tkivno i koštano nošene.

Mobilne naprave nisu dugotrajno pričvršćene za zube, već ih pacijent unosi i vadi iz usta samostalno [Slika 3.2]. Fiksne naprave se fiksiraju za zube na duži period i nije ih moguće samostalno izvaditi i odvojiti od zubi [Slika 3.3]. Aktivne naprave imaju ugrađeni aktivni element (vijak, opruga ili žičani luk), dok pasivne naprave nemaju ugrađen aktivni element, već ih pokreće snaga aktiviranih mišića. Podjela na intraoralne i ekstraoralne bazirana je na sidrišnom elementu naprave [28].



Slika 3.2 Mobilna naprava – Schwarzova ploča [28]



Slika 3.3 Fiksna naprava za forsirano cijepanje nepca [28]



Tijekom ortodontske terapije se često promjeni nekoliko naprava različitog dizajna. Terapija se može provoditi i istovremenom primjenom mobilnih i fiksnih naprava. Fiksne naprave mogu producirati fine i kontrolirane pomake zubi – rotaciju, naginjanje i translaciju. Ocem fiksnih ortodontskih naprava smatra se Edward Angle koji je konstruirao edgewise napravu [28].

### 3.3. Fiksne ortodontske naprave

Izrada ortodontskih naprava u laboratoriju izvodi se lemljenjem i zavarivanjem. Meko lemljenje nije pogodno za izradu ortodontskih naprava pa se koristi postupak tvrdog lemljenja. Najčešće korišteni postupak zavarivanja je točkasto zavarivanje, dok u novije vrijeme na značaju dobivaju postupci laserskog zavarivanja i elektrolučnog zavarivanja netaljivom volframovom elektrodom u zaštitnoj atmosferi inertnog plina [28].

Najpoznatija i najčešće korištena fiksna ortodontska naprava je edgewise naprava. Zbog svoje smrti, Angle nije uspio razviti tehniku rada s edgewise napravom, već su to učinili njegovi sljedbenici Tweed i Merifield. Standardnom edgewise tehnikom se položaj zubi u zubnom luku i njihov vestibulooralni i meziodistalni nagib regulirao savijanjem žičanog luka koji se umeće u utore bravica. Značajne modifikacije naprave unio je Holdaway 1955. godine koji distalno naginje postranične bravice da bi bolje kontrolirao sidrište, te Lee koji u bravicu unosi vestibulooralni nagib na sjekutićima. Pravu revoluciju u konstrukciji napravio je Larry Andrews koji je 1965. godine predstavio rezultate svog istraživanja formulirane kao „Šest ključeva optimalne okluzije“, a početkom sedamdesetih godina dvadesetog stoljeća razvio koncept tehnike ravnog luka. Stoga, kada se govori o edgewise napravi, uvijek se radi distinkcija između standardnog edgewise-a i tehnike ravnog luka. Na slici 3.4 prikazana je edgewise bravica. Edgewise naprava može se postaviti lingvalno i labijalno [Slika 3.5], a terapija se provodi u tri osnovne faze [28]:

1. nivelacija,
2. radna faza,
3. finalizacija.



Slika 3.4 Edgewise bravica [28]

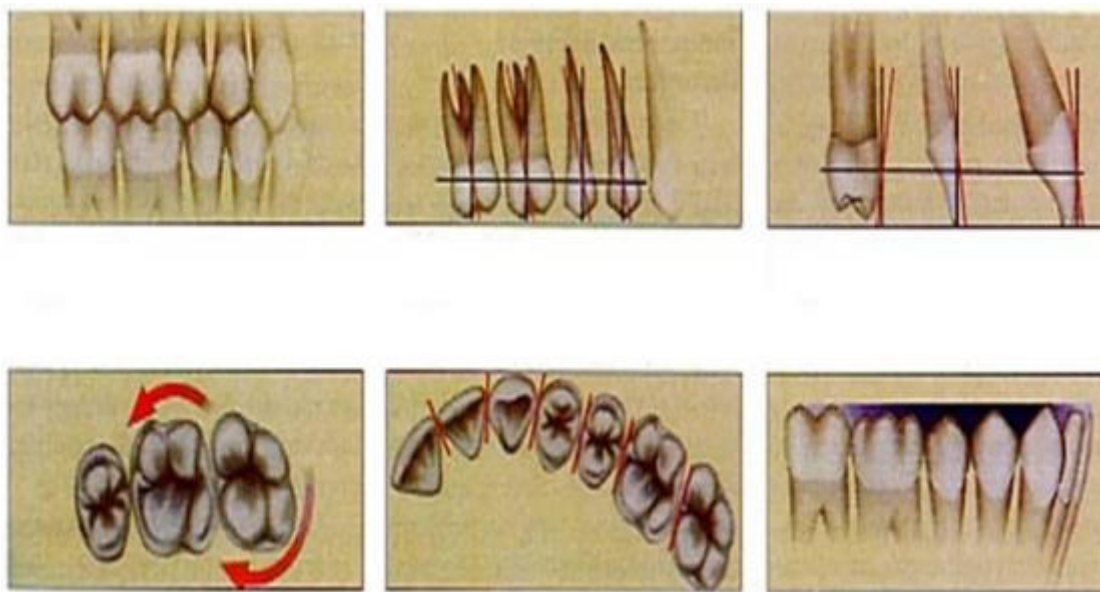


Slika 3.5 Labijalna (lijevo) i lingvalna (desno) tehnika

### 3.4. Ključevi optimalne okluzije

Američki ortodont Larry Andrews je u razdoblju od 1960. do 1964. prikupio dokumentaciju 120 ortodontskih netretiranih osoba s optimalnom okluzijom. Proučavajući karakteristike tih uzoraka formulirao je šest uvjeta (ključeva) [Slika 3.6] koji bi trebali biti zadovoljeni da bi se postiglo stanje optimalne okluzije [28]:

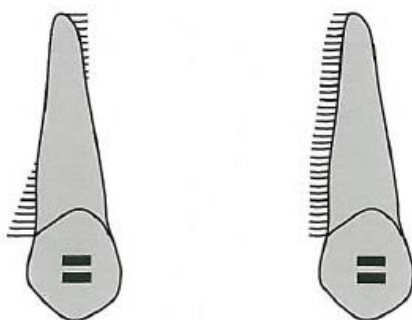
1. odnos molara,
2. meziodistalni nagib krune zuba
3. vestibulooralni nagib korijena
4. rotacije
5. kontaktne točke
6. Speeova krivulja



Slika 3.6 Šest ključeva okluzije [28]

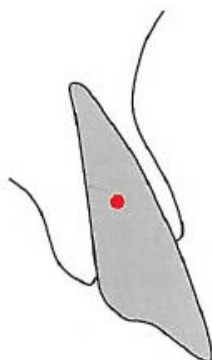
## 4. Biomehanika zuba

Pomicanje zubi za vrijeme ortodontske terapije uvjetovano je primjenom sile na zube i periodontalna tkiva. Silu primjenjuje ortodont pomoću ortodontskog aparata, a primjenom sile uzrokuje se pomicanje zuba koje se može opisati pomoću tri rotacije i tri translacije. Sila je vektor koji ima svoj smjer, orijentaciju, veličinu i točku djelovanja, a u ortodonciji su također bitna svojstva raspodjele i trajanja sile. Ovisno o tome želi li se postići rotacija ili translacija zuba, primjenjuje se linearna ili jednolika raspodjela sile na zub [Slika 4.1] [29]:



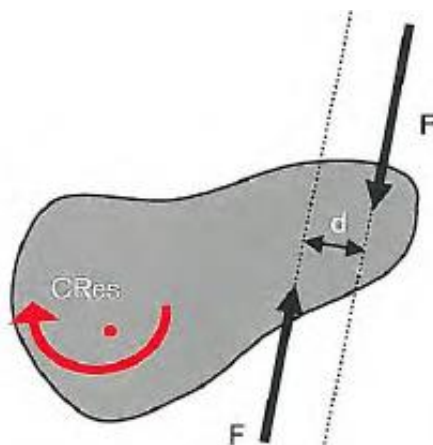
Slika 4.1 Raspodjela sile [29]

Za opisivanje ortodontskih pomaka potrebno je definirati centar otpora i centar rotacije zuba. Točka u kojoj se sijeku pravac djelovanja rezultantne sile na zub i uzdužna os zuba naziva se centar otpora [Slika 4.2]. U teoriji, centar otpora se nalazi u korijenu zuba, što većinom nije slučaj. Istraživanja pokazuju da se centar otpora jednokorijenskog zuba nalazi na uzdužnoj osi zuba, 25 % do 35 % udaljen od alveolarnog grebena. Njegov položaj je promjenjiv i specifičan za svaki pojedini zub, a ovisi o nizu faktora poput broja korijena, položaju alveolarnog grebena te duljini i morfologiji korijena [29].



Slika 4.2 Centar otpora [29]

Centar rotacije je točka oko koje zub rotira. Njen položaj ovisi o načinu primjene sile, tj. o omjeru moment-sila ili  $M/F$  omjeru. Rotacija zuba uzrokovana je djelovanjem sile na određenoj udaljenosti od centra otpora ili spregom sila. Kada se na zub djeluje spregom sila centar rotacije se poklapa s centrom otpora zuba [Slika 4.3] [29].



Slika 4.3 Centar rotacije pri djelovanju sprega sila [29]

#### 4.1. Omjer moment-sila

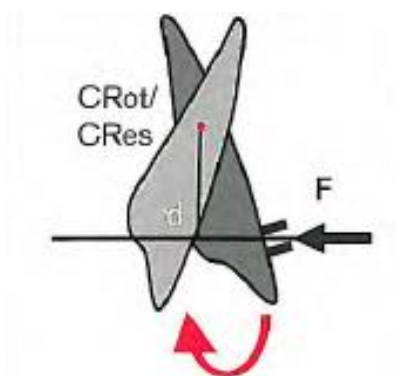
Da bi se pravilno kontroliralo pomicanje zuba važno je razumjeti značaj  $M/F$  omjera.  $M/F$  omjerom definirana je vrsta pomaka koju zub izvodi ili njegov centar rotacije. Prema formuli:

$$\frac{M}{F} = \frac{F \cdot d}{F} = d, \quad (4.1)$$

$M/F$  omjer jednak je udaljenosti  $d$ . Kako se udaljenost sile koja djeluje na zub od centra otpora povećava, tako se povećava i  $M/F$  omjer. Vrijednosti  $M/F$  omjera za pojedine pomake zuba biti će navedene kasnije u tekstu [29].

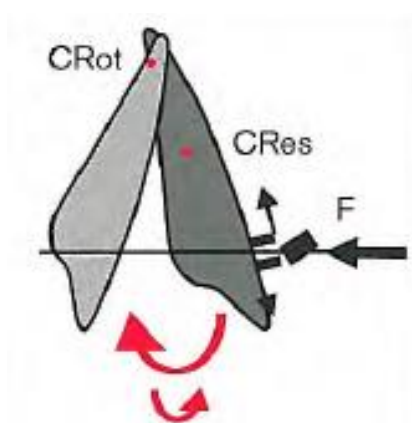
## 4.2. Pomicanje zuba

U praksi, najjednostavniji pomak zuba je naginjanje. Primjenom sile na bravicu zub se nagine oko svojeg centra rotacije, a naginjanje može biti kontrolirano i nekontrolirano. Nekontrolirano naginjanje izvodi se primjenom sile na bravicu s okruglom žicom, čime se proizvodi moment naginjanja [Slika 4.4]. Zub se nagine oko centra rotacije koji se nalazi blizu centra otpora. Kod nekontroliranog naginjanja  $M/F = 0:1 - 1:5$  [29].



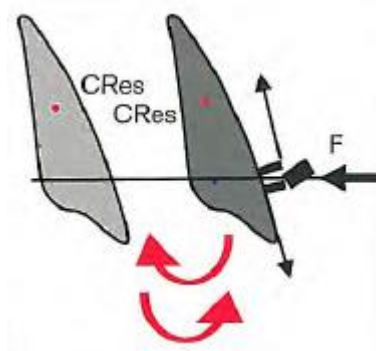
Slika 4.4 Nekontrolirano naginjanje [29]

Upotrebom žice pravokutnog poprečnog presjeka moguće je primjenom sile, uz moment naginjanja, uzrokovati i moment na žici, suprotan momentu naginjanja. To uzrokuje pomak centra rotacije te distalno naginjanje zuba, što se naziva kontrolirano naginjanje [Slika 4.5]. Kod kontroliranog naginjanja  $M/F = 6:1 - 9:1$  [29].



Slika 4.5 Kontrolirano naginjanje [29]

Translacija zuba je pomak svih točaka na zubu za istu udaljenost, bez promjene kuta nagiba zuba [Slika 4.6]. Izvodi se tako da se vrijednost momenta nagnjanja izjednači s vrijednosti momenta na žici, čime izostaje rotacija, a  $M/F = 10:1 - 12:1$ . Rotacija zuba je zakret zuba u odnosu na neku fiksnu os. Moguće je izvesti i nagnjanje korijena zuba, gdje je  $M/F = 14:1$ , a izvodi se tako da je vrijednost momenta na žici veća od vrijednosti momenta nagnjanja [29].



**Slika 4.6** Translacija [29]

## 5. Rubni uvjeti kod opisa pomaka zuba

Primjenom zakona mehanike i upotrebom ortodontskih naprava, ortodonti nastoje izvesti kontrolirane i precizne pomake zubi, kako bi postigli pravilan i željen raspored zubi u zubnom luku. Pošto je zub i njegova okolina živo tkivo čija svojstva su promjenjiva i individualno različita od osobe do osobe, kako bi se izveo pravilan pomak, potrebno je poznavati ograničenja koja je moguće primijeniti, tj. rubne uvjete. Te rubne uvjete je moguće podijeliti na rubne uvjete pomaka i rubne uvjete sila. Rubni uvjet pomaka biti će primijenjen prilikom rotacije i naginjanja zuba, dok će prilikom translacije biti primijenjen rubni uvjet sila.

Prilikom naginjanja zuba, sve točke na zubu mijenjaju svoj položaj osim centra rotacije [29]. Zbog toga su rubni uvjeti pri naginjaju:

$$\begin{aligned}x_{cr}^{prije} &= x_{cr}^{poslije} , \\y_{cr}^{prije} &= y_{cr}^{poslije} , \\z_{cr}^{prije} &= z_{cr}^{poslije} .\end{aligned}\tag{5.1}$$

Prilikom translacije sve se točke na zubu pomiču za isti iznos, a da bi se to postiglo ne smije doći do rotacije zuba. To se postiže izjednačavanjem momenta naginjanja  $M_1$  i momenta na žici  $M_2$  [29]. Iz toga slijedi rubni uvjet prilikom translacije zuba:

$$M_1 = M_2 .\tag{5.2}$$

Ako na zub djeluje spreg sila, on će rotirati oko svog centra otpora, bez obzira na mjesto djelovanja sprega sila [29]. Ukoliko se rotacija događa u nekoj ravnini, zub rotira oko osi koja prolazi centrom otpora i okomita je na tu ravninu. Iz toga slijedi rubni uvjet prilikom rotacije zuba spregom sila:

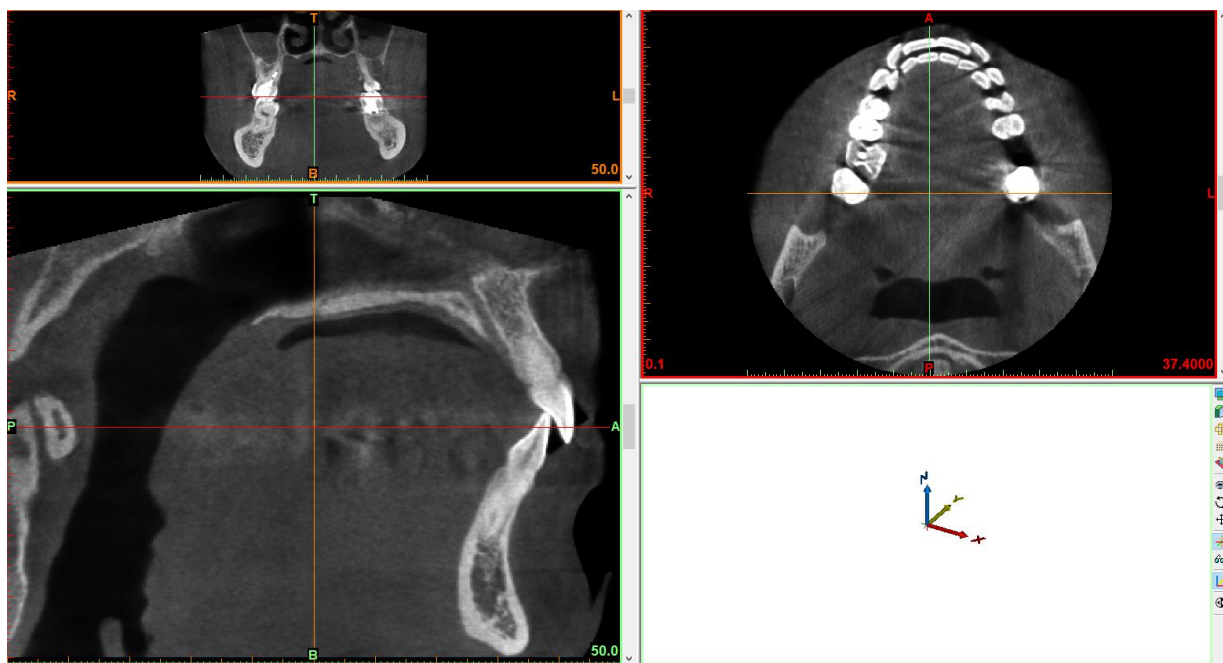
$$\begin{aligned}x_{co}^{prije} &= x_{co}^{poslije} , \\y_{co}^{prije} &= y_{co}^{poslije} , \\z_{co}^{prije} &= z_{co}^{poslije} .\end{aligned}\tag{5.3}$$



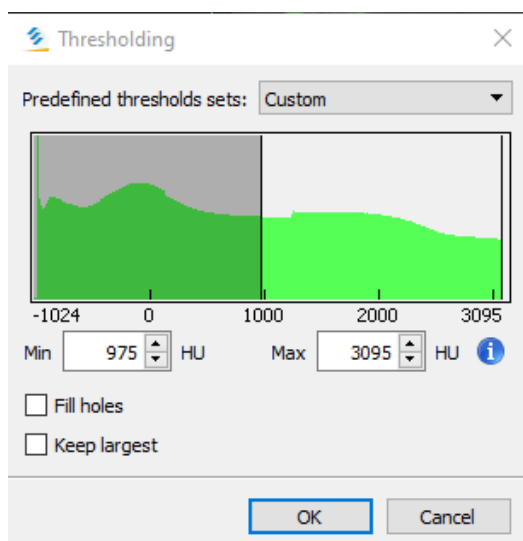
## 6. Pomaci izrađenog modela i primjena rubnih uvjeta

Na temelju dobivenih CBCT snimki pacijenta, u programu *Mimics Innovation Suite Research Edition 17.0.0.435*, *Materialise, Leuven, Belgium*, izrađeni su modeli lijeve gornje polovine čeljusti s pripadajućim jednokorijenskim zubima, prije i nakon ortodontske terapije.

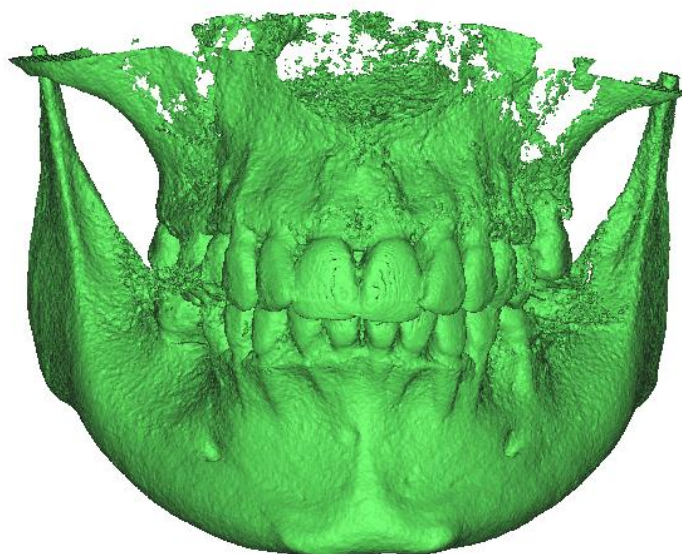
Nakon učitavanja CBCT snimki u programu se te snimke prikazuju u tri ravnine [Slika 6.1]. Opcijom *Tresholding* [Slika 6.2] potrebno je izraditi 3D masku [Slika 6.3] koja se kasnije uređuje. U opciji *Tresholding* odabire se područje izrade maske u HU (Hounsfieldova jedinica), a u izradi modela uzeto područje je 975-3095 HU.



Slika 6.1 CBCT snimke

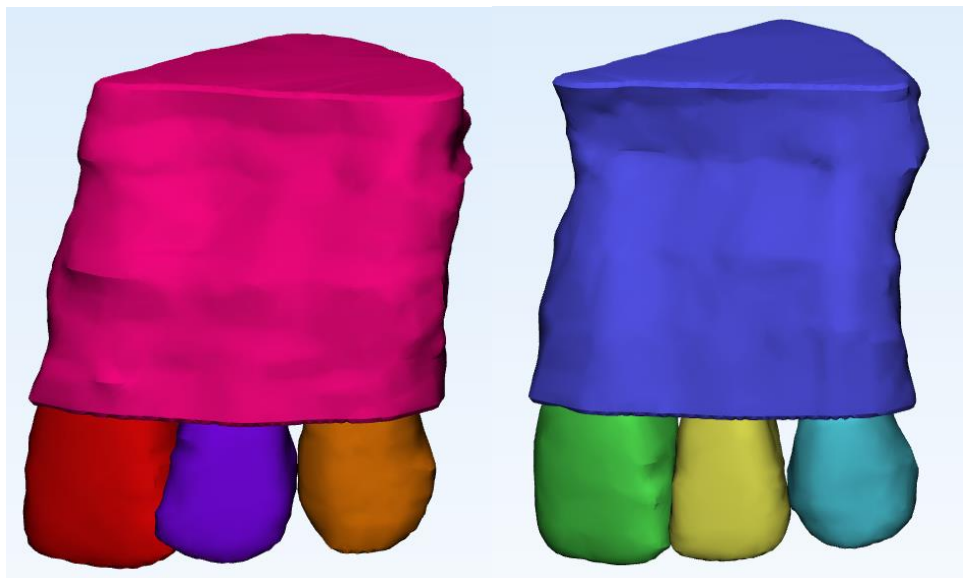


Slika 6.2 Izrada maske



Slika 6.3 3D prikaz maske

Nakon uređivanja više različitih maski dobivaju se traženi modeli zubi i čeljusti. Sljedeći korak je prikazati međusobni odnos modela istog zuba prije i nakon terapije i odrediti koji su pomaci zuba morali biti primijenjeni da bi se postigao ciljani izgled nakon terapije. Na slici 6.4 prikazani su modeli prije i nakon terapije.



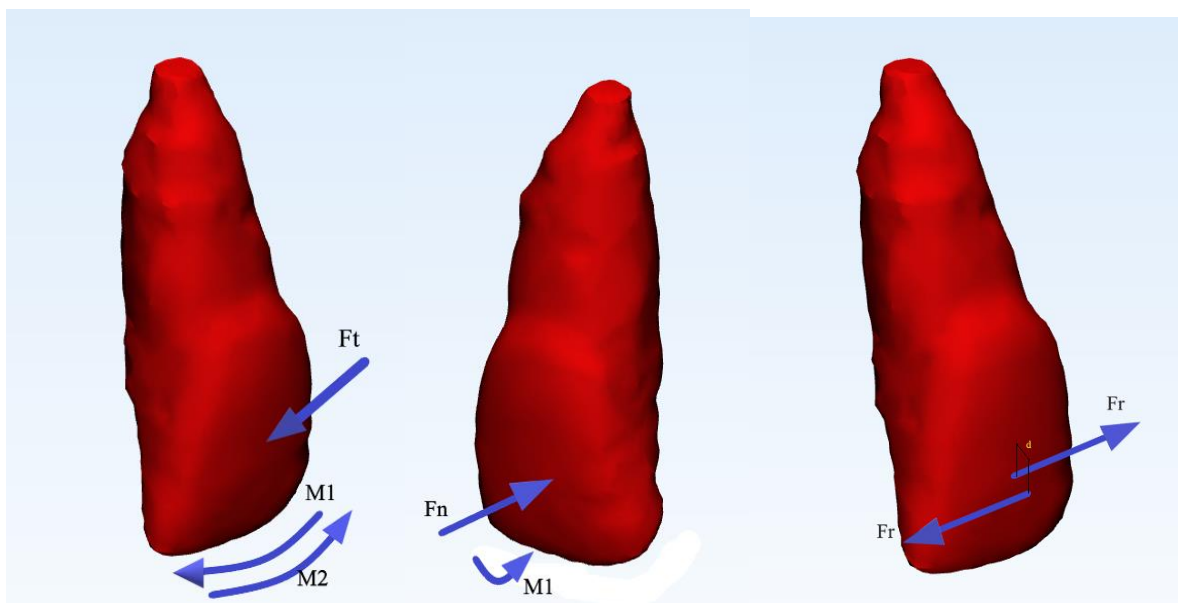
**Slika 6.4** Model zubi i čeljusti prije (lijevo) i nakon (desno) terapije

## 6.1. Prvi sjekutić

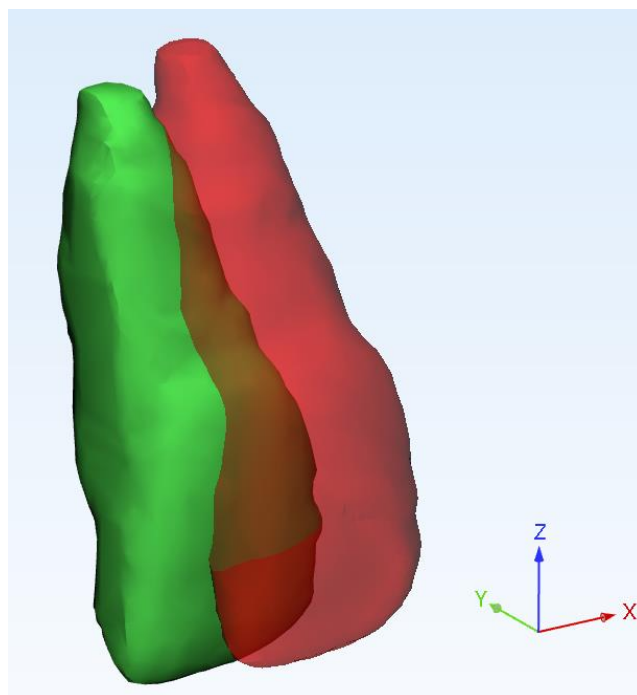
Pomak prvog sjekutića može se podijeliti na tri faze:

- translaciju,
- naginjanje,
- rotaciju.

Zub se prvo translirao djelovanjem sile  $F_t$  za -2,81 mm u smjeru osi  $x$ , 0,4 mm u smjeru osi  $y$  i -1,09 mm u smjeru osi  $z$ , tj. za ukupno 3,04 mm u prostoru. Za vrijeme translacije, sila  $F_t$  morala je biti takva da zadovolji rubni uvjet (5.2), tj. da uzrokuje moment naginjanja  $M_1$  i moment na žici  $M_2$  jednakog iznosa. Nakon translacije uslijedilo je kontrolirano naginjanje, uzrokovano silom  $F_n$ , oko vrha korijena zuba u ravninama  $yz$  i  $zx$  za  $\alpha_{yz} = 5,20^\circ$  i  $\alpha_{zx} = 1,58^\circ$  ili ukupno za  $\alpha_n = 5,44^\circ$ . Prilikom naginjanja morao je biti zadovoljen rubni uvjet (5.1) u vrhu korijena, tj. nije smio postojati pomak vrha korijena. Zadnji pomak zuba bila je rotacija u  $xy$  ravnini, uzrokovana spregom sila  $F_r$ , za  $\alpha_{xy} = -5,20^\circ$  oko centra otpora zuba, gdje je morao biti zadovoljen rubni uvjet (5.3) za sve točke zuba osi koja prolazi kroz centar otpora i paralelna je s osi  $z$ . Djelovanje sila na zub prikazano je na slici 6.5., a položaj zuba prije i nakon terapije na slici 6.6. Model zuba prije terapije je crvene boje, a nakon terapije zelene boje te je također prikazan i pripadni globalni koordinatni sustav  $xyz$ .



**Slika 6.5** Djelovanje sila pri translaciji (lijevo), naginjanju (sredina) i rotaciji (desno) prvog sjekutića



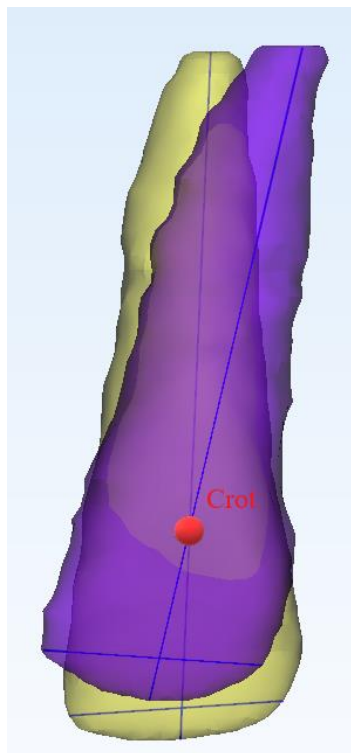
**Slika 6.6 Model prvog sjekutića prije i nakon terapije**

## 6.2. Drugi sjekutić

Pomak drugog sjekutića također se odvijao u tri faze, ali redosljedom različitim od prvog sjekutića:

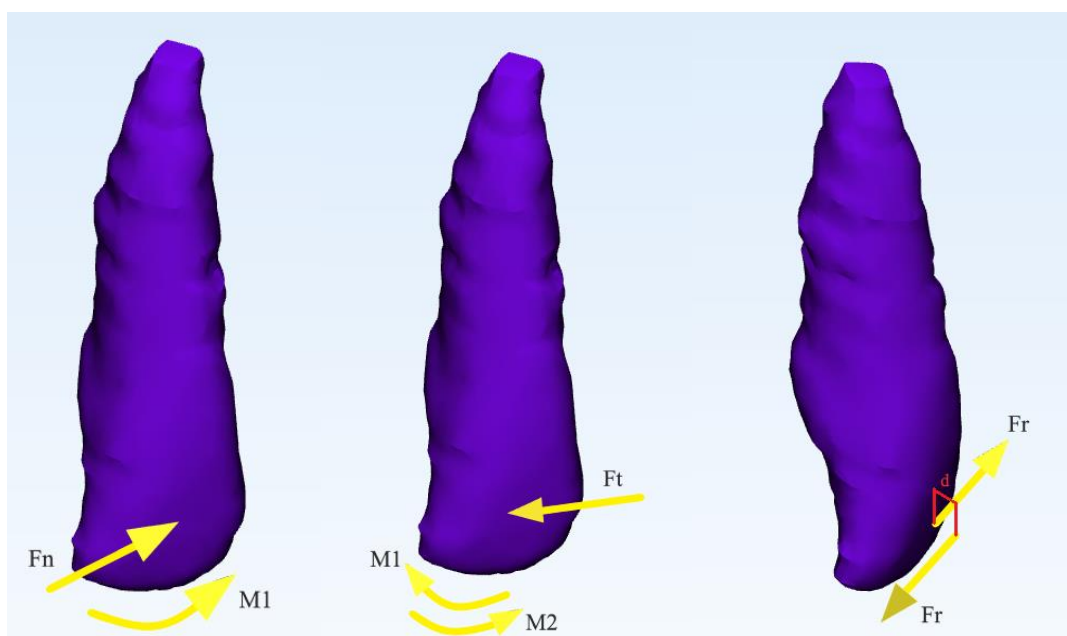
- a) naginjanje,
- b) translacija,
- c) rotacija.

Zub se prvo nagnjao, zbog momenta uzrokovanog silom  $F_n$ , za  $\alpha_{yz} = 11,88^\circ$  u  $yz$  ravnini te za  $\alpha_{zx} = 1,63^\circ$  u  $zx$  ravnini, ili za ukupno  $\alpha_n = 11,99^\circ$ . Za vrijeme naginjanja morao je biti zadovoljen rubni uvjet (5.1) u centru rotacije, tj. nije smio postojati pomak centra rotacije. Položaj centra rotacije prikazan je na slici 6.7.

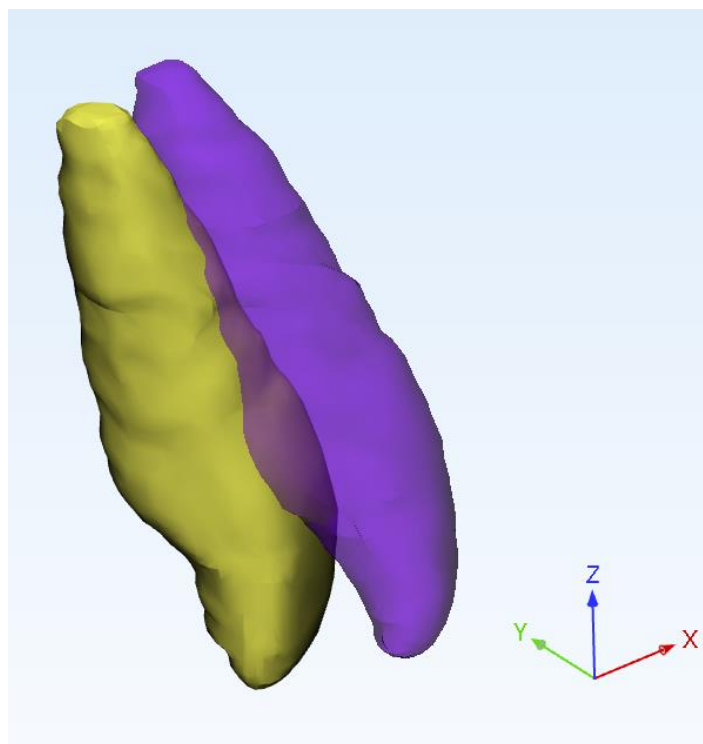


Slika 6.7 Centar rotacije pri naginjanju drugog sjekutića

Nakon naginjanja uslijedila je translacija zuba za  $-4,13$  mm u smjeru osi  $x$ ,  $3,82$  mm u smjeru osi  $y$  i  $-0,84$  mm u smjeru osi  $z$ , tj. za ukupno  $5,69$  mm u prostoru. Duljina translacije mjerena je od centra rotacije na modelu zuba prije i poslije terapije jer je to jedina točka čiji se položaj nije promijenio nakon naginjanja zuba. Za vrijeme translacije morao je biti zadovoljen rubni uvjet (5.2). Sila  $F_t$  morala je biti takva da moment naginjanja i moment na žici imaju jednaku vrijednost, kako bi se poništile rotacije i osigurala samo translacija. Nakon translacije zub se rotirao u  $xy$  ravnini za  $\alpha_{xy} = -5,93^\circ$  spregom sila  $F_r$  oko osi koja prolazi centrom otpora i paralelna je sa osi  $z$ , a morao je biti zadovoljen rubni uvjet (5.3) za sve točke na toj osi. Na slici 6.8 prikazano je djelovanje sila na zub, a na slici 6.9 položaj zuba prije i nakon terapije. Model zuba prije terapije je ljubičaste, a nakon terapije žute boje.



**Slika 6.8** Djelovanje sila pri naginjanju (lijevo), translaciji (sredina) i rotaciji (desno) drugog sjekutića



**Slika 6.9** Drugi sjekutić prije i nakon terapije

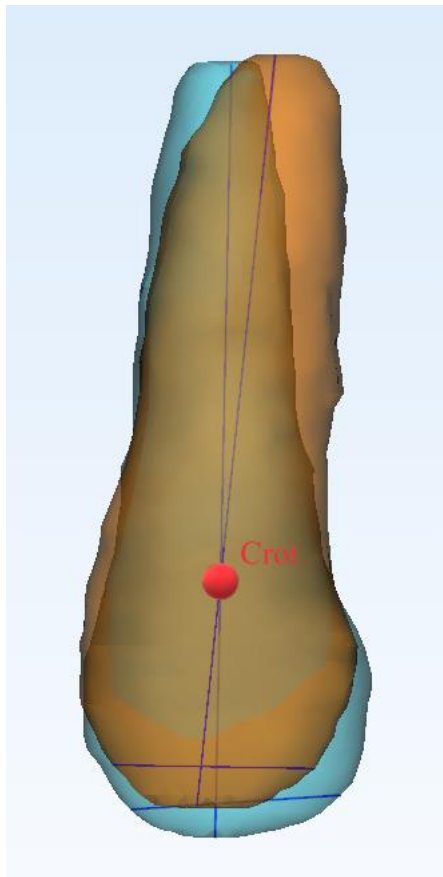


### 6.3. Očnjak

Pomak očnjaka odvajao se u tri faze, istim redoslijedom kao i kod drugog sjekutića:

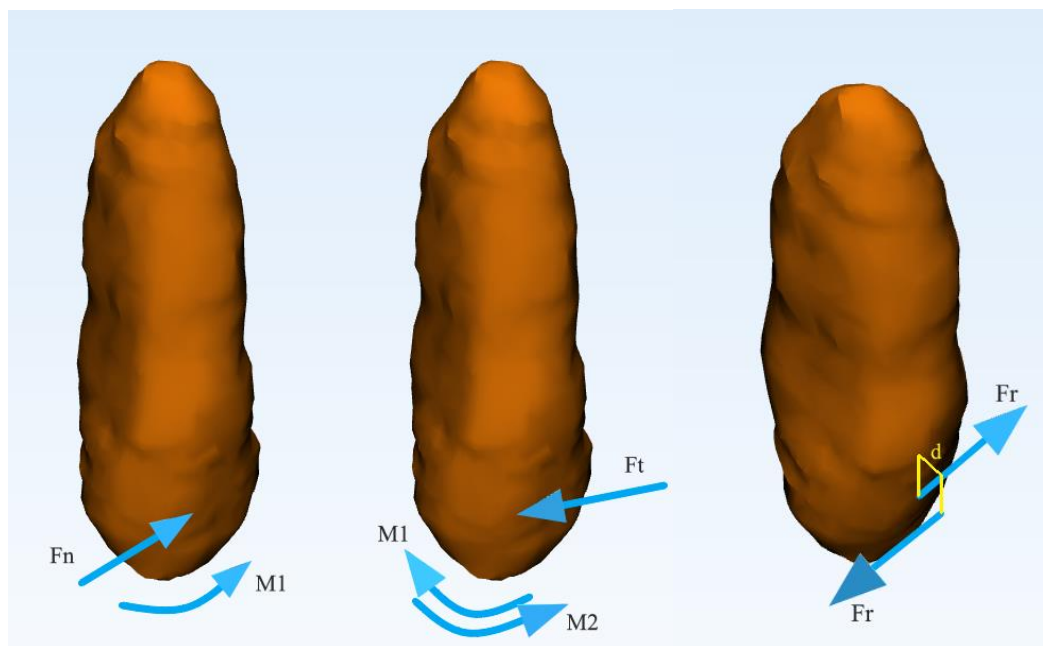
- a) naginjanje,
- b) translacija,
- c) rotacija.

Zub se prvo nagnjao za  $\alpha_{yz} = 7,79^\circ$  u  $yz$  ravnini i za  $\alpha_{zx} = 1,33^\circ$  u  $xz$  ravnini, tj. za ukupno  $\alpha_n = 7,90^\circ$ , a naginjanje je uzrokovala sila  $F_n$  stvarajući moment naginjanja  $M_1$ . Zub se rotirao oko centra rotacije prikazanog na slici 6.10, a pri tome je morao biti zadovoljen rubni uvjet (5.1), tj. nije smjelo biti pomaka centra rotacije.

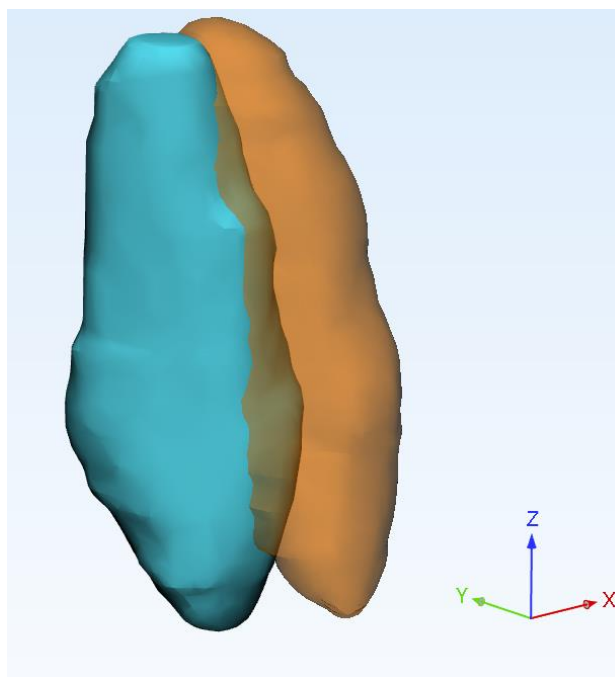


Slika 6.10 Centar rotacije pri naginjanju očnjaka

Nakon naginjanja uslijedila je translacija. Zub se translirao za  $-2,68$  mm u smjeru osi  $x$ ,  $2,38$  mm u smjeru osi  $y$  i  $-1,47$  mm u smjeru osi  $z$ , tj. ukupno za  $3,88$  mm u prostoru. Duljina translacije mjerena je od centra rotacije na modelu prije i poslije translacije, jednako kao i kod drugog sjekutića, jer je to jedina točka čiji se položaj nije promijenio nakon naginjanja zuba. Prilikom translacije morao je biti zadovoljen rubni uvjet (5.2), tj. sila  $F_t$  morala je uzrokovati moment naginjanja  $M_1$  i moment na žici  $M_2$  jednake vrijednosti. Nakon translacije zub se rotirao u  $xy$  ravnini, spregom sila  $F_r$ , za  $\alpha_{xy} = -2,83^\circ$  oko osi koja prolazi kroz centar otpora zuba i paralelna je s osi  $z$ . Pri rotaciji morao je biti zadovoljen rubni uvjet (5.3) za sve točke na toj osi, tj. nije smjelo biti pomaka niti jedne točke na toj osi. Na slici 6.11 prikazano je djelovanje sila na očnjak, a na slici 6.12 položaj očnjaka prije i nakon terapije. Model očnjaka prije terapije je narančaste, a nakon terapije plave boje.



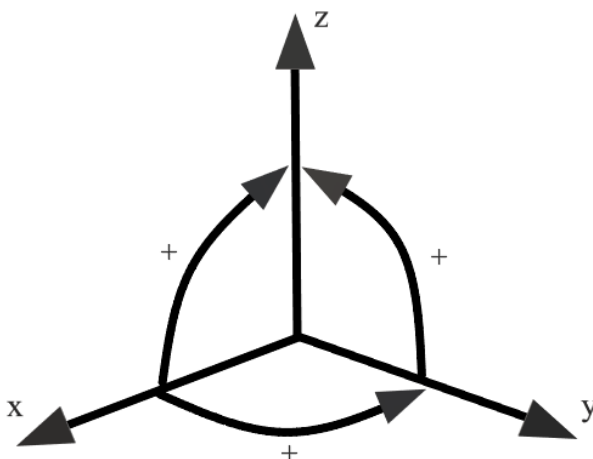
Slika 6.11 Djelovanje sila pri naginjanju (lijevo), translaciji (sredina) i rotaciji (desno) očnjaka



**Slika 6.12 Očnjak prije i poslije terapije**

#### 6.4. Prikaz rezultata

U tablici 2 prikazani su kutovi zakreta svakog zuba u ravninama  $xy$ ,  $yz$  i  $zx$ . Predznak kutova određen je prema slici 6.13.



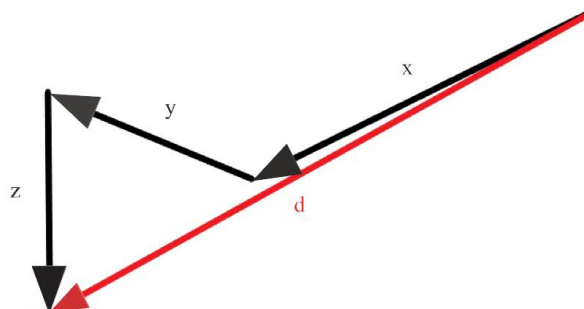
Slika 6.13 Pozitivni smjerovi za određivanje predznaka kutova

Tablica 2. Kutovi zakreta

		Kutovi zakreta	
Prvi sjekutić	$\alpha_{xy} = -5,20^\circ$	$\alpha_{yz} = 5,20^\circ$	$\alpha_{zx} = 1,58^\circ$
		$\alpha_n = 5,44^\circ$	
Drugi sjekutić	$\alpha_{xy} = -5,93^\circ$	$\alpha_{yz} = 11,88^\circ$	$\alpha_{zx} = 1,63^\circ$
		$\alpha_n = 11,99^\circ$	
Očnjak	$\alpha_{xy} = -2,83^\circ$	$\alpha_{yz} = 7,79^\circ$	$\alpha_{zx} = 1,33^\circ$
		$\alpha_n = 7,90^\circ$	

Pomak zuba [Slika 6.14] može se podijeliti na pomake u smjeru osi  $x$ ,  $y$  i  $z$ . Ukupni pomak zuba je prostorni vektor čija se vrijednost računa prema:

$$|d| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}. \quad (6.1)$$



Slika 6.14 Ukupni pomak  $d$

Svi pomaci su prikazani u tablici 3.

Tablica 3. Pomaci zuba

	Pomak	
<b>Prvi sjekutić</b>	$x_1 = -2,81 \text{ mm}$	$d_1 = 3,04 \text{ mm}$
	$y_1 = 0,4 \text{ mm}$	
	$z_1 = -1,09 \text{ mm}$	
<b>Drugi sjekutić</b>	$x_2 = -4,13 \text{ mm}$	$d_2 = 5,69 \text{ mm}$
	$y_2 = 3,82 \text{ mm}$	
	$z_2 = -0,84 \text{ mm}$	
<b>Očnjak</b>	$x_3 = -2,68 \text{ mm}$	$d_3 = 3,88 \text{ mm}$
	$y_3 = 2,38 \text{ mm}$	
	$z_3 = -1,47 \text{ mm}$	

## 7. ZAKLJUČAK

Iz proučavanja pomaka izrađenih modela vidljivo je da je ukupni pomak prvog sjekutića najmanji, a pomak drugog sjekutića najveći, što se poklapa s CBCT snimkama. Iz dobivenih rezultata zaključuje se kako je ortodontski pomak niz složenih translacija i rotacija koje se ne mogu sasvim precizno odrediti zbog individualnosti svakog pojedinog zuba. Zbog toga je u kreiranju ortodontskih pomaka jako važno iskustvo i umijeće ortodonta. Prilikom određivanja rubnih uvjeta potrebno je uzeti u obzir da se zub kao biološko tkivo bitno razlikuje od inženjerske konstrukcije. Zbog toga rubni uvjeti prilikom pomaka zuba nisu odmah jasno vidljivi, nego se određuju iz zakona biomehanike. Dobivenim rezultatima za pomake zuba treba pristupiti kritički. Postoji nekoliko faktora koji utječu na točnost dobivenih rezultata: kvaliteta CBCT snimki, ograničenja programa za izradu modela i mjerenje pomaka te vještina onoga tko je izrađivao modele i vršio mjerenja. Na samom kraju, može se zaključiti da će u budućnosti računalni programi poput Mimics-a biti uvelike korišteni u ortodonciji i medicini općenito, no njihova primjena će ovisiti o razvoju preciznosti programa, jednostavnosti korištenja te spremnosti pacijenata da svoje zdravlje povjere iskustvu programa umjesto iskustvu ortodonta.

**LITERATURA**

- [1] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Zub>, 17.02.2020.
- [2] <http://www.businesshistory.ca/tag/teeth-evolution/>, 17.02.2020
- [3] <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=14591>, 30.12.2019.
- [4] <https://www.krenizdravo.rtl.hr/zdravlje/zubi/mlijecni-zubi-nicanje-ispadanje-i-savjeti-za-roditelje>, 17.02.2020.
- [5] <https://www.index.hr/mame/clanak/Sve-o-djecjoj-stomatologiji-sto-vas-je-ikad-zanimalo!/843147.aspx>, 17.02.2020.
- [6] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=63421>, 17.02.2020.
- [7] <https://sites.google.com/site/probavnisustav4145/usna-supljina>, 17.02.2020.
- [8] [http://www.sfzg.unizg.hr/\\_download/repository/2011\\_morfologija\\_1\\_vjezba\\_11\\_13\\_za\\_PDF.pdf](http://www.sfzg.unizg.hr/_download/repository/2011_morfologija_1_vjezba_11_13_za_PDF.pdf), 17.02.2020
- [9] Blašković, M.: Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2016.
- [10] <http://dental4u.ba/aktuelnosti-iz-stomatologije/clanci/povrsine-strane-zuba/>, 17.02.2020.
- [11] [http://www.sfzg.unizg.hr/\\_download/repository/2012\\_morfologija\\_vjezba\\_8\\_ljetni\\_CA\\_KLINA.pdf](http://www.sfzg.unizg.hr/_download/repository/2012_morfologija_vjezba_8_ljetni_CA_KLINA.pdf), 17.02.2020.
- [12] <https://www.pronamel.us/tooth-enamel/why-protect-your-tooth-enamel/>, 17.02.2020.
- [13] [http://www.sfzg.unizg.hr/\\_download/repository/2012\\_morfologija\\_vjezba\\_9\\_ljetni\\_DE\\_NTIN.pdf](http://www.sfzg.unizg.hr/_download/repository/2012_morfologija_vjezba_9_ljetni_DE_NTIN.pdf), 17.02.2020.
- [14] <https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/dentin-carries-dental-care-tooth-damage-hole-vector-24215695>, 17.02.2020.
- [15] [http://www.sfzg.unizg.hr/\\_download/repository/2012\\_morfologija\\_vjezba\\_11\\_ljetni\\_P\\_ARODONT.pdf](http://www.sfzg.unizg.hr/_download/repository/2012_morfologija_vjezba_11_ljetni_P_ARODONT.pdf), 17.02.2020.

- [16] <https://estheticdentalcenter.hr/endodoncija-24>, 17.02.2020.
- [17] [https://en.wikipedia.org/wiki/Human\\_tooth](https://en.wikipedia.org/wiki/Human_tooth), 17.02.2020.
- [18] Kamenar, J.: Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.
- [19] <https://en.wikipedia.org/wiki/Gums>, 17.02.2020.
- [20] <https://www.corsodyl.co.uk/advice/what-causes-gum-inflammation/>, 17.02.2020.
- [21] [http://www.sfzg.unizg.hr/\\_download/repository/2011\\_morfologija\\_2\\_vjezba\\_14\\_15.pdf](http://www.sfzg.unizg.hr/_download/repository/2011_morfologija_2_vjezba_14_15.pdf), 17.02.2020.
- [22] [http://www.sfzg.unizg.hr/\\_download/repository/2011\\_morfologija\\_3\\_vjezba\\_16\\_12.pdf](http://www.sfzg.unizg.hr/_download/repository/2011_morfologija_3_vjezba_16_12.pdf), 17.02.2020.
- [23] [https://repositorij.sfzg.unizg.hr/islandora/object/sfzg%3A497/datastream/PDF/view\\_](https://repositorij.sfzg.unizg.hr/islandora/object/sfzg%3A497/datastream/PDF/view_), 17.02.2020.
- [24] <https://www.slaj-anic.com/2019/07/02/problemi-pri-nicanju-mlijecnih-zuba/>, 17.02.2020.
- [25] <https://www.maminsvijet.hr/zdravlje/zdravlje-zubi/mlijecni-zubi-rast-ispadanje-problemi-kod-nicanja-trajnih-zuba/>, 17.02.2020.
- [26] [http://www.sfzg.unizg.hr/\\_download/repository/2012\\_morfologija\\_vjezba\\_4\\_ljetni\\_VA\\_RIJACIJE\\_ASU.pdf](http://www.sfzg.unizg.hr/_download/repository/2012_morfologija_vjezba_4_ljetni_VA_RIJACIJE_ASU.pdf), 17.02.2020.
- [27] <https://picpanzee.com/dentalnaordinacijamk>, 17.02.2020.
- [28] Špalj, S. i suautori: Ortodontski priručnik, Medicinski fakultet sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 2012.
- [29] Nanda, R.S. i Tosun, Y.S.: Biomechanics in Orthodontics: Principles and Practice, Quintessence Publishing Co, Inc, 2010.