

UNIVERZITET U BEOGRADU

STOMATOLOŠKI FAKULTET

Nemanja V. Majstorović

**PRAĆENJE NIVELACIJE ZUBA POMOĆU 3D  
DIGITALNIH MODELA**

Doktorska disertacija

Beograd, decembar 2017

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF DENTISTRY

Nemanja V. Majstorović

**MONITORING AND EVALUATION  
NIVELATION OF TOOTH ON 3D DIGITAL  
MODELS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, December 2017

**Mentor:**

Prof. dr Branislav Glišić, Stomatološki fakultet, Klinika za ortopediju vilica, Univerzitet u Beogradu

**Članovi komisije:**

1. Prof. dr Predrag Nikolić, Stomatoški fakultet, Klinika za ortopediju vilica, Univerzitet u Beogradu
2. Prof. dr Ivana Šćepan, Stomatoški fakultet, Klinika za ortopediju vilica, Univerzitet u Beogradu
3. V. prof. dr Igor Budak, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu

Datum odbrane:

## IZJAVA ZAHVALNOSTI

Želim prvo da naglasim da je veliki broj pojedinaca i organizacija, direktno ili indirektno učestvovalo u ovim interdisciplinarnim istraživanjima, na čemu im se, svima njima, posebno zahvaljujem.

Ipak, treba izdvojiti sledeće pojedince, odnosno organizacije koje su posebno doprinele uspešnom završetku ove teze.

Moj mentor, prof. B. Glišić je najzaslužniji od svih. On me je učio, savetovao, usmeravao, podsticao, ponekad "grdio", ali pozitivno, sa razlogom. Sve je to dovelo do toga, da smo zajedno uspešno završili ovu tezu. Hvala dragom profesoru na svemu.

Zahvaljujem se i članovima Komisije za odbranu ove teze, na korisnim sugestijama, u pripremi završnog teksta ovog rada.

Kolege sa Klinike za ortopediju vilica Stomatološkog fakulteta su takođe posebno zaslužni, pomogli su mi u izboru pacijenata i uzimanju otisaka za istraživanja. Hvala im na tome.

Ovo istraživanje je bilo multidisciplinarno u svojoj osnovi, pa se posebno zahvaljujem, J. Mačužić (Mašinski fakultet, Beograd), dr S. Živković (VTI, Beograd), N. Drvar (Topomatika, Zagreb), prof. dr D. Kramar i dr L. Čerče (Fakultet za strojništvo, Ljubljana). Hvala im na strpljenju i razumevanju pojmova i činjenica iz oblasti stomatologije i ortodoncije, a pri zajedničkom modeliranju na CAD sistemima. Mnogo su mi pomogli da kao lekar stomatolog savladam CAD sisteme, koliko mi je bilo potrebno za ova istraživanja.

Posebno se zahvaljujem Miri Velimirović i Milanu Rančiću, koji su mi pomogli u tehničkom uređenju ove teze.

Moji roditelji, moji životni mentori su najzaslužniji što sam dođe stigao. Uvek su me razumeli i bezuslovno podržali, bodrili kada je bilo teško, a radovali se zajedno ostvarenim uspesima. Neizmerno im hvala. Svoje naslednike ću vaspitavati prema najboljem uzoru.

Nemanja V. Majstorović

# PRAĆENJE NIVELACIJE ZUBA POMOĆU 3D DIGITALNIH MODELA

## ABSTRAKT

**UVOD:** 3D modeliranje je nova tehnologija primenjena u ortodontiji. U ovim istraživanjima ova tehnologija je primenjena za praćenje nivelacije zuba. Da bi se to ostvarilo, uz primenu standardnih geometrijskih modelera (CAD sistemi), za ova istraživanja, su razvijeni referentni geometrijski entiteti (RGE), kao osnovni, izvedeni i anatomski. Na ovaj način se definišu ortodontski parametri, a na novi način vrše ortodontske analize, na primeru nivelacije zuba.

Definisan je skup od 54 ortodontska parametra, 28 za donju vilicu i 26 za gornju vilicu. Oni se prate u prostoru, u sve tri ortodontske ravni, preko anatomske tačke zuba. Definisani su koncepte personalne ordinacije, razvijeni model položaja zuba u prostoru, postavljen koncept modeliranja zubnog luka pomoću splajna u okluzalnoj ravni i istražena tačnost dva skenera. Sve ovo testirano je na primeru nivelacije zuba.

**MATERIJAL I METOD:** U ovim istraživanjima osnovni uzorak je obuhvatio 155 pacijenata, Klinike za ortopediju vilica Stomatološkog fakulteta u Beogradu. Populacija koja je sačinjavala ovaj uzorak bila je starosti od 15 do 26. godina, oba pola. Kod svih njih sa ortodontske tačke gledišta, javljali su se sledeći problemi: nepravilan položaj zuba, teskoba, malokluzija različitog tipa, nepravilan oblik zubnog luka.

Pratila se nivelacija zuba (njihov položaj u prostoru, kao i u okluzalnoj ravni), koja spada u prvu fazu terapije fiksnim aparatima. Ona obuhvata sledeće:

(i) Nivelaciju bravica, odnosno regulisanje vertikalnih odstupanja pojedinih zuba, (ii) Korekcija rotiranih zuba, (iii) Korekcija labio(buko) lingvalnih odstupanja zuba, i (iv) Uspravljanje zuba.

Skeniranje je vršeno na: Next Engine (Stomatološki fakultet, Beograd), Atos (Topomatika, Zagreb) i LazakScan (Fakultet za strojništvo, Ljubljana). Dobijeni 3D modeli su obrađeni u programu GOM Inspect V8 (V8 Hotfix 6, Rev. 81431), a ortodontske analize i sinteze su vršene na Solid Works i Siemens PLM NX10 softveru.

Kao metod korišćen je prilaz generisanja 3D digitalnog modela, a na njemu, kroz konkretni primer, definisanje, merenje i praćenje RGE, koji su korišćeni za ortodontske analize i sinteze.

Ova istraživanja su zasnovana na primeni sledećih metoda: analiza (ortodontskih slučajeva, stanja, parametara, trendova, ...), sinteza (terapijskih metoda, procedura i postupaka, ...), indukcija (predviđanje ortodontskih trendova za skup u odnosu na uzorak) i dedukcija (izvlačenje zaključaka o ortodontskom stanju za svakog pacijenta posebno). Naravno, kao bazni postupak za ova istraživanja korišćeno je 3D modeliranje, kao naučna disciplina koja je prvo razvijena u inženjerstvu, a ovde će se primenjivati u ortodontiji.

**REZULTATI:** U rezultatima istraživanja su prikazani sledeći elementi: (i) definicija, klasifikacija i modeliranje RGE, (ii) njihova primena u modelu, personalna e ortodoncija, gde je pokazano da se nivelacija zuba (po položaju u prostoru) za prvih šest meseci terapije, brže izvodi, u odnosu na drugih šest meseci (t test), (iii) praćenje nivelacije zuba za veliki uzorak pacijenata, a dobijeni rezultati su pokazali slične konstatacije, kao za slučaj e personalne ortodoncije. Hipoteza je potvrđena takođe t testom, (iv) praćenje nivelacije zuba u okluzalnoj ravni, pokazalo je da se splajnom šestog stepena, za konkretan slučaj, najbolje reprezentuje zubni luk što treba da bude cilj ortodontske terapije za navedeni slučaj, (v) najzad, koristeći RGE je razvijen model za utvrđivanje tačnosti i ponovljivosti merenja dva skenera, pri čemu je pokazano, da je skener Atos, tačniji od skenera LazakScan.

**ZAKLJUČAK:** Može se zaključiti da su postavljeni ciljevi ovih istraživanja ostvareni, hipoteze dokazane, a na novoj platformi definisanja i korišćenja RGE u ortodonciji, postavljen koncept primene 3D modela za planiranje, praćenje i ocenu ortodontske terapije, posebno za oblast nivelacije zuba.

Ključne reči: 3D modeliranje, ortodoncija, ortodontski parametri, nivelacija.

Naučna oblast: stomatologija

Uža naučna oblast: ortodoncija

UDK: 616.314-089.23

# MONITORING AND EVALUATION NIVELATION OF TOOTH ON 3D DIGITAL MODELS

## SUMMARY

**INTRODUCTION:** 3D modeling is a new technology applied in orthodontics. In this research, this technique was used to evaluate teeth nivelation. In order to do this, with the application of standard geometric modelers (CAD systems), for these investigations, reference geometric entities (RGEs) have been developed, as basic, derivative and anatomical. In this way, orthodontic parameters are defined, and in a new way they perform orthodontic analysis, in the case of a tooth nivelation.

A set of 54 orthodontic parameters is defined, 28 for the lower jaw and 26 for the upper jaw. They are monitored in the space, in all three orthodontic levels, through the anatomical points of the teeth. The concept of e personal practice is defined, the developed model for monitoring the position of teeth in the space, the concept of modeling the dental arch using the spline in the occlusal plane was set up and the accuracy of the two scanners was explored. All this has been tested on a case of tooth nivelation.

**MATERIAL AND METHODS:** In these studies, the basic sample covered 155 patients, Clinics for orthodontics, Faculty of Dentistry in Belgrade. The population that made this sample was between the ages from 15 to 26, both sexes. In all of them from the orthodontic point of view, the following problems have been reported: incorrect position of teeth, disturbances, different types of malocclusions, irregular shape of the dental arch.

The leveling of the teeth (their position in the area, as well as in the occlusal plane) was observed, which belongs to the first phase of therapy with fixed devices. It includes the following: (i) Leveling of brackets, ie regulation of vertical deviations of individual teeth, (ii) Correction of rotated teeth, (iii) Correction of labio (bucco) lingual tooth deviations, and (iv) Tooth decay (upright).

The scan was performed at: Next Engine (Faculty of Dentistry, Belgrade), Atos (Topomatika, Zagreb) and LazakSkan (Faculty of Mechanical Engineering, Ljubljana). The obtained 3D models were processed in the GOM Inspect V8 (V8 Hotfix 6, Rev. 81431) and the orthodontic analysis and synthesis were performed on Solid Works and Siemens PLM NX10 software.

As an approach, the approach of generating a 3D digital model was used, and on it, through a concrete example, the definition, measurement and monitoring of RGE, used for orthodontic analysis and synthesis.

These studies are based on the application of the following methods: analysis (orthodontic cases, states, parameters, trends, ...), synthesis (therapeutic methods, procedures and procedures, ...), induction (prediction of orthodontic trends for a set versus sample) and deduction (drawing conclusions about the orthodontic condition for each patient separately). Of course, as a basic process for these research, 3D modeling, as a scientific discipline that was first developed in engineering, and here will be applied in orthodontics.

**RESULTS:** The results of the research show the following elements: (i) definition, classification and modeling of RGE, (ii) their application in the model, personal e orthodontics, where it has been demonstrated that the nivelation of the teeth (by position in the area) for the first six months of the therapy is performed faster than the other six months (t-test), (iii) monitoring teeth nivelation for a large sample of patients, and the results obtained showed similar findings, as in the case of personal orthodontics. The hypothesis was also confirmed by the t-test, (iv) monitoring the nivelation of the tooth in the occlusal plane showed that by the splitting (spline) of the sixth degree, for the particular case, the dental arch is best represented, which should be the goal of orthodontic therapy for the case, (v) finally, using the RGE, a model for determining the accuracy and reproducibility of the measurement of two scanners was developed, showing that the Atos scanner was more accurate than the LazakScan scanner.

**CONCLUSIONS:** It can be concluded that the goals of these investigations have been achieved, the hypotheses proven, and on the new platform for defining and using RGE in orthodontics, the concept of application of 3D models for planning, monitoring and estimation of orthodontic therapy is set, especially for the field of tooth nivelation.

Key words: 3D modeling, orthodontics, orthodontics parameters, nivelation.

Scientific field: dentistry

Narrow scientific field: orthodontics

UDK: 616.314-089.23



## SADRŽAJ

1. UVOD .....	2
2. STANJE ISTRAŽIVANJA U SVETU .....	6
2.1 Prva oblast.....	6
2.2 Druga oblast .....	8
2.3 Treća oblast.....	10
2.4 Četvrta oblast .....	16
3. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA .....	25
3.1 Hipoteza 1 .....	25
3.2 Hipoteza 2 .....	25
3.3 Hipoteza 3 .....	25
3.4 Hipoteza 4 .....	26
3.5 Hipoteza 5 .....	26
4. CILJEVI ISTRAŽIVANJA .....	27
5. MATERIJAL I METOD.....	28
5.1 Referentni geometrijski entiteti.....	30
5.2. 3D Personalna ortodoncija .....	30
5.3. Praćenje pomeranja zuba u prostoru .....	35
5.4. Obilk zubnog luka.....	36
5.5. Određivanje tačnosti i ponovljivosti merenja skenera .....	36
6. REZULTATI.....	39
6.1. Definisanje referentnih geometrijskih entiteta .....	39
6.1.1. Osnovni geometrijski entiteti (OGE) .....	39
6.1.2. Izvedeni geometrijski entiteti (IGE).....	41
6.1.3. Anatomski geometrijski entiteti (AGE) .....	44
6.2. 3D Personalna ortodoncija .....	45
6.3. Praćenje pomeranja zuba u prostoru .....	49
6.4. Obilk zubnog luka.....	53
6.5. Određivanje tačnosti i ponovljivosti merenja skenera .....	57
7. DISKUSIJA .....	63
7.1 Referentni geometrijski entiteti.....	63
7.1.1 Osnovni geometrijski entiteti .....	63
7.1.2 Izvedeni geometrijski entiteti .....	65
7.1.3 Anatomski geometrijski entiteti .....	65
7.2. 3D Personalna ortodoncija .....	66

---

7.2.1 Analiza kontrola – Hipoteze 1 i 2 .....	67
7.2.2. Provera Hipoteze 3.....	69
7.3. Praćenje pomeranja zuba u prostoru .....	73
7.4. Oblik zubnog luka.....	75
7.5. Određivanje tačnosti i ponovljivosti merenja skenera .....	76
8. ZAKLJUČCI.....	82
9. BUDUĆA ISTRAŽIVANJA .....	84
10. ZNAČENJE POJMOVA I SKRAĆENICA.....	85
11. BIOGRAFIJA AUTORA.....	86
12. PRILOZI .....	89
12.1 Prilog 1. Pregled dela analiziranih modela čiji rezultati su prikazani u 6.3 i 6.4. ....	89
12.2 Prilog 2. Izjava o autorstvu .....	94
12.3 Prilog 3. Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada .....	95
12.4 Prilog 4. Izjava o korišćenju .....	96

## 1. UVOD

Primena novih tehnologija podržanih računarom danas se sreće u različitim oblastima stomatologije: CAD – projektovanje i 3D modeliranje (protetika, ortodoncija, endodoncija) [1-3,10,11,15], CAE – proračuni i simulacije napona i opterećenja u oblasti stomatologije (zubi, vilice, zglobovi) [2], odnosno korišćenju metoda konačnih elemenata (FEM), zatim CAM – proizvodnji stomatoloških nadoknada i ortodontskih bravica pomoću računara [1,2,10,12], RP – brza izrada prototipa (fiksne nadoknade i elementi ortodontskih aparata) [3,5,6,12,13,15], CAQ – modeliranje i obezbeđenje kvaliteta stomatoloških nadoknada i ortodontskih aparata [2,4], digitalna stomatologija, integrišući sve napred navedene prilaze [7,9,14], i "cloud" stomatologija (novi koncept primene ICT tehnologija u stomatologiji) [8].

3D modeliranje nalazi sve veću primenu i u ortodonciji, i to za: CAD – 3D modeliranje zuba, vilica i ortodontskih aparata, CAE – modeliranje i proračunima napona i deformacija zuba i vilica, CAM – tehnološko projektovanje i proizvodnja bravica, RP – napredna tehnologija proizvodnje bravica, CAQ - modeliranje i obezbeđenje kvaliteta ortodontskih aparata, i najzad digitalna i "cloud" ortodoncija.

Za ove namene, danas se koriste problemski orijentisani CAD/CAM sistemi (OrthoCAD i drugi) [1,14], kao i opšti CAD softveri za inženjerska modeliranja [14,16]. U ovim istraživanjima su korišćena oba prilaza, jer svaki od njih ima svojih dobrih strana i nedostataka, tako da se na današnjem nivou razvoja ove oblasti, ne može jednoznačno reći da je jedan bolji od drugog.

Nivelacija zuba predstavlja praćenje i analizu slaganja zuba u vilici prvih 6 do 8 meseci ortodontske terapije, pre svega u odnosu na okluzalnu ravan. Pri tome se prate i analiziraju ortodontski parametri po različitim osnovama, kao i oblik zubnog luka, što je u ovoj tezi i urađeno.

Ova teza ima sledeće celine:

(i) stanje istraživanja u svetu. Izložen je pregled najnovije literature iz oblasti 3D modeliranja i njegove primene u ortodonciji, posebno za oblast praćenja i analize nivelacije zuba, po različitim osnovama: praćenja opštih ortodontskih parametara (Boltonov odnos, PAR index), oblik zubnog luka, istraživanje i praćenje tačnosti, pouzdanosti, validnosti i ponovljivosti merenja na 3D digitalnim modelima, a u odnosu na konvencionalni metod, i planiranje i praćenje ortodontske terapije. Analizirano je ukupno osamdeset i jedna, najznačajnija i pažljivo odabrana referenca za ovu oblast istraživanja, zaključno sa 2017. godinom. Može se zaključiti sledeće: (a) 3D model postaje zlatni standard ortodontske terapije, i (ii) ortodontska terapija pomoću 3D modela može predikovati željena ortodontska stanja. To znači da se primenom opštih CAD sistema mogu simulirati različita stanja u vilici pacijenta, i na osnovu toga izabrati unapred cilj, koji se želi postići. Kasnija praćenja se vrše prema njemu;

(ii) hipoteze istraživanja. Za ova istraživanja postavljeno je pet hipoteza, koje se u suštini odnose na definisanje okvira istraživanja za primenu 3D modela u nivelaciji zuba, a pomoću novog načina definisanja ortodontskih parametara pomoću RGE. Takođe je pomoću RGE definisan, kao hipoteza, novi način definisanja globalnog / lokalnog ortodontskog koordinatnog sistema. Sve navedene hipoteze su potvrđene u ovim istraživanjima;

(iii) ciljevi istraživanja. Ova istraživanja su postavljena tako da je za njih definisan jedan globalni i sedam parcijalnih ciljeva. Globalni cilj se odnosio na razvoj 3D digitalnog modela za praćenje nivelacije zuba, preko skupa ortodontskih parametara (u tri ortodontske ravni), definisanih pomoću referentnih geometrijskih entiteta (RGE), u koordinatnom sistemu definisanom na novi način u odnosu na ABO metod. Takođe, osnovni cilj je razviti proceduru i metodologiju, korišćenjem softvera opšte namene za 3D modeliranje, za formiranje 3D ortodontskog modela, bez za to do sada korišćenih usko-specijalizovanih i namenskih paketa, koje koriste klasični ortodontski skeneri.

Parcijalni ciljevi su bili: dobijanje 3D digitalnog modela u .stl formatu, definisanje RGE i njihova klasifikacija, definisanje ortodontskog koordinatnog sistema pomoću RGE, na novi način, definisanje ortodontskih parametara za praćenje i analizu nivelacije zuba, njihova analiza i ocenjivanje (u prostoru tri ortodontske ravni, zubni luk kao splajn), i određivanje tačnosti i ponovljivosti merenja skenera. Realizovani su svi navedeni ciljevi;

(iv) materijal i metod. Osnovni uzorak je obuhvatio 155, slučajno izabranih pacijenata Klinike za ortopediju vilica Stomatološkog fakulteta u Beogradu. Svi pacijenti su bili u terapiji koja obuhvata primenu fiksnih aparata. Od pacijenata se uzimani otisci u alginatu, standardnim kašikama. Ukupno je uzimano po min četiri otiska, i to: pre postavljanja aparata, nakon dva, četiri i šest meseci od početka terapije. Otisci se izlivani u gipsu. Nakon obrade, skeniranje je obavljeno na 3D skenerima: Next Engine (Stomatološki fakultet, Beograd), Atos (Topomatika, Zagreb) i LazakSkan (Mašinski fakultet, Ljubljana). Dobijeni 3D modeli su obrađeni u programu GOM Inspect V8 (V8 Hotfix 6, Rev. 81431), a ortodontske analize i sinteze su vršene na Solid Works i Siemens PLM NX10 softveru. Osnovni koraci u proceduri razvoja ovog istraživačkog koncepta nivelacije zuba pomoću 3D modela su obuhvatili šest etapa, koji su detaljno opisani kroz ovo i sledeća dva poglavlja;

(v) rezultati. Kao podrška navedenim istraživanjima, prikazani su rezultati za: definisanje referentnih geometrijskih entiteta, sve tri vrste; njihovu primenu u personalnoj ortodontiji, za praćenje nivelacije zuba, pojedinca uz dokaz postavljene hipoteze pomoću t testa o intenzitetu i brzini slaganja zubnog niza, za odgovarajuće vremenske periode (šest i dvanaest meseci); praćenje pomeranja zuba u prostoru, pomoću RGE i ocena efekata nivelacije, na velikom uzorku pacijenata, uz testiranje hipoteze pomoću t testa, prema istim kriterijumima, kao u prethodnoj tački; istraživanje nivelacije zuba u okluzalnoj ravni, pomoću oblika zubnog luka, i najzad, primena RGE za istraživanje i ocenu tačnosti dva skenera.

(vi) diskusija. Polazeći od metodologije izložene u poglavlju – Materijal i metod, kroz šest koraka je razvijena primena 3D modela u ortodontiji za nivelaciju zuba. Primenom ovog koncepta, dobijeno je: jedinstveno i tačno, na svim otiscima/kontrolama definisanje ortodontskih parametara, koji nisu samo prave linije, kao što je to do sada rađeno. Naime, preko dvanaest geometrijskih entiteta, definišu se ortodontski parametri. Sa druge strane, promena njihovih vrednosti/položaja, prati se u prostoru (x,y,z). Posebno važno je istaći da se na ovaj način, po prvi put u ovim istraživanjima, na novi način, u odnosu na ABO metod, definiše koordinatni sistem vilice. Zahvaljujući tome, ostvaruje se apsolutna tačnost i ponovljivost dobijenih rezultata pomeranja zuba u prostoru za sve kontrole; pokazano je u ovom istraživanju sa t testom, za zavisne uzorke, da je najveće pomeranje zuba u prostoru vilice, u toku prvih šest meseci terapije u odnosu na drugih šest meseci. Na ovom primeru je pokazano kako je moguće razviti i primeniti koncept e personalne ortodontije, kod koje će 3D model biti zlatni standard. Na velikom uzorku od 155 pacijenata, istražena je ista hipoteza, pomoću t testa, sada, međusobno nezavisnih uzoraka. Dobijeni su isti rezultati, a primena ovog testa za oba slučaja je bila u standardne devijacije, promene 54 ortodontska parametra za donju i gornju vilicu pacijenata; praćenje nivelacije zuba u okluzalnoj ravni, pomoću oblika zubnog luka je deo istraživanja, koji je uneo novinu u definisanju funkcije zubnog luka. Naime, primenom splajna (kriva linija definisana stepenom funkcijom), može se na osnovu master stanja definisati početni i željeni oblik zubnog luka, za pacijenta. Nakon toga se određuje stepen ove funkcije, od trećeg do osmog, koji najbolje odgovara istraženom/definisanoj stanju. To znači da se nalazi optimalna funkcija, odnosno stepen splajna, primenom tehnike najmanjih kvadrata, koji će odgovarati kontroli koja se upravo vrši, ili želi postići. Naravno i ovde se obeležavanje tačaka kroz koje se definiše kriva splajna vrši koristeći RGE; najzad, ovo istraživanje je završeno istraživanjem tačnosti i ponovljivosti merenja dva skenera, pomoću RGE, definisanih u ovom radu. Ovaj prilaz je takođe originalan, jer je set ortodontskih parametara, prostorno definisan, tako da se tačnost skenera određuje u njegovom radnom prostoru.

Pokazano je uz određivanje detreminisanih vrednosti, da je tačnost i ponovljivost merenja skenera Atos, veća od tačnosti LazakScan-a;

(viii) zaključci. Suština ove teze je razvoj novog modela definisanja, praćenja, analize i ocene ortodontskog stanja pacijenata za nivelaciju zuba, primenom RGE. Šta se dobija korišćenjem RGE u odnosu na sadašnji prilaz (definišu se samo tačke i mere njihova linijska rastojanja), odnosno drugačije rečeno šta je to novo u našem prilazu zasnovanom na RGE, u odnosu na ostale, koji ne koriste RGE, objašnjeno je u zaključku. Navedeno je sedam elemenata, koji predstavljaju i naučni doprinos ovih istraživanja;

(ix) buduća istraživanja. Ovaj uvod možemo zaključiti činjenicom da će vrlo brzo 3D model postati zlatni standard ortodoncije. Može se slobodno reći ukupne stomatologije, jer će gipsani model otići u istoriju. To znači da će ICT tehnologije imati veliki uticaj i na razvoj ortodoncije, kroz primenu: reverznog inženjerstva, brze izrade prototipa i 3D štampa.

Uz sva poglavlja ove teze data je literatura za njih, osim za hipoteze i ciljeve istraživanja, kao i zaključak.

## Literatura

- [1]. Freedman M., Quinn F., O'Sullivan M., Single unit CAD/CAM restorations: a literature review, J Irish Dent Assoc, Spring 2007, Vol. 53 Issue 1, p38-45. 8p.
- [2]. N, N., 3D Scanning and Dental CAD/CAM Solution, Frontier Advanced Technology, Patent Design, NY, 2010, <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/48165.pdf> (pristupano jula 2017).
- [3]. Bong-Kuen Ch., Clinical Application of Three-Dimensional Reverse Engineering Technology in Orthodontic Diagnosis, Gangneung-Wonju National University, Korea, IJ Principles in Contemporary Orthodontics, [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com) (pristupano juna 2017).
- [4]. Al Mortadi N., Eggbeer D., Lewis J., Williams J., CAD/CAM/AM applications in the manufacture of dental appliances, Am J Orthod Dentofacial Orthop 2012;142(5):727-33, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2012.04.023>
- [5]. Zhang S., The application of rapid prototyping in prosthodontics, J Prosthodont 2012;21(8): 641-4, doi: 10.1111/j.1532-849X.2012.00888.x. Epub 2012 Jul 23.
- [6]. Hems D., Knott N., 3D printing in prosthodontics, Faculty Dental Journal, 2014;5(4):152-157.
- [7]. van Noort R., The future of dental devices is digital, Dent Mater 2012;28(1): 3-12, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2011.10.014>.
- [8]. Avula T., Nela M., Gudapati R., Velagapudi S., Efficient Use of Cloud Computing in Medical Science, Am J Comput Math 2012;2: 240-243, <http://dx.doi.org/10.4236/ajcm.2012.23032>.
- [9]. Wicher J., van der Meera A., Vissinkc A., Nga Y., Gulabivalaa K., 3D Computer aided treatment planning in endodontics, Journal of Dentistry 45 (2016) 67–72, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2015.11.007>.
- [10]. Bilgin M., Baytaroğlu E., Erdem A., Dilber E., A review of computer-aided design/computer-aided manufacture techniques for removable denture fabrication, Eur J Dent 2016;10:286-91, DOI: 10.4103/1305-7456.178304.
- [11]. Kalpana D., Harish G., Mahesh C., Swati S., Madhuri V., Brunda K., CAD / CAM in Dentistry - A Review, IJRID Volume 5 Issue 2 Mar.-Apr. 2015, pp. 14-21.
- [12]. Dawood A., Marti B., Sauret-Jackson V., Darwood A., 3D printing in dentistry, British Dental Journal 2015; 219: 521-529, DOI: 10.1038/sj.bdj.2015.914.

- [13]. Torabi K., Farjood E., Hamedani S., Rapid Prototyping Technologies and their Applications in Prosthodontics, a Review of Literature, J Dent Shiraz Univ Med Sci., March 2015; 16(1): 1-9.
- [14]. Avinash S., Bidra R., Taylor T., Agar J., Computer-aided technology for fabricating complete dentures: Systematic review of historical background, current status, and future perspectives, The Journal of Prosthetic Dentistry, June 2013, Volume 109, Issue 6, pp 361-366, DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-3913\(13\)60318-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-3913(13)60318-2).
- [15]. Charles J., Garbacea G., Naylor P., Daher T., Marchack C., Lowry J., CAD/CAM fabricated complete dentures: concepts and clinical methods of obtaining required morphological data, Journal of Prosthetic Dentistry, June 2012, Volume 107, Issue 1, pp 34-46, DOI: [http:// dx.doi.org/10.1016/S0022-3913\(12\)60015-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-3913(12)60015-8).
- [16]. Majstorović N., Mačužić J., Radić D., Glišić B., Nikodijević A., 3D Modelling in Orthodontics – one Approach, The 7th International Working Conference "Total Quality Management – Advanced and Intelligent Approaches", 3rd – 7th June, 2013, Belgrade, Serbia, Session 4: Young PhD researchers, Proceedings, ISBN 978-86-7083-791-1, COBISS.SR 198576396, pp: 245-252, 2013.

## 2. STANJE ISTRAŽIVANJA U SVETU

3D digitalni modeli (ili digitalni studijski modeli dobijeni skeniranjem gipsanih otisaka), su sve zastupljeniji u svakodnevnoj ortodontskoj praksi. Njihove mnogobrojne prednosti, čine to da se danas u razvijenim zemljama, oni koriste u svakoj trećoj ordinaciji [50,51,53], kao nova i napredna tehnologija [54,55,57,72,74,76,78,80]. Oni se koriste ne samo u dijagnozi i donošenju plana ortodontske terapije, već i u praćenju faza iste, a za detaljne analize položaja svakog zuba posebno, odnosno njihovu nivelaciju, prvih 6 do 8 meseci terapije.

Iz ugla različite primene u ortodontiji, a posebno za nivelaciju zuba, 3D digitalni modeli se koriste za:

- (a) praćenje i analizu teskobe/prostora u vilici pacijenta, vršenje prostornih analiza, Boltonov odnos,
- (b) određivanje oblika zubnog luka i njegovo modeliranje, određivanje PAR indeksa,
- (c) praćenje nivelacije zuba sa aspekta određivanja validnosti, tačnosti, ponovljivosti i pouzdanosti merenja na 3D digitalnim modelima, a u odnosu na konvencionalne (gipsane modele), i
- (d) analizu i sintezu pomeranja svakog zuba, tokom terapije, a naročito u fazi nivelacije, pri čemu ta pomeranja mogu da budu translacionog i rotacionog karaktera u prostoru. Ovaj prilaz obuhvata planiranje i praćenje ortodontske terapije. Takođe je vršena analiza poređenja tehnika uzimanja otisaka iz ugla konformnosti pacijenta i potrebnog vremena analize ortodontskih stanja.

U daljem tekstu biće analizirana relevantna literatura u svetu iz ove oblasti, uglavnom radovi iz časopisa sa SCI liste, kroz prizmu naučnog doprinosa autora napred navedenoj problematici, od 2000-te godine [50], kada su se pojavili prvi ozbiljni radovi iz ove oblasti, do danas. U kontekstu ove analize posebna pažnja se ukazuje na referencu [13], koja je svakako najznačajnija za ovu oblast, a ona potvrđuje prilaz izložen u ovoj analizi.

### 2.1 Prva oblast

*Prva oblast*, izuzetno važna u ortodontiji, jer ima velikog uticaja na estetski izgled pacijenta, je analizirana u sledećim referencama, kako sledi. Naime, analiza prostora je kritičan korak u odluci ortodontske dijagnoze, kada treba utvrditi da li je ekstrakcija neophodna za ispravljanje teskobe, ili ne. Ovo zahteva poređenje totalne meziodistalne širine zuba u zubnom luku do dostupnog prostora u tom luku. Dodatno, da bi se postigla funkcionalna okluzija sa pravilnim preklapom i razmakom, maksilarni i mandibularni zubi moraju biti proporcionalni u veličini. U ortodontiji je dostupno nekoliko prostornih analiza, kao što su Black, Wheeler, Nelf, Howes i Bolton, koje se već dugo koriste. U radu [1] je izvršena analiza tačnosti merenja na gipsanim i 3D digitalnim modelima, 30 uzoraka, na preterapijskim modelima.

Merena je meziodistalna širina zuba na njegovoj najvećoj širini. Utvrđena je dužina luka (zbir meziodistalnih širina svih zuba u jednom luku od prvog molara do prvog molara), kao i Boltonov odnos. Tačnost analize prostora, kao što je Boltonov odnos, pokazuje sličnost između digitalnih i gipsanih modela, jer razlika između Boltonovog odnosa nije nađena za statistički značajnu. Razlika između računanja dužine luka bila je statistički značajna unutar ranga greške nađene u ovoj i drugim studijama, i nije smatrana klinički značajnom.

Vreme potrebno da se urade merenja i proračuni bilo je statistički i klinički značajno; softver digitalnog modela bio je u proseku 65 sekundi brži. Softver digitalnog modela za merenje denticije pacijenta i računanje Boltonovog odnosa je tačniji i brži od korišćenja digitalnih pomičnih merila na gipsanim modelima. Kliničar koji koristi softver digitalnog modela, može biti siguran u postavljenu dijagnozu. Analiza prikazana u [16], je dala rezultate istraživanja na 25 uzoraka, merenjem širine zuba na njihovim

najdistalnijim tačkama, kao i dužine luka, uz analizu prostora i veličinu teskobe. Statističkom analizom je pokazano da je prostorna analiza digitalnih modela klinički prihvatljivija i tačnija u odnosu na tradicionalne gipsane studijske modele. Istraživanje [19], se odnosilo na merenje i analizu 20 modela (virtuelni, gipsani), sledećih parametara: meziodistalna širina zuba, međuočnjačko i međumolarno rastojanje, kao i širina luka.

Neparametarska statistika pokazuje da je primena OrthoCAD sa aspekta tačnosti i ponovljivosti rezultata veća u odnosu na gipsane modele. Poređenje 4 metoda za određivanje parametara za Boltonovu analizu (tri 3D digitalna i gipsani model), prikazana su u [29]. Korišćeno je 22 otiska, a t-test je pokazao da ne postoji značajna greška pri ponavljanju merenja kod svakog metoda ( $p < 0,05$ ).

Kod svakog metoda nisu nađene klinički značajne razlike ( $>1.5$  mm), a HATS analiza pokazuje visok stepen korelacije dobijenih rezultata, koji se kreću u intervalu od 0.885 do 0.574. Takođe analiza vremena daje veliku prednost digitalnim modelima u odnosu na konvencionalne (od 1.85 min do 8.06 min). Studija, prikazana u [30] odnosila se na analizu prostora, primenom Tanaka Johnston-ove jednačine, gde je analizirano 35 uzoraka i njihovih 3D digitalnih modela. Merena je širina zuba, istraživana je ponovljivost merenja, a određivana je navedena jednačina. Izvršena su mezio distalna merenja širine zuba na gipsanom i digitalnom modelu. Zbir veličina donjih sekutića korišćen je za predviđanje vrednosti veličina premolara i očnjaka, korišćenjem regresione jednačine, a dobijene vrednosti su korišćene za poređenje sa stvarnim vrednostima ovih zuba. Podaci su statistički analizirani primenom Pearson-ovog testa korelacije, Dahlberg formule, t–testa i analize varijansi ( $p < 0.05$ ). Svi rezultati merenja oba modela su validni, ne postoji slučajna greška, a sistematska greška (bias) se javlja na gipsanim modelima.

Analiza prostora primenom regresionih modela je dala bolje rezultate kod digitalnih modela, što isto važi i za ponovljivost merenja. Jedna od prvih analiza i poređenje tačnosti merenja na konvencionalnim i digitalnim modelima je prikazana u [31]. 76 slučajno izabranih otisaka, dva nezavisna ocenjivača su na oba tipa modela merili preklap i razmak zuba. Dobijeni rezultati su pokazali statističku signifikantnost između dve vrste modela, pri čemu su tačniji rezultati bili za digitalne modele. Takođe je pokazano da klinički nije relevantna vrednost razlika između ovih modela, koja se kreće u intervalu od 0.16mm do 0.49mm.

Validnost, pouzdanost i ponovljivost parametara PAR indeksa i Bolton-ovog odnosa, na digitalnim i konvencionalnim modelima je prikazana u [32]. Uzeta su 24 otiska sa 8 tipova malokluzije, definisanih prema ABO kategorijama. Tačnost merenja oba metoda je bila 0.1mm. t-testom je izvršeno poređenje rezultata oba metoda sa aspekta validnosti i pouzdanosti. Ponovljivost rezultata je izvršena na digitalnim modelima. Statistička signifikantnost razlika oba metoda, sa aspekta pouzdanosti i validnosti rezultata, kao i ponovljivosti merenja nije klinički značajna. Takođe ne postoji značajna razlika u 8 ABO grupa, što je pokazano Kruskal-Wallis testom. Slični zaključci se dobijaju za PAR indeks i Bolton-ov odnos, čime je dokazano da digitalni modeli nemaju značajno iskazanu prednost u odnosu na konvencionalne modele.

Cilj istraživanja, prikazanih u [34], je bio da se na digitalnim modelima odredi najbolja tehnika za merenje širine zuba. Ova merenja su vršena na 32 digitalna modela, od prvog do prvog molara. Ova merenja su vršena korišćenjem sledećih pet tehnika: okluzalna perspektiva, okluzalna perspektiva sa uvećanjem svakog zuba posebno, perspektiva spreda uz rotaciju ako je potrebno, perspektiva spreda uz tri standardna položaja (desno bukalno, spreda, levo bukalno), i kvalitativno rotiranje modela u bilo kojem položaju.

Merenja su ponovljena 3 puta, u 3 nedelje, sa merenjem vremena. Četiri od pet primenjenih tehnika merenja (izuzimajući perspektivu spreda uz tri standardna položaja), pokazuju pozitivni bias u odnosu na merenja na gipsanom modelu. Merenja iz okluzalne perspektive imaju najveću vrednost Pearson-ovog koeficijenta korelacije (98.509%), najmanju vrednost Altman-Bland modela standardne devijacije (1.881mm), a vreme merenja je 2 min i 3sec. Tehnika kvalitativnog rotiranja ima slične parametre (Pearson, Altman-Bland), kao okluzalna tehnika, ali uz najduže vreme merenja od 7 min i 1 sec. Dakle,



zaključak je da okluzalna tehnika merenja daje najbolje rezultate sa aspekta tačnosti, ponovljivosti i brzine merenja.

Analiza prostora i ocena tačnosti parametara na gipsanim i digitalnim modelima je prikazana u [39]. Uzeta su dva skupa otisaka od po 25 primeraka, klase I, koji su skenirani i analizirani pomoću OrthoCad sistema. Merene su širine zuba, najveće meziodistalno rastojanje i dužina luka, na oba tipa modela. Analiza prostora je vršena tako što je vrednost izračunata za svaki model, a to su radila po dva ocenjivača. Rezultati su ocenjeni neparametarskim testovima, a određene su i methodske greške. Dobijeno je za gornju vilicu, za analizu prostora, da je max razlika iznosi 0.4mm, između ova dva modela, i ona je statistički značajna, a za donju vilicu je dobijeno da ova greška nije statistički značajna.

Ovo istraživanje [67] je imalo za cilj da poredi tačnost, ponovljivost, efikasnost i efektivnost merenja ortodontskih parametara na 3D digitalnim i gipsanim modelima. Analizirano je ukupno 20 modela, a njima je merena najveća meziodistalna širina između prvih molara. Sva merenja su ponovljena posle mesec dana od istog istraživača. Statističke analize su vršene korišćenjem Cronbach  $\alpha$ , Wilcoxon i McNemara testa. Cronbach  $\alpha$  vrednosti pokazuju da je za 6 prednjih zuba mereni parametar veoma blizu idealnoj vrednosti 1, uključujući visoku pouzdanost dobijenih rezultata. Wilcoxon test pokazuje statistički značajne razlike između ova dva metoda ( $P = 0.005$ ,  $P < 0.001$ ). Rezultati merenja pokazuju veću tačnost 3D modela u odnosu na gipsane modele. Takođe nisu nađene značajne statističke razlike kod oba metoda za Boltonov odnos prednjih zuba (-3 +3) ( $P = 0.375$ ), kao ukupni Boltonov odnos (-6 +6) ( $P = 0.00$ ). Takođe kod ponovljenih merenja Boltonov odnos takođe ne daje statistički značajne razlike za oba metoda ( $P = 0.005$ ,  $P < 0.001$ ).

Zaključak je da je primena 3D modela prihvatljivija za ortodontsku praksu. Istraživanje prikazano u [73] se odnosilo na ocenu tačnosti skenera koji se koriste za generisanje "oblaka" tačaka za 3D modele, za jedan intra-oralni i dva klasična skenera za skeniranje otisaka (Trios i D700). Mereni su parametri za Boltonovu analizu (meziodistalnu širinu, rastojanje između očnjaka, rastojanje između molara, preklap i razmak) a analiza je vršena i u odnosu na konvencionalni metod merenja (pomično merilo). Koristeći ANOVA model dobijeno je da nema statistički značajne razlike između tačnosti generisanja 3D modela i konvencionalnog metoda.

Navedene analize pokazuju da je veća tačnost svih parametara na 3D modelu, čime se povećava i tačnost Boltonove analize, kao i ostalih parametara kojima se prati i ocenjuje teskoba.

## 2.2 Druga oblast

*Druga oblast* ima dugu istoriju istraživanja u ortodontiji, pre pojave 3D digitalnih modela. Pomoću njih su istraživači dobili moćan alat za simulaciju i analizu kompleksnih matematičkih modela višestepenih jednačina, pomoću kojih se „opisuje“ zubni luk.

Jedan pregled CAD/CAM sistema za generisanje i analizu 3D digitalnih modela, prikazana je u [6], a ona daje prvi sistematizovani pregled hardvera/softvera za ove namene. Date su prednosti ovih prilaza u odnosu na klasične sisteme. Jedna od prvih analiza pomoću 3D digitalnih modela oblika zubnog luka, kao osnovnog koraka u analizi malokluzije pacijenta, uz merenje i ocenu različitih parametara denticije, kao što su: okluzija, meziodistalna širina zuba, Boltonov odnos, dužina luka, širina luka, incizalni preklap i incizalni razmak, je data u [11]. Ovde su dati primeri nekoliko programa koji su se koristili za ove analize.

Merenje i analiza PAR indeksa na 3D digitalnim modelima sa poređenjem tačnosti ovog parametra na gipsanim modelima je prikazana u [12]. Ovaj pouzdani metod za ocenu malokluzije je istraživan na 48 modela. Analiza PAR indeksa vršena je određivanjem pouzdanosti i validnosti, pomoću analize varijansi i koeficijenta korelacije za ove dve vrste modela. Dobijeno je da 3D digitalni modeli daju validne i pouzdane parametre okluzije, sa većom tačnošću.

Specifičan primer istraživanja prikazan je u [18], a odnosio se na poređenja oblika zubnog luka za osu zuba u odnosu na njegovu krunicu i vrh korena, klase 1 i 2, grupe 1 malokluzije, korišćenjem WALA tačaka, na uzorku od 35 pacijenata klase 1 i 32 pacijenta klase 2.

Dobijeni rezultati pokazuju da je oblik donjeg luka isti za obe klase. Takođe, ne postoji razlika u obliku zubnog luka za obe grupe za bazalnu kost. Najzad, korišćenjem WALA tačaka, može se uspešno planirati ortodontska terapija.

U [20] je prikazana analiza idealnog oblika zubnog luka, polinomom 4 stepena, na uzorku od 15 pacijenata. Dobijeno je da je ovaj model dobar, ali samo kada su poznate koordinate svih zuba u donjoj i gornjoj vilici. U slučaju, ako pacijentu nedostaje neki zub (naročito od prvog molara do centralnog sekutića), onda  $\beta$  funkcija predstavlja bolje rešenje za simulaciju oblika zubnog luka.

U [24] su prikazani rezultati istraživanja, koji se odnose na novu klasifikaciju oblika zubnog luka pri normalnom zagrižaju, dobijenih pomoću 3D digitalnih modela. Uzeti su otisci od 115 mladih pacijenata, donje i gornje vilice, koji su nosili ortodontski aparat. Urađena je klaster analiza klasifikacije oblika zubnog luka sa širinama: između očnjaka, premolara i molara. Iz prvog skupa je generisan podskup od 68 otisaka, koji su podeljeni u 4 klastera, na osnovu ortodontskih parametara prednjih i zadnjih zuba. Na ovaj način je pokazano da 3D analiza može da se koristi na novi način.

Poređenje tačnosti gipsanih, 3D modela i rekonstruisanih 3D modela prikazano je u [26]. Nulta hipoteza je bila – ne postoji razlika u tačnosti modela definisanih na napred navedena tri načina. Uzorak je obuhvatio 30 slučajno odabranih gipsanih modela, na kojima je u tri ravni mereno ukupno 16 ortodontskih parametara, dva puta sa razmakom od sedam dana.

Ponovljivost merenja je istraživana Bland-Altman-ovom analizom, a pouzdanost dobijenih rezultata je testirana neparametarskim testovima Wilcoxon Signed Rank, jer je analiza podataka o merenjima pokazala da se dobijeni rezultati merenja, ne ponašaju po normalnom zakonu raspodele. Najveća razlika u rezultatima merenja dobijena je kod ručnog merenja, ( $p>0,2$ ), dok se ona smanjuje kako idemo od rekonstruisanih ka 3D digitalnim modelima, gde je ponovljivost rezultata skoro apsolutna i teži nuli.

Glavna razlika merenja u svim ravnima bila je 0,14 mm (SD=0,1 mm) i nije bila statistički značajna ( $p>0,2$ ). Merenja urađena u x i y ravnima nisu bila statistički značajna za rekonstruisane modele i gipsane modele ( $p>0,3$ ) ili 3D digitalne modele ( $p>0,5$ ). Međutim, u z-ravni, razlike merenja su bile značajne,  $p<0,0001$ . Sva merenja 3D digitalnih modela u z-ravni bila su značajno manja u odnosu na merenja odgovarajućih gipsanih i rekonstruisanih modela.

Navedene analize su pokazale sve prednosti 3D digitalnih modela. Istraživanje tačnosti merenja na klasičnim otiscima (pomičnim merilom), 3D modelima i modelima dobijenim CT skeniranjem, na 34 modela, prikazano je u [33]. Mereno je: meziodistalna širina zuba, širina luka, dužina luka, ostali parametri luka i dubina nepca. Dobijeni su sledeći rezultati: meziodistalno rastojanje na gornjoj vilici između desnog i levog premolara, levi centralni sekutić i desni prvi molar. Na donjoj vilici je mereno rastojanje levog i desnog sekutića, desni očnjak i levi prvi molar. Dobijena je zadovoljavajuća tačnost sva tri metoda, sledećim redosledom, od najmanje ka najvećoj: konvencionalni, CT, 3D model.

Studija, izložena u [36], je prikazala oblike zubnog luka, koji su dobijeni faktornom analizom 137 digitalnih modela, sve tri klase zagrižaja (43, 50 i 44 otiska), mladih ljudi, između 15 i 18 godina, 71 devojčica i 66 dečaka. Glavni elementi faktorske analize su bili: odnos između širine/visine donjeg očnjaka, što čini 82,8% varijabilnosti ( $p<0,001$ ). Širina zubnog luka u delu fronta za III klasu je manja u odnosu na II klasu. Slična konstatacija važi za klasu I u odnosu na klase II i III. Homogenost rezultata koji opisuju oblike zubnog luka po klasama je: 61.1% klasa III, 57.8% klasa II i 52.4% klasa I. Takođe, uticaj pola na oblik zubnog luka, nije se pokazao kao značajan.

Zaključak je da se oblik zubnog luka i njegove dimenzije menjaju od klase do klase. Oblik zubnog luka u gornjoj vilici se značajno razlikovao u zadnjem segmentu zubnog niza, dok su kod donje vilice najveće

promene uočene u prednjem segmentu zubnog niza. Kod pacijenata sa III klasom oblik zubnog luka je lako odrediti, dok je obrnut slučaj sa pacijentima I klase. U istraživanju, izloženom u [47], prikazan je kombinovani metod određivanja zubnog luka superponiranjem u donjoj vilici, korišćenjem dve tehnike – CBCT i 3D modeliranje.

Uzorak na kome je istraživan ovaj problem iznosio je 30 otisaka, a primenjena su dva metoda superponiranja. Pomoću CBCT snimaka praćena je cela struktura zuba (uključujući i koren), a 3D modelom je praćena promena položaja 10 kontaktnih taćaka u ravni zagrićaja, kao i određivana dućina zubnog luka. Konaćni rezultati istraćivanja pokazuju da je ovaj naćin jednostavniji i pouzdaniji za određivanje dućine zubnog luka.

Poređenje taćnosti tro-dimenzionalnih modela, dobijenih intra-oralnim skenerom, 3D digitalnim modelom i konvencionalnim merenjem je prikazano u radu [56]. Istraćivanje je izvršeno na 35 uzoraka/pacijenata, a taćnost je merena preklapanjem 3-dimenzionalnih modela za obe grupe. Statistićka znaćajnost je ocenjena t-testom ( $\alpha=0.05$ ). Dobijena je dućina zubnog luka za 3D modele je: taćnost -  $1.6 \pm 0.6 \mu\text{m}$ , istinitost -  $5.3 \pm 1.1 \mu\text{m}$ . Isti parametri za intra-oralni skener su:  $12.5 \pm 2.5 \mu\text{m}$  i  $20.4 \pm 2.2 \mu\text{m}$ , a za konvencionalno merenje su:  $32.4 \pm 9.6 \mu\text{m}$  i  $58.6 \pm 15.8 \mu\text{m}$ . Za sve ove analize  $p < 0.001$ , je bilo isto. Zakljućak je da 3D modeliranje daje najtaćnije i najistinitije rezultate.

Istraćivanje [79] se odnosilo na merenja na 3D modelima i gipsanim otiscima pacijenta koji je pod ortodontskom terapijom, 7 parametara zubnog luka (širine/rastojanja prvih 6 zuba, levo i desno u gornjoj vilici), na uzorku od 27 pacijenata. Statistićka analiza je uraćena pomoću ANOVA i para t-testa. Rezultati pokazuju da nema statistićki znaćajne razlike izmeću modela za širinu i dubinu zubnog luka, pri ćemu se smanjuje razlika izmeću prednjih i zadnjih zuba sa 2.3 mm na 2 mm. Meću tim za parametar preklopa su dobijene znaćajne statistićeke razlike, što govori o uticaju bravica na 3D modele. Zakljućak je da parametar preklopa treba voditi raćuna i meriti ga ubuduće vodeći raćuna o poloćaju svakog zuba ponaosob.

Najzad, najnovije istraćivanje oblika zubnog luka, prikazano je u [81]. To je studija koja je pratila decu od 14 do 18 godina sa malookluzijom klase III u gornjoj i donjoj vilici. Pomoću t testa je pokazana visoka korelacije izmeću širine molara u donjoj/gornjoj vilici i oblika zubnog luka za istraćivani uzorak od 20 otisaka, pomoću 3D digitalnih modela.

Na kraju ove analize moćemo da zakljućimo da je merenje, analiza i simulacija oblika zubnog luka uz pomoć 3D modela, novi i vrlo moćni alat ortodonta klinićara za njegov rad i istraćivanja.

### 2.3 Treća oblast

*Treća oblast* je izuzetno vaćna za analizu i sintezu zagrićaja i njegovih parametara u oblasti ortodoncije. U ovoj oblasti vršena su sledeća istraćivanja, kako sledi.

Pitanje taćnosti i preciznosti merenja je razmatrano u [4], preko merenja 5 parametara na CMM i 3D digitalnih modela, na 10 modela, uz ponavljanje od tri puta. Korišćen je t-test dve varijable za utvrđivanje statistićeke znaćajnosti. Pouzdanost od 95% je utvrđena kao prag statistićeke znaćajnosti. Dobijeno je da su rezultati taćniji i precizniji na 3D digitalnim modelima.

Jedan od prvih sistematizovanih pregleda primene 3D digitalnih modela u ovoj oblasti je prikazana u [7], gde je detaljno analiziran odnos lekar-pacijent u kontekstu primene nove tehnologije. Istraćivanja prikazana u [8,9], bavila su se ocenom taćnosti i pouzdanosti merenja gipsanih i 3D digitalnih modela prema ABO modelu ortodontskih parametara.

Zakljućeno je da autori nisu našli znaćajnu statistićeku razliku u analiziranim parametrima za oba prilaza, za uobićajeni nivo taćnosti od 0.1 mm. Uzorci na kojima su vršene ove analize su iznosili 30 i 50 otisaka, respektivno. Parametri koji su ovde analizirani su bili: ravnanje zuba, vertikalna pozicija marginalne

ivice, bukolingvalna inklinacija posteriornih zuba, okluzalni odnosi, okluzalni kontakti, incizalni razmak, i međuzubni kontakti.

Za statističke analize, za ove parametre, korišćen je ANOVA test, sa nivoom značajnosti od 0.05%. Gipsani i digitalni modeli imali su dobru korelaciju osim za poravnanje i bukolingvalnu inklinaciju. Jedna od osnovnih prednosti 3D digitalnih modela je merenje ortodontskih parametara, tokom vremena terapije u istom koordinatnom sistemu [10], što omogućava bolju i tačniju ocenu stanja i napretka terapije pacijenta. U ovom slučaju, izazov je bio naći stabilne reference, koje mogu da se koriste kroz vreme. Region palatinalnih ruga predložen je kao stabilni region, pa je za njega bio „vezan” koordinatni sistem.

U [13] je prikazan rezultat sistematske analize od 15 godina – od januara 2000 do novembra 2014, radova koji su se odnosili na ocenu tačnosti, validnosti i pouzdanosti merenja ortodontskih parametara na 3D digitalnim i gipsanim modelima. 35 radova je selektovano kao najviši nivo (svi su obuhvaćeni ovim pregledom literature), naučnih i istraživačkih rezultata u ovoj oblasti. Nema signifikantno značajne razlike u primeni ABO OGS (American Board of Orthodontics Objective Grading System) u svim istraživanjima, što navodi na zaključak da je ABO OGS model opšte prihvaćen.

Drugi važan zaključak je da su rezultati merenja ortodontskih parametara na 3D digitalnim modelima pouzdaniji, tačniji i validniji u odnosu na digitalne modele. Sve ovo govori o tome da će uskoro 3D digitalni model biti zlatni standard ortodontske prakse. Ubrzo će 3D modeli zameniti tehniku gipsanih otisaka [14].

Razvoj različitih modela skenera će isključiti potrebu današnjeg načina uzimanja otisaka. Ova studija se bavi istraživanjem tačnosti 3D modela dobijenih intra-oralnim skenerom i skeniranjem gipsanih otisaka, u odnosu na manuelno merenje gipsanih otisaka. Uzorak je obuhvatio 30 pacijenata/otisaka gornje i donje vilice. Vršena su linearna merenja: širine zuba i dužine zubnog luka, u prostoru. Određena je korelacija između uzoraka/metoda (ICC), a pomoću Bland-Altmanove analize je izvršena grafička prezentacija statističkih rezultata. Dobijen je stepen korelacije (ICC, 0.91-0.99) za 3D digitalni model dobijen skeniranjem intra-oralnog skenera i merenja izvršenih na gipsanom otisku. Za drugu kombinaciju dobijeno je (ICC, 0.65-0.99). Zaključak je da digitalni modeli, dobijeni na oba načina, obezbeđuju odlične dijagnostičke informacije, što govori u prilog konstataciji na početku ovog pasusa.

Analiza ponovljivosti, pouzdanosti i validnosti merenja na digitalnim modelima u poređenju sa gipsanim modelima je prikazana u [17]. Na uzorku od 15 pacijenata, dva istraživača su tri puta merila meziodistalnu širinu svih prisutnih zuba, međuočnjačka, međupremolarna i međumolarna rastojanja, incizalni razmak i incizalni preklap. Dokazano je da su digitalni modeli tačniji a rezultati merenja pouzdaniji u odnosu na gipsane modele i konvencionalno merenje.

Ovo istraživanje [23] se odnosilo na analizu tačnosti, pouzdanosti i ponovljivosti merenja ortodontskih parametara na 3D digitalnim modelima dobijenih skeniranjem gipsanih otisaka i istih modela dobijenih CBCT metodom. Na oba modela mereni su sledeći parametri: meziodistalna širina zuba, širina u predelu oba očnjaka, širina u predelu oba molara, i dužina luka. Uzorak je obuhvatio 27 pacijenata. Studija korelacije za oba metoda je pokazala da su oni uporedivi, ali analiza standardnih devijacija pokazuje signifikantne razlike za prvi gornji desni premolar, prvi gornji levi molar, prvi donji levi premolar, i drugi donji desni premolar, kao i za donju međuočnjačku širinu. Ove razlike su manje od 1%. Takođe je pokazano da su tačnost i pouzdanost oba metoda prihvatljivi, a razlike između metoda klinički prihvatljive.

Istraživanje prikazano u [28], imalo je za cilj da oceni validnost rezultata merenja ortodontskih parametara digitalnih modela dobijenih CBCT, intra-oralnim skenerom, kao i 3D modela dobijenih skeniranjem gipsanih otisaka u odnosu na klasične gipsane modele. Analiziran je skup od 22 pacijenta, na kojima je merena širina zuba i određivan Boltonov odnos, za svaki metod. Validnost dobijenih rezultata je ocenjena t testom, a dobijeno je sledeće: širina zuba izmerena na digitalnim modelima (CBCT, intra-oralni skener), nije značajno signifikantna u odnosu na gipsani model,  $p > 0.05$ , za razliku od 3D digitalnog

modela, gde je dobijeno obrnuto, sa najvećom razlikom u rezultatu od 1.5mm, što je signifikantno za klinička istraživanja. Boltonov odnos za prednje/zadnje zube pokazuje signifikantnost digitalnih modela (sva tri tipa) u odnosu na gipsani otisak. Vreme skeniranja intra-oralnim skenerom je povećalo signifikantnost kod digitalnih modela, tako da se može zaključiti da digitalni modeli (sva tri tipa), obezbeđuju validne, pouzdane i ponovljive rezultate, koji ispunjavaju ortodonske zahteve.

Ocena tačnosti i pouzdanosti rezultata merenja palatinalnog preklapanja i pomeranja zuba, na digitalnim modelima, izloženo je u [37]. Površina nepca je bila osnova za merenja pomeranja zuba. Skup je obuhvatio 20 otisaka gornje vilice. Levi i desni očnjaci, premolari i molari su odstranjeni ispod marginalne gingive, a zatim skeniranjem formirani 3D digitalni modeli. Nakon ovoga izvršeno je preklapanje ovih modela (sa/bez zuba), a pokazano je pomoću t-testa da postoje značajne razlike između ovih modela. Analiza pokazuje da pomeranja prednjih i zadnjih zuba u pravcu sve tri ose koordinatnog sistema (x,y,z), za oba modela nema značajne razlike, ali postoji visok stepen korelacije dobijenih rezultata između gipsanih i digitalnih modela. Ovo znači da palatinalna površina obezbeđuje tačne i pouzdane rezultate merenja, ali bi sve ovo trebalo potvrditi studijom sa dužim vremenskim periodom, da bi ovaj prilaz postao dobra ortodonska praksa.

Jedno od posebno važnih pitanja u 3D modeliranju je metrološka validacija merenja, što je dato u [41]. Cilj ovog istraživanja je bio da se razvije model za ortodonciju, posebno za slobodne forme oblika zuba. Na primeru zubnog niza za donju vilicu je pokazano da je moguće razviti ovaj model sa vrednošću standardne devijacije od 0.0154mm, što za uslove kliničkih ispitivanja u ovoj oblasti predstavlja zadovoljavajuću vrednost.

Istraživanje tačnosti merenja na digitalnim modelima (3D skeniranje, CBCT) i konvencionalnog modela, na 60 otisaka je prikazano u [42]. Definisano je 8 parametara, koji su se odnosili na meziodistalnu širinu zuba na donjoj/gornjoj vilici, širina i dužina luka. Primenjena je deskriptivna statistika kao i korelaciona analiza, koja iznosi 0.808. Srednja vrednost razlika rezultata merenja na oba modela se kreće u intervalu od 0.38 do 0.59mm. Konačno, rezultati pokazuju da 3D digitalni modeli imaju najveći stepen tačnosti u odnosu na CBCT i klasične modele, što ih kvalifikuje za kliničku primenu.

Studija prikazana u [45], imala je za cilj da uporedi tačnost dva digitalna metoda (CBCT i 3D model), i utvrdi koji je od njih tačniji, a radi primene u dijagnozi i planiranju u ortodonciji. Istraženo je 30 modela, na kojima je mereno sedam parametara, a njihovi rezultati su analizirani Bland Altman-ovim modelom. Srednja vrednost razlika merenja za gornju vilicu je iznosila od 0.44 do 0.57mm za ove modele, sa  $p < 0.001$ . Interval pouzdanosti sa verovatnoćom od 95%, iznosi od 0.12 do 0.14mm. Ovi rezultati nisu statistički značajni za izvršena merenja. Primenom Bland Altman-ove analize dobijamo da se za gornju vilicu razlika srednjih vrednosti kreće u intervalu od 0.01 do 1.21mm. Ovi rezultati govore da je tačnost merenja veća kod CBCT modela u odnosu na 3D modele, što povećava i tačnost dijagnoze ove metode.

Istraživanje validnosti, ponovljivosti i pouzdanosti merenja 3D modela, prikazana je u [46]. 50 gipsanih modela je skenirano, dva ispitivača su tri puta merili: meziodistalnu širinu svih zuba, međuočnjačko rastojanje, međupremolarno rastojanje, međumolarno rastojanje, incizalni razmak, incizalni preklap. Gipsani modeli su mereni digitalnim pomičnim merilom. Primenom t-Student-ovog testa utvrđena je korelacija između: u okviru istog ispitivača -  $0.84 \pm 0.15\text{mm}$ , između ispitivača -  $0.80 \pm 0.19\text{mm}$ . Srednja vrednost razlika u rezultatima merenja između modela je bila  $0.23 \pm 0.14\text{mm}$ , a između ispitivača  $0.24 \pm 0.11\text{mm}$ . Ako poredimo dobijene rezultate između modela (digitalni/gipsani), dobićemo da su razlike između njih statistički beznačajne, sa  $p < 0.05$ , što iznosi  $< 0.1\text{mm}$ . Konačni zaključak je, digitalni modeli su pogodni za kliničku upotrebu.

U [48] je istraživao odnos između molarnih rastojanja i kontakata zuba u zagrižaju iz bukalne i lingvalne perspektive, primenom 3D modela, za klase I i II odnosa molara. Uzorak je obuhvatio 132 para gipsanih odlivaka, koji su posmatrani sa 380 strana (bukalna i lingvalna perspektiva), klasifikovanih prema Liu i Melsen-u. Oblik i vrsta kontakata zuba u zagrižaju je praćena pomoću 3D digitalnih modela. Iz lingvalne perspektive je posmatran odnos kvržica gornjih zuba i centralne fisure donjih zuba, što sa bukalne strane,

u najvećem broju slučajeva spada u klasu I (89.9%) i klasu II (86.7%). Međutim u slučaju klase II imamo odnos lingvalne kvržice i mezijalne fose ili marginalne ivice. Srednja vrednost kontaktne površine je slična za klasu I i klasu II, ali klasa II ima značajno manju vrednost ( $p < 0.05$ ).

Korišćenje 3D modela u validaciji preklapanja preko nepca, praćenjem ortodontske terapije gornje vilice, je prikazano u radu [49]. Uzorak za ova istraživanja je iznosio 30 pacijenata/otisaka. Digitalni modeli su preklapani preko referentne površine nepca. Praćeno je pomeranje centralnog sekutića gornje vilice u odnosu na prvi molar, pomoću dva metoda: 3D snimka i 3D modela. Izračunati su parametri: korelacija ovih metoda i vršena je Bland-Altman-ova analiza. Ova dva metoda su imala vrlo veliki stepen korelacije: u antero-posteriornom pravcu – 0.956 za centralni sekutić, a 0.941 za prvi molar. U vertikalnom pravcu, ovi parametri su bili: 0.748 i 0.717, respektivno. Ovi rezultati pokazuju da je 3D model, klinički pouzdan način za ocenu preklapanja u antero-posteriornom pravcu, kada se u ortodontskoj terapiji koriste aparat za brzo širenje gornje vilice.

U studiji [59] je prikazana analiza pouzdanosti i validnosti ortodontskih parametara, merenih na digitalnim i konvencionalnim modelima. Uzorak je bio 80 pacijenata, slučajno izabranih, a mereni su sledeći parametri: širina zuba, incizalni razmak/preklop, međumolarno rastojanje i međuočnjačko rastojanje. Istraživanje validnosti je vršeno poređenjem rezultata virtuelnog i gipsanog modela. Test pouzdanosti rezultata je izvršen, ponovnim merenjem 10 virtuelnih modela, nedelju dana kasnije. Izračunate su i ocenjene srednje i standardizovane vrednosti razlika merenih parametara na oba modela. Korelacionom analizom je određen koeficijent korelacije – ICC. Test pouzdanosti za virtuelne modele, za sve ortodontske parametre je bio prihvatljiv ( $ICC > 0.7$ ). Takođe, kriterijum validnosti je pokazao dobro slaganje rezultata između gipsanih i virtuelnih modela ( $ICC > 0.8$ ). Konačno, ovo pokazuje da su virtuelni modeli validniji u odnosu na gipsane, što je još jedan argument primeni 3D modeliranja u ortodontiji.

U [60] su prikazani rezultati studije ocene tačnosti merenja između gipsanih i digitalnih modela u slučajevima ekstrakcije, mereći različite okluzalne parametre i primenom ABO objektivnog sistema ocene (širina luka, dužina luka, prečnik luka, incizalni preklop i razmak), na uzorku od 24 pacijenta. Digitalni modeli su rezultirali manjim prečnikom zubnog luka u odnosu na gipsane modele za 2,20 mm u gornjem luku ( $P < 0,01$ ) i 1,30 mm u donjem zubnom luku ( $p < 0,05$ ). Digitalni modeli su pokazali značajno manje vrednosti za incizalni razmak i incizalni preklop ( $p < 0,01$ ). Digitalni modeli imaju veću tendenciju prema mezijalnoj inklinaciji prednjih zuba, labijalnoj inklinaciji gornjih prednjih zuba ( $p < 0,05$ ) i distalnoj rotaciji donjih zuba ( $p < 0,05$ ). Rezultati ABO analiza su pokazali veću razliku za incizalni razmak, okluzalni kontakt, i ukupni rezultat ( $p < 0,01$ ) je bolji za digitalne nego za gipsane kompletne modele. Zaključak je da su rezultati približno isti za merenja na oba tipa otisaka, parametara koji se odnose na zubni luk, dok su digitalni modeli dali tačnije rezultate za okluzalne kontakte (razmak i preklop).

Rezultati istraživanja dati u [61], odnosili su se na ocenu ponovljivosti i tačnosti linearnih merenja na dva tipa modela – CBCT i digitalni modeli. Uzorak je obuhvatio 10 pacijenata, a 4 istraživača su 10 puta ponovili merenja ukupno 37 linearnih parametara. T test je pokazao da su merenja na CBCT modelima (rang razlika je iznosio od -0,4 do 1,65 mm ) imala manji koeficijent korelacije parametara kao i ponovljivost rezultata merenja u odnosu na digitalne modele (rang razlika je iznosio od 0,42 do 0,84 mm). Zaključak je da su pronađene značajne statističke razlike rezultata merenja na CBCT i digitalnim modelima, što ove poslednje čini tačnijim metodom za analizu ortodontskih parametara.

Istraživanje pouzdanosti rezultata merenja na 3D digitalnim modelima, prikazana je u [62]. Šest kliničara je uradilo merenja na šest digitalnih modela, dva puta, sa minimalnim intervalom od dve nedelje i maksimalnim intervalom od četiri nedelje. Korišćen je softver OrthoCAD-a, a ciljevi su postavljeni prema pravilima ABO modela. Razlike između 72 merenja su pokazala sledeće: apsolutne razlike u ukupnom ABO rezultatu varirale su statistički značajno između 2,17 i 6,00 poena za grupu 1 i grupu 2. Unutar svake grupe, apsolutna razlika varirala je statistički značajno između 4,77 i 5,56 poena. Svi su, sem parametara korelacije pokazali odlično slaganje za svaku grupu posebno, sa pouzdanošću ( $ICC > 0,08$ ).

Vrednost ukupne korelacije (za obe grupe) je bila neznačajna i pokazala je umereno (ICC 0,4-0,6) slaganje. Na kraju, postoji značajna razlika u ABO rezultatu (za grupu ili pojedinačno) kada se koristi OrthoCAD. Iako je ova razlika bila mala, može biti klinički značajna. Konačno, ipak parametri pouzdanosti su zadovoljavajući za opštu upotrebu 3D digitalnih modela.

Istraživanja prikazana u [64] su se odnosila na ocenu pouzdanosti rezultata linearnih merenja ortodontskih parametara na 3D digitalnim i gipsanim modelima, na uzorku od 26 slučajno izabranih pacijenata. Korišćen je 3Shape skener a analiza je vršena pomoću Ortho Analyser. Mereni su sledeći parametri: meziodistalna dimenzija zuba, obim luka, međuočnjačko i međumolarno rastojanje u gornjoj i donjoj vilici izmerena su na gipsanim modelima, digitalnim otiscima i digitalnim modelima. Merenja su izvođena tri puta, sa nedeljom dana razmaka između merenja. Podaci su obrađeni statistički tako da je određena korelacija dobijenih rezultata po ponovljenim merenjima, a ANOVA testom su analizirane razlike u rezultatima merenja između 3D digitalnih modela i gipsanih modela. Dobijeni rezultati pokazuju ( $p < 0,05$ ) da postoje značajne statističke razlike između 3D digitalnih i gipsanih modela za sledeće parametre: bočni zubi, prednji zubi, obim gornjeg zubnog niza, i međuočnjačko rastojanje u donjoj vilici, ali one nisu klinički značajne. Konačno, digitalni modeli obezbeđuju pouzdane i klinički pouzdane rezultate ortodontskih parametara za: širinu zuba, obime zubnih lukova, međuočnjačka i međumolarna rastojanja.

Jedna specifična oblast istraživanja je prikazana u [65]. Pomoću 3D modela istraživana je varijabilnost merenja parametara pomoću kojih se određuje ukupni Little-ov indeks neregularnosti luka gornje vilice. Uzorak je obuhvatio deset pacijenata, kod kojih je na početku ortodontske terapije određene kontaktne tačke, i dužina luka gornje vilice, kao i rastojanja između prednjih zuba ove vilice. To su uradila četiri nezavisna istraživača, lekara. Nakon toga primenom ANOVA softvera izvršena je statistička obrada podataka, a dobijeni su sledeći rezultati: ostvaren je visok stepen korelacije između istraživača, merenjem navedenih parametara, a kontaktne tačke su bile u intervalu do 2 mm. Koeficijent varijacije (CoV), na digitalnim modelima je takođe zadovoljavajući, jer su razlike nađene na 20% izmerenih tačaka, kojih je bilo 600. Zaključak je da digitalni model daje manji stepen varijacije izmerenih rezultata u odnosu na konvencionalni metod merenja, za Little-ov indeks neregularnosti.

U poslednjoj dekadi došlo je do ubrzane primene 3D modela dobijenih skeniranjem u ortodontiji [66], za dijagnozu stanja, planiranje terapije i ocenu stanja. U ovom istraživanju je vršena analiza otisaka 25 pacijenata, njihovih vilica, a merena je meziodistalna širina zuba od prvog molara sa desne strane do prvog molara sa leve strane, obe vilice. Ova merenja su izvodila tri nezavisna istraživača, na 3D modelima kao i na gipsanim otiscima. Korišćen je Bland-Altman-ov model za statističku analizu, a određivan je nivo validnosti rezultata oba metoda, standardna devijacija i ponovljivost merenja. Dobijeni rezultati pokazuju da za svaki pojedinačni parametar nema statistički značajne razlike između 3D i manualnog modela merenja. Rezultati se ponašaju po normalnom zakonu raspodele, sa verovatnoćom od 95%, a svi rezultati, za oba metoda se nalaze u intervalu od +0.499 do -0.545 mm. Standardna devijacija za ponovljivost merenja iznosi za 3D model 0.033 mm, a za manualni metod 0.21 mm. Zaključak je da se pomoću 3D modela dobijaju tačniji rezultati, a i vreme merenja meziodistalnih širina je kraće za ovaj model. 3D modeli postaju sve više alternativa konvencionalnim otiscima za ortodontske analize [68].

U ovom istraživanju je analiza ponovljivosti merenja na digitalnim i konvencionalnim modelima. Uzorak je obuhvatio 20 modela mešovite denticije, na kojima su dva istraživača, po dva puta vršila merenje sledećih parametara: rotacija sekutića, ugao i nepravilnosti, širina zubnog luka, obim luka, preklap i razmak. Standardna devijacija i koeficijent varijacije su korišćene za ocenu ponovljivosti merenja. Aritmetička sredina razlika između metoda i istraživača, korelacija između aritmetičkih sredina razlika sa nivoom od 95% je korišćena za istraživanje sistemске greške. 3D digitalni model ima manje varijacije rezultata merenja u odnosu na konvencionalnu tehniku, poredeći istraživače. Linearni ortodontski parametri (širina luka, preklap i razmak) ne pokazuju jasne trendove u oblasti ponovljivosti merenja između ova dva metoda. Globalno, istraživač 1 ima manje varijacije svojih rezultata u odnosu na istraživača 2, ali obe grupe parametara (uglovni, linearni), sa nivoom od 95% imaju dobru saglasnost

rezultata u odnosu na koeficijent varijacije. Konačno 3D tehnika ima bolju ponovljivost merenja u odnosu na konvencionalni metod, ali su oba prihvatljiva za klinička istraživanja.

U [70] je prikazana studija u kojoj su dati rezultati poređenja tačnosti i efektivnosti konvencionalnih i 3D digitalnih modela. Uzorak je obuhvatio 20 ortodontskih pacijenata sa mešovitom denticijom, a merenja su izvela dva istraživača, tri puta u razmacima od po tri dana. Podaci su statistički obrađeni koristeći mešovite modele. Mereno je ukupno 6 različitih ortodontskih parametara, a sedmi je bio vreme merenja. Dobijeno je da postoje statistički značajne razlike za svih 28 zuba ( $P < 0.001$ ), međumolarnu širinu u donjoj vilici (IMW,  $P = 0.0453$ ), i incizalni razmak ( $P < 0.001$  to  $P = 0.0329$ ). Merenja u odnosu na pojedinačne zube pokazuju veće vrednosti za standardnu devijaciju, koja se kreće između 0.06 i 1.33 mm. Za 3D model smo dobili da su signifikantni sledeći ortodontski parametri: intermolarna širina i incizalni preklap. Vreme merenja, kao sedmi parametar je kraće za 3D model. Zaključak je da je 3D model adekvatniji, pouzdaniji i efektivniji za primenu u svakodnevnoj ortodontskoj praksi.

Studija [71], prikazuje istraživanje pouzdanosti i validnosti merenja ortodontskih parametara na 3D digitalnim i konvencionalnim modelima. Uzorak je obuhvatio 20 pari otisaka donje i gornje vilice, a mereni su sledeći parametri: meziodistalna širina krunice zuba, incizalni razmak, incizalni preklap, neslaganje sredine, međuočnjačko i međumolarno rastojanje u gornjoj vilici, i pomerenost tačke kontakta gornjih sekutića za Little-ov indeks neregularnosti. Merenja su izvedena dva puta, sa ponavljanjem, a statistički je analizirana pouzdanost dobijenih rezultata na bazi koeficijenta korelacije klasa (ICC). Validnost rezultata merenja na 3D modelima i gipsanim otiscima je izvršena na osnovu aritmetičkih sredina razlika sa nivom verovatnoće od 95% (Bland–Altman metod). Statistička značajnost ovih razlika je proverena za oba metoda pomoću t testa. Značajne razlike su nađene od 16 do 24 zuba za parametar – širina zuba, a za parametar – rastojanje kontaktnih tačaka, ove razlike su značajne za zube od 2 do 5, kao i za prednji segment u donjoj vilici, za incizalni preklap, za međumolarno rastojanje u gornjoj vilici, za Little-ov indeks nepravilnosti, i za suma indeks širina gornjih i donjih sekutića. Ako se analiziraju oba metoda posebno, onda se može zaključiti da ove razlike nisu značajne za 3D model, što govori o njegovoj većoj tačnosti i budućnosti primene ovog prilaza.

U studiji [75] je prikazano istraživanje ponovljivosti merenja na 3D digitalnim modelima preko karakterističnih tačaka na morfologiji zuba i rastojanja između njih. Uzorak je obuhvatio 15 otisaka, a defisane anatomske tačke se bile: vrhovi kvržica na očnjacima, bukalne i palatinalne kvržice na prvim i drugim premolarima i bukalne i palatinalne kvržice na prvim i drugim molarima. Za sve njih su merena korespondentna rastojanja između njih. Konvencionalni metod merenja je izveden pomoću pomičnog merila tačnosti 0.1mm. Statistička analiza je obuhvatila određivanje korelacije i Friedman-ovu neparametarsku analizu varijansi (ANOVA). Dobijeno je da 5 linearnih veličina od 9 ima statistički značajne razlike između digitalnog i konvencionalnog modela za ( $p = 0.05$ ), što je klinički relevantno. Tačnost i pouzdanost merenja je veća kod digitalnih modela. Zaključak je da je budućnost primene 3D digitalnih modela sasvim izvesna.

Ova studija [77], se bavila tačnošću i ponovljivošću merenja na 3D digitalnim modelima u odnosu na konvencionalni metod (gipsani otisak i pomično merilo). Uzorak je imao 5 primeraka otiska gornje vilice, a mereni su ortodontski parametri u odnosu na sledeće zube: prvi i drugi molar desno, drugi premolar, levi gornji centralni sekutić, levi gornji sekutić i levi prvi molar. Rezultati merenja u odnosu na tačnost pokazuju da nema statistički značajnih razlika između 3D digitalnih i konvencionalnih modela, za ( $P > .05$ ). Takođe je dobijen isti rezultat i za svaki pojedinačni zub posebno za ( $P > .05$ ). Međutim, kada je u pitanju ponovljivost merenja, nađene su statistički značajne razlike a za ( $P < 0.001$ ).

Zaključak je da su 3D modeli tačniji i imaju bolju ponovljivost merenja u odnosu na konvencionalne modele.



## 2.4 Četvrta oblast

Najzad, *četvrta oblast*, uslovno govoreći, obuhvata sve tri prethodne, jer samo uz 3D digitalne modele, a korišćenjem sofvera opšte ili specijane namene, mogu se vršiti analize pomeranja zuba u vilici u prostoru, dakle u sve tri ortodontske ravni, kako svakog zuba pojedinačno, tako i ukupnog zubnog niza. Pored toga ovim analizama prethodi planiranje ortodontske terapije, a one se takođe koriste i za njeno praćenje. Iz ovih razloga, istraživanja, izložena u ovoj tezi se upravo odnose na ovu oblast. Rezultati izloženi u analiziranim radovima u svetu su dati kako sledi.

U [2] je data komparacija planiranih terapija, određenih na gipsanim modelima i 3D digitalnim modelima, na uzorku od 30 pacijenata, od kojih su uzeta po dva otiska. Dobijeno je da se 55% ovih terapija poklapa, što predstavlja zadovoljavajući nivo, imajući u vidu godinu izvršenih istraživanja – 2005. U ovim analizama je korišćen Chi-square test, sa nivoom značajnosti od  $p=0,05$ , a rezultati su pokazali da je 12,8% dijagnostičkih karakteristika, 12% mehaničkih procedura terapije, i 6% predloženih planova terapije bilo promenjeno.

ABO je za potrebe OrtoCAD-a [3] razvio 7 kriterijuma za analizu modela koristeći njihove digitalne studijske modele, koji su pružili objektivne rezultate merenja ortodontske terapije, pomoću testova analize pouzdanosti, poređenja dva metoda (ručno vs digitalno). Svrhe ove studije bile su da utvrdi da li objektivni sistem ocenjivanja ABO, može postići tačnost za digitalne modele, i da li postoje statistički značajne razlike između digitalnih i gipsanih modela u ocenjivanju ABO. Izabrano je i skenirano 30 post-terapijskih gipsanih modela, a pomoću OrthoCAD-a dobijeno je 30 odgovarajućih digitalnih modela. Gipsani i digitalni modeli bili su upoređeni korišćenjem kriterijuma ABO, a korišćena je parametarska statistička analiza. Wilcoxonov test za uzorke pokazao je značajne razlike između gipsanih i digitalnih modela za okluzalne kontakte, okluzalne odnose, i ukupan rezultat ( $p<0,05$ ). Statistički značajna razlika nije pronađena za poravnanje, marginalne ivice, incizalni razmak, i međuzubne kontakte. Bukolingvalna inklinacija nije bila uključena u ovu studiju zbog nemogućnosti izvođenja pravilnih merenja za OrthoCAD program. Glavne razlike u tačkama oduzete od ranga 0,03 poena za marginalnu ivicu i 5,07 poena za ukupan rezultat. Promenljiva sa najviše tačaka oduzetih pripadala je okluzalnim odnosima, a najmanje tačaka bilo je oduzeto za međuzubne kontakte. Na osnovu ove studije, trenutni OrthoCAD program (verzija 2.2) nije bio odgovarajući za ocenu svih parametara koje zahteva ABO.

Jedan od važnih aspekata razvoja 3D digitalnih modela je njihovo generisanje od 3D oblaka tačaka, što je istraživano u [5], gde je pokazano da generisanje mreže trouglova daje najtačnije rezultate.

Jedan od prilaza je i 3D simulacija pomeranja zuba u ortodonciji [15]. Prikazan je numerički model simulacije položaja centralnog incizora, koji se može koristiti u analizi ortodontskih stanja u toku same terapije.

U studiji [21] je prikazano istraživanje, koje je obuhvatilo poređenje tri metoda generisanja i analize otisaka na uzorku od 24 pacijenta (po 12 muškaraca/žena), i to: gipsani otisak donje/gornje vilice, njegov 3D digitalni model i takođe 3D model dobijen intra-oralnom kamerom. Korišćenjem Wilcoxon Rank testa, sa  $p<0.05$ , dobijeno je da su 3D digitalni modeli, mnogo komforniji za pacijenta, kao i da skraćuju vreme postavljanja dijagnoze u odnosu na klasične, gipsane otiske.

Jedna sveobuhvatna analiza je prikazana u [22], kada je u 809 radova iz PubMed baze, istraživani klinički scenario (donošenje odluka u planiranju i praćenju stanja ortodontske terapije), korišćenjem QUADAS metodologije. Dobijeni rezultati pokazuju sledeće: između 73% do 83% kliničkih scenarija, urađenih pomoću 3D digitalnih modela nije menjano, ili je vrlo malo menjano. Između 13% do 22% kliničkih scenarija je menjano, kao posledica dodatnih hirurških zahvata, dok je manje od 6% menjano kod pacijenata koji imaju malokluziju klase 2. Na ovaj način je pokazana prednost 3D digitalnih modela u odnosu na konvencionalne otiske.

Istraživanje pomeranja zuba u odnosu na palatinalnu ravan je prikazano u [23]. Uzorak je bio 20 pacijenata, od čijih otisaka je generisan 3D model, a onda prema ABO pravilima postavljen koordinatni

sistem. Isto je ponovljeno za 1 mesec, pa je mereno pomeranje levog i desnog sekutića, premolara i molara u odnosu na palatinalnu ravan. Pomoću t testa je utvrđeno da postoji velika korelacija između dobijenih rezultata merenja na obe vrste modela, ali se pokazuje da u odnosu na palatinalnu ravan, 3D model daje tačnije i pouzdanije rezultate merenja, što ovoj ravni daje posebnu ulogu, ali autori zaključuju da ih ipak treba potvrditi mnogo obimnijom studijom.

U studiji [25], autori su istraživali pouzdanost mernih rezultata promene položaja gornjeg prvog molara, korišćenjem 3D digitalnih modela. Uzorak je obuhvatio 20 pacijenata, II klase, pri čemu su merene promene položaja u prostoru (translacija, rotacija). Pokazano je da 3D modeli obezbeđuju pouzdane i tačne rezultate ovih merenja u odnosu na konvencionalne metode.

Analiza MEDLANE baze je obuhvatila 248 radova [27], a cilj je bio da se oceni validnost dobijenih rezultata korišćenjem 3D modela u odnosu na gipsane modele mereći: veličinu zuba, dužinu luka, indeksa nepravilnosti, širine zubnog luka i teskobe. Sva merenja su bila linearnog i uglovnog karaktera. Dobijeni rezultati su pokazali da digitalni modeli imaju visok nivo validnosti u odnosu na gipsane modele, što znači da oni postaju "zlatni" standard u kliničkoj ortodontskoj praksi. Analiza studijskih modela (ASM), je ključni proces za dijagnozu i planiranje terapije u ortodontiji.

Istraživanje prikazano u [35], je dalo sistemski pregled literature/radova, koji su se odnosili na ocenjivanje pouzdanosti i validnosti linearnih merenja na 3D digitalnim i gipsanim studijskim modelima. U PubMed bazi je pronađeno 246 radova, ali je na bazi naknadno definisanih kriterijuma, konačno izabrano 17 radova. Virtuelni modeli (3D skenirani i CBCT) su analizirani sa aspekta broja veličina (ortopedskih parametara), koji su na njima mereni. Dobijeni rezultati pokazuju sledeće: što se broj ortodontskih parametara povećava, smanjuje se validnost i pouzdanost rezultata merenja, idući od 3D modela ka gipsanim modelima, što u krajnjem ishodu znači da su ovi modeli (3D), klinički prihvatljivi za izabrana linearna merenja.

Istraživanje tačnosti merenja na 3D digitalnim modelima u zavisnosti od različitog vremena skeniranja alginatnih otisaka, pomoću kojih su izliveni gipsani modeli posle 1, 2, 3 i 4 dana, respektivno, prikazano je u [38]. Napravljeno je 105 otisaka od tri različite vrste alginata, a urađen je 21 gipsani model za svaki slučaj. Na gipsanim i digitalnim modelima je definisano 5 linearnih ortodontskih parametara, koji su mereni od strane tri istraživača. Na oba modela, dobijeni rezultati su pokazali visok stepen korelacije, ali su uočena značajna odstupanja, statistički značajna, od prvog do četvrtog dana. 3D modeli, ovo istraživanje pokazuje, vrlo brzo će biti standard u ortodontskoj kliničkoj praksi, ali se pokazalo da najveće deformacije nastaju posle četvrtog dana, na otisku od alginata, koje su statistički značajne. Sa druge strane njihova vrednost najvećeg odstupanja nisu klinički relevantna za korišćenje digitalnih modela.

Jedno istraživanje ocene tačnosti dijagnoze, primenom različitih digitalnih modela (3D skeniranje, CBCT, emodel) i gipsanih modela, je dato u [40]. Merena je dužina luka i određena razlika u svim merenjima, na svim modelima. Takođe je na digitalnim modelima vršeno preklapanje, a analiza je vršena korišćenjem best-fit algoritma. Srednje vrednosti grešaka merenja između digitalnih modela i oblika površina je korelirano sa različitim vrstama tolerancija, korišćenjem Tukey testa. Sva tri digitalna modela imaju visok stepen korelacije sa gipsanim modelom, 0.95. Rasipanje vrednosti dužine luka između digitalnih i konvencionalnog modela, kreće se u intervalu od 0.24 do 0.67mm. Što se korelacija i grešaka površina tiče, one se nalaze u intervalu od 0.13 do 0,14mm, za gornju, odnosno donju vilicu. Dakle, možemo da zaključimo da digitalni modeli obezbeđuju pouzdanije dijagnostičke informacije u odnosu na konvencionalne modele.

Istraživanje dimenzione stabilnost za 4 vrste otisnih materijala, pomoću 3D digitalnih modela i gipsanog modela je prikazano u [43]. Po 50 otisaka je uzeto za svaki materijal, u četiri vremenske tačke: 0, 72, 120 sati, kao i 1 nedelja. Merenja su vršena anteriorposteriorno u transverzalnoj i vertikalnoj ravni. Statistički značajna odstupanja u rezultatima, nastaju od 72 sata pa nadalje, ali su ove razlike minimalne kod 3D digitalnih modela. Zaključak je, da se ne preporučuje korišćenje otisaka, posle 72 sata od njihovog uzimanja, za sve četiri vrste otisnih materijala.

Danas ima više razvijenih sistema za 3D modeliranje u ortodonciji, a četiri od njih su predmet istraživanja, prikazanog u [44]. Njihova analiza je izvršena sa aspekata servisa (pomoći korisniku), karakteristika i jednostavnosti korišćenja. To su bili: Cadent, OthoLab, OrthoProof i 3 Shape. Ocenjivanje su vršili eksperti, tim od njih 16, a dobijeni su sledeći rezultati: servis je zadovoljavajući za svaki sistem. Što se karakteristika tiče, svi sistemi obezbeđuju osnovna merenja, ali ne obezbeđuju određivanje PAR indeksa, analizu ABO parametara, simulaciju tretmana sa bravicama i digitalnu artikulaciju. Neki od njih imaju dobra uputstva za korišćenje. Uopšteno govoreći svi sistemi imaju nedostatke, koji otežavaju njihovo korišćenje, naročito početnicima.

Osnovni cilj ortodontske dijagnoze i terapije je definisanje plana lečenja, na osnovu početnog stanja i definisanog cilja lečenja [52]. Tačnost modela (2 i 3D), su ključni elementi za napred navedene elemente, jer oni što tačnije treba da predstavljaju anatomiju pacijenta. Iz ovih razloga, 3D modeliranje je jedan od najvažnijih tehnika modeliranja, koja se danas koristi za ove namene.

Istraživanje, izloženo u [58], se bavilo varijantama planiranja ortodontske terapije, primenom različitih 3-dimenzionih modela (studijskih modela (konvencionalnih, 3D), bočnih cefalograma, x-Ray snimaka, intra-oralni skener). Uzorak je iznosio 20 pacijenata, sa otiscima za donju/gornju vilicu, pri čemu je njih 10 bilo klase II. Uzorke je analiziralo 11 lekara, svaki po dva puta. Dobijeno je sledeće: za digitalno/konvencionalnu grupu - najbolje rešenje je operacija ( $P=1.00$ ,  $k= 0.549$ ), ekstrakcija zuba ( $P=0.360$ ,  $k= 0.570$ ), i ortodontski aparat ( $P= 1.00$ ,  $k= 0.539$ ); za konvencionalno / konvencionalnu grupu - najbolje rešenje je operacija ( $P=1.00$ ,  $k= 0.671$ ), ekstrakcija zuba ( $P=1.00$ ,  $k= 0.626$ ), i ortodontski aparat ( $P= 0.791$ ,  $k= 0.672$ ). Ako posmatramo ukupni uzorak, onda se proporcija slaganja kreće za digitalni/konvencionalni model od 0.777 do 0.870, i od 0.818 do 0.873 za konvencionalni/konvencionalni model. Zaključak je da nema statistički značajne razlike u planiranju ortodontske terapije za klasu II, između digitalnih i konvencionalnih modela, što znači da su digitalni modeli validna alternativa konvencionalnim modelima, za planiranje ortodontske terapije.

Jedan primer analize završene ortodontske terapije prikazan je u [63]. Ova studija je poredila oblasti okluzalnih kontakata idealno planiranih i konačno ostvarenih Klase 1 i Klase 2 molara. Istraživanje je izvršeno za 41 post-ortodontsko tretirani slučaj; od kojih je 22 klinički dijagnostikovano kao Klasa 1 i ostatak je bio Klasa 2. Slučajevi Klase 1 imali su sva četiri premolara ekstrahirana, dok su slučajevi Klase 2 imali ekstrahirane gornje prve premolare. Oblasti okluzalnih kontakata bili su mereni korišćenjem trodimenzionalnog skenera i RapidForm 2014. Za poređenje vrednosti između dve grupe korišćen je nezavisni t-test. Analize varijansi ponovnih merenja bile su korišćene za poređenje početnih i finalnih modela. Molari iz grupe sa Klasom 1 po završetku terapije merenjem su pokazali značajno veće oblasti kontakata od onih sa Klasom 2 po završetku terapije ( $p<0,05$ ). Konačni model u Klasi 1 je pokazao značajno veće oblasti kontakata u predelu drugih molara ( $p<0,05$ ). Prvi molari u završenoj Klasi 1 konačnog modela su pokazali tendenciju da imaju veće oblasti kontakata nego oni kod završnih modela Klase 2, iako ta razlika nije smatrana statistički značajnom ( $p=0,078$ ). Zaključak je da je posteriorni okluzalni kontakt bio bolji u završnoj Klasi 1 nego u Klasi 2. Kod konačnih modela, završna Klasa 1 pokazuje tendenciju širih oblasti okluzalnih kontakata nego završna Klasa 2.

Cilj istraživanja prikazanih u [69] bio je da se uporedi Indeks kompleksnosti (ICON), tako što će se njegovi parametri meriti na konvencionalnim modelima i njihovim 3D modelima. Uzorak je obuhvatio 30 slučajno izabranih pacijenata: 30 pre-(T0) i 30 posle-(T1) ortodontskog tretmana. Merenja su vršila dva istraživača, a ukupni ICON indeks je ocenjivan sa aspekta pouzdanosti i ponovljivosti rezultata, korišćenjem kappa statistike i koeficijentata pouzdanosti. Vrednost pouzdanosti ukupnog indeksa ICON za grupu T0 je imao visoku vrednost - (između 0.83 – 0.95), dok je za grupu T1 on iznosio (između 0.55 – 0.85). Razlike u ovom parametru za konvencionalni i 3D model nisu statistički značajni, (P vrednost se nalazi u intervalu od 0.07 do 0.19).

Konačno, sve činjenice govore da su rezultati dobijeni na 3D modelima, tačniji i pouzdaniji u odnosu na konvencionalne modele. Ovo znači da će uskoro 3D digitalni model biti zlatni standard ortodontske prakse.

## Literatura

- [1]. Mullen R., Martin C., Ngan P., Gladwind M., Accuracy of space analysis with emodels and plaster models, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, Volume 132, Number 3, pages 346-352, doi:10.1016/j.ajodo.2007.08.044.
- [2]. Rheude R., Sadowsky L., Ferriera A., Jacobson A., An Evaluation of the Use of Digital Study Models in Orthodontic Diagnosis and Treatment Planning, *Angle Orthodontist*, Vol 75, No3, pp. 300-304, 2005.
- [3]. Okunami R., Kusnoto B., BeGole E., Evans C.A., Sadowsky C., Fadavi S., Assessing the American Board of Orthodontics objective grading system: Digital vs dental casts, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, January 2007, 51-56, doi:10.1016/j.ajodo.2005.04.042.
- [4]. Sung K., Assessing the measurement accuracy of digital models made from two different scanning processes, <http://creativity.3m.co.kr/Unitek/other/down/Measurement-Accuracy-of-Digital-Models.pdf> (pristupano juna 2017)
- [5]. Giannoukos I., Anagnostopoulos C., Kayafas E., Loumos V., Dental measurements using 3D models of plaster imprints, 17th Symposium IMEKO TC4, 3rd Symposium IMEKO TC19 and 15th IWADC Workshop Instrumentation for the ICT Era, Sept. 8-10, 2010, Kosice, Slovakia.
- [6]. Waldemar P., Digital impressions and handling of digital models: the future of dentistry, *Dental Press J Orthod* 19 2010 Sept-Oct;15(5):18-22.
- [7]. Matthew P., Stuart J., Levine S., Lorei B., Digital models: an introduction, *Semin Orthod* 10:226-238, 2004 Elsevier Inc., doi:10.1053/j.sodo.2004.05.007.
- [8]. Hildebrand C., Palomo M., Palomo L., Sivik M., Hans M., Evaluation of a software program for applying the American Board of Orthodontics objective grading system to digital casts, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, February 2008, 283-289, doi:10.1016/j.ajodo.2006.03.035.
- [9]. Costalos A., Sarraf K., Canialosi J., Efstratiadis S., Evaluation of the accuracy of digital model analysis for the American Board of Orthodontics objective grading system for dental casts, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, Vol 128, No 5, 624-629, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.08.017>.
- [10]. Costalos D., Cevidanes H., Tyndall D., Styner A., Flood M., Proffit M., Registration of orthodontic digital models, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2008;133:81-86, doi:10.1016/j.ajodo.2007.07.014.
- [11]. Quimby M., Vig K., Rashid R., Firestone A., The Accuracy and Reliability of Measurements Made on Computer-Based Digital Models, *Angle Orthodontics*, Vol. 74, No. 3, pp. 2004.
- [12]. Mayers M., Firestone A., Rashid R., Vig K., Comparison of peer assessment rating (PAR) index scores of plaster and computer-based digital models, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, October 2005, doi:10.1016/j.ajodo.2004.04.035.
- [13]. Rossini G., Parrini D., Castroflorio T., Deregibus A., Debernardid L., Diagnostic accuracy and measurement sensitivity of digital models for orthodontic purposes: A systematic review, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2016;149:161-70, DOI: 10.1016/j.ajodo.2015.06.029.
- [14]. Akyalcin S., Cozad B., English J., Colville C., Lamand S., Diagnostic accuracy of impression-free digital models, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;144:916-22, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.04.024>.
- [15]. Penedo N., Elias C., Christina M., Pacheco T., Pereira de Gouvêa J., 3D simulation of orthodontic tooth movement, *Dental Press J Orthod* 98, 2010 Sept-Oct;15(5):98-108.
- [16]. Dyken R., Sadowsky L., Hurst D., Orthodontic Outcomes Assessment Using the Peer Assessment Rating Index, *Angle Orthodontist*, Vol 71, No 3, 2007, DOI: 10.2319/061206-238.

- [17]. Sousa M., Vasconcelos E., Janson G., Garib D., Pinzan A., Accuracy and reproducibility of 3-dimensional digital model measurements, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, August 2012, Vol 142, Issue 2, 269-73, doi:10.1016/j.ajodo. 2011.12.028.
- [18]. Ball R., Miner M., Will L., Arai K., Comparison of dental and apical base arch forms in Class II Division 1 and Class I malocclusions, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;138:41-50, doi: 10.1016/j.ajodo.2008. 11.026.
- [19]. Zilberman O., Huggare J., Parikakis K., Evaluation of the Validity of Tooth Size and Arch Width Measurements Using Conventional and Three-dimensional Virtual Orthodontic Models, *Angle Orthod* 2008;73:301–306, DOI: 10.2319/121806-516.1.
- [20]. Adaškevičius R., Vasiliauskas A., Evaluation of Dental Arch Form Using 3D Dental Cast Scanning Technology, *Journal of Electronics and Electrical Engineering, Medicine Technology*, ISSN 1392 – 1215, 2009. No. 5(93), pp 99-103.
- [21]. Yuzbasioglu E., Kurt H., Turunc R., Bilir H., Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes, *BMC Oral Health* 2014, <http://www.biomedcentral.com/1472-6831/14/10> (pristupano juna 2017).
- [22]. Pacheco-Pereira C., De Luca Canto G., Major P., Flores-Mir C., Variation of orthodontic treatment decision-making based on dental model type: A systematic review, *Angle Orthod.* 2015; 85:501–509, DOI: 10.2319/051214-343.1.
- [23]. Tarazona B., Llamas M., Cibrian R., Gandia L., Paredes V., A comparison between dental measurements taken from CBCT models and those taken from a Digital Method, *European Journal of Orthodontics*, 35 (2013), 1-6, doi:10.1093/ejo/cjr005.
- [23]. Hayashi K., Chung O., Park S., Lee S., Sachdevae R., Mizoguchif I., Influence of standardization on the precision (reproducibility) of dental cast analysis with virtual 3 -dimensional models, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2015;147:373-80, doi: 10.1016/j.ajodo.2014.11.015.
- [24]. Park K., Bayome M., Park J., Lee J., Baek S., Kook Y., New classification of lingual arch form in normal occlusion using three dimensional virtual models, *Korean J Orthod* 2015;45(2):74-81, doi: 10.4041/kjod.2015.45.2.74.
- [25]. Nalcaci R., Burcu A., Altan K., Bicakci A., Ozturk F., Babacan H., A reliable method for evaluating upper molar distalization: Superimposition of three-dimensional digital models, *Korean J Orthod* 2015;45(2):82-88, doi: 10.4041/kjod.2015.45.2.82.
- [26]. Keating A., Knox J., Bibb R., Zhurov A., A comparison of plaster, digital and reconstructed study model accuracy, *Journal of Orthodontics*, Vol. 35, 2008, 191–201, DOI 10.1179/146531207225022626.
- [27]. Fleming S., Marinho V., Johal A., Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review, *Orthod Craniofac Res* 2011;14:1–16, DOI: 10.1111/j.1601-6343.2010.01503.
- [28]. Wiranto M., Engelbrecht P., Nolthenius H., Joerd van der Meer W., Yijin Ren, Validity, reliability, and reproducibility of linear measurements on digital models obtained from intraoral and cone-beam computed tomography scans of alginate impressions, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, January 2013, Vol 143, Issue 1, pp 140-146, doi.org/10.1016/j.ajodo.2012.06.018.
- [29]. Tomassetti J., Taloumis L., Denny J., Fischer R., A Comparison of 3 Computerized Bolton Tooth-Size Analyses With a Commonly Used Method, *Angle Orthodontist*, Vol 71, No 5, 2001, pp 351-357.
- [30]. Sanches O., Santos-Pinto L., Santos-Pinto A., Grehs B., Jeremias F., Comparison of space analysis performed on plaster vs. digital dental casts applying Tanaka and Johnston's equation, *Dental Press J Orthod*. 2013 Jan-Feb;18(1):128-33.

- [31]. Santoro M., Galkin S., Teredesai M., Nicolay O., Cangialosi T., Comparison of measurements made on digital and plaster models, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;124:101-5, doi:10.1016/S0889-5406(03)00152-5.
- [32]. Stevens D., Flores-Mir C., Nebbe B., Raboud D., Heo G., Major P., Validity, reliability, and reproducibility of plaster vs digital study models: Comparison of peer assessment rating and Bolton analysis and their constituent measurements, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129: 794-803, doi:10.1016/j.ajodo.2004.08.023.
- [33]. Mohammed El-Zanaty H., Ragab El-Beialy A., Mohammed Abou El-Ezz A., Hazem Attia K., Ragab El-Bialy A., Ahmed Mostafaf Y., Three-dimensional dental measurements: An alternative to plaster models, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137:259-65, doi:10.1016 /j.ajodo.2008. 04.030.
- [34]. Horton M., Miller R., Gaillard R., Larson E., Technique comparison for efficient orthodontic tooth measurements using digital models. *Angle Orthod.* 2010 Mar;80(2):254–261, DOI: 10.2319/041709-219.1.
- [35]. Luua N., Nikolchevab L., Retrouveyc J., Flores-Mird C., El-Bialye T., Careyf J., Majorg P., Linear measurements using virtual study models - A systematic review, *Angle Orthod.* 2012;82:1098–1106, DOI: 10.2319/110311-681.1.
- [36]. Slaj M., Spalj M., Jelušić D., Slajd M., Discriminant factor analysis of dental arch dimensions with 3-dimensional virtual models, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;140:680-7, doi:10.1016/j.ajodo.2010.12.022.
- [37]. Dong-Soon Ch., Young-Mok J., Jang I., George P., Brinkmann J., Kuen Cha K., Accuracy and reliability of palatal superimposition of three-dimensional digital models, *Angle Orthod.* 2010; 80:685–691, DOI: 10.2319/101309-569.1.
- [38]. Alcan T., Ceylanoglu C., Baysal B., The Relationship between Digital Model Accuracy and Time-Dependent Deformation of Alginate Impressions, *Angle Orthod.*2009;79:30–36, DOI: 10.2319/ 100307-475.1.
- [39]. Leifert M F., Leifert M M., Efstratiadis S., Cangialosi T., Comparison of space analysis evaluations with digital models and plaster dental casts, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*2009;136:16.e1-16.e4, doi:10.1016/j.ajodo.2008.11.019.
- [40]. Wriedt S., Dyer D., English J., Sar S., Comparison of 3-dimensional dental models from different sources: Diagnostic accuracy and surface registration analysis, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;144:831-7, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.08.014>.
- [41]. Brusco N., Andretto M., Lucchese L., Carmignato S., Cortelazzo G., Metrological validation for 3D modeling of dental plaster casts, *Medical Engineering & Physics* 29 (2007) 954–966, doi.org/10.1016/j.medengphy.2006.10.011.
- [42]. Kim J., Heo G., Lagravere M., Accuracy of laser-scanned models compared to plaster models and cone-beam computed tomography, *Angle Orthod.*2014;84:443–450, DOI: 10.2319/ 051213-365.1.
- [43]. Torassian G., How Kau Ch., English J., Powers J., Bussa H., Salas-Lopez M., Corbett J., Digital models vs plaster models using alginate and alginate substitute materials, *Angle Orthod.* 2010;80:662–669, DOI: 10.2319/072409-413.1.
- [44]. Westerlund A., Tancredi W., Ransjo M., Bresin A., Psonis S., Torgersson O., Digital casts in orthodontics: A comparison of 4 software systems, *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2015; 147: 509-16, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2014.11.020>.

- [45]. Creed B., How Kau Ch., English J., Xia J., Lee R., A Comparison of the Accuracy of Linear Measurements Obtained from Cone Beam Computerized Tomography Images and Digital Models, *Semin Orthod* 2011; 17:49-56., 2011 Elsevier Inc.
- [46]. Watanabe-Kanno G., Abrão J., Miasiro H., Sánchez-Ayala A., Lagravère M., Reproducibility, reliability and validity of measurements obtained from Cefile3 digital models, *Braz Oral Res* 2009;23(3):288-95.
- [47]. KeePark T., Lee S., Lee K., A method for mandibular dental arch superimposition using 3D cone beam CT and orthodontic 3D digital model, *Korean J Orthod* 2012;42(4):169-181, <http://dx.doi.org/10.4041/kjod.2012.42.4.169>.
- [48]. Jang S., Kim M., Chun Y., Differences in molar relationships and occlusal contact areas evaluated from the buccal and lingual aspects using 3-dimensional digital models, *Korean J Orthod* 2012;42(4):182-189, <http://dx.doi.org/10.4041/kjod.2012.42.4.182>.
- [49]. Choi J., Cha B., Georg P., Brinkmann J., Choi D., Jang I., Validity of palatal superimposition of 3-dimensional digital models in cases treated with rapid maxillary expansion and maxillary protraction headgear, *Korean J Orthod* 2012;42(5):235-241, <http://dx.doi.org/10.4041/kjod.2012.42.5.235>.
- [50]. Redmond R., The Digital Orthodontic Office: 2001, *Semin Orthod* 2001; 7:266-273, doi: 10.1053/sodo.2001.25423.
- [51]. Kihara T., Tanimoto K., Michida M., Yoshimi Y., Nagasaki T., Murayama T., Tanne K., Nikawae H., Construction of orthodontic setup models on a computer, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;141:806-13, doi:10.1016/j.ajodo.2011.10.027.
- [52]. Harrell W., 3D Diagnosis and Treatment Planning in Orthodontics, *Semin Orthod* 2009;15:35-41, doi:10.1053/j.sodo.2008.09.004.
- [53]. How Kau Ch., Olim S., Nguyen J., The Future of Orthodontic Diagnostic Records, *Semin Orthod* 2011;17:39-45, doi:10.1053/j.sodo.2010.08.008.
- [54]. Hernández-Soler J., Enciso R., Cisneros G., The Virtual Patient Specific-Model and the Virtual Dental Model, *Semin Orthod* 2011;17:46-48, doi:10.1053/j.sodo.2010.08.009.
- [55]. Joffe L., Current Products and Practices OrthoCAD TM: digital models for a digital era, *Journal of Orthodontics*, Vol. 31, 2004, 344–347, DOI 10.1179/146531204225026679.
- [56]. Eder A., Mehl A., Accuracy of complete-arch dental impressions: A new method of measuring trueness and precision, *J Prosthet Dent* 2013;109:121-128, doi: 10.1016/S0022-3913(13)60028-1.
- [57]. Bidra A., Taylor T., Agar J., Computer-aided technology for fabricating complete dentures: Systematic review of historical background, current status, and future perspectives, *J Prosthet Dent* 2013;109:361-366, doi: 10.1016/S0022-3913(13)60318-2.
- [58]. Whetten J., Williamson P., Heo G., Varnhagen C., Major P., Variations in orthodontic treatment planning decisions of Class II patients between virtual 3-dimensional models and traditional plaster study models, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:485-91, doi:10.1016/j.ajodo.2005.02.022.
- [59]. Bootvong K., Liu Z., McGrath C., Hägg U., Wong R., Bendeus M., Yeun S., Virtual model analysis as an alternative approach to plaster model analysis: reliability and validity, *European Journal of Orthodontics* 32 (2010) 589–595, doi:10.1093/ejo/cjp159.
- [60]. Im J., Cha J., Lee K., Yu H., Hwang Ch., Comparison of virtual and manual tooth setups with digital and plaster models in extraction cases, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, April 2014, Vol 145, Issue 4, 434-442, doi:10.1016/j.ajodo.2013.12.014.

- [61]. Waard O., Rangel F., Fudalej P., Bronkhorst E., Kuijpers-Jagtman A., Hero Breuning K., Reproducibility and accuracy of linear measurements on dental models derived from cone-beam computed tomography compared with digital dental casts, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, September 2014, Vol 146, Issue 3, 328-338, doi: 10.1016/j.ajodo.2014.05.026.
- [62]. Fabels L., Nijkamp P., Interexaminer and intraexaminer reliabilities of 3-dimensional orthodontic digital setups, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, December 2014, Vol 146, Issue 6, 806-811, doi: 10.1016/j.ajodo.2014.09.008.
- [63]. Lee H., Kim H., Chun Y., Comparison of occlusal contact areas of class I and class II molar relationships at finishing using three-dimensional digital models, *Korean J Orthod* 2015;45(3):113-120, doi: 10.4041/kjod.2015.45.3.113.
- [64]. Moreira D., Gribel B., Torres G., Vasconcelos K., Freitas, D., Ambrosano, G., Reliability of measurements on virtual models obtained from scanning of impressions and conventional plaster models, *Braz J Oral Sci.* October - December 2014 - Volume 13, Number 4, pp. 297-302, <http://dx.doi.org/10.1590/1677-3225v13n4a11>.
- [65]. Burns A., Dowling A., Garvey T., Fleming G., The reliability of Little's Irregularity Index for the upper dental arch using three dimensional (3D) digital models, *Journal of Dentistry*, 42, (2014), 1320 – 1326, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2014.07.012>.
- [66]. Radeke J., Wense C., Lapatki B., Comparison of orthodontic measurements on dental plaster casts and 3D scans, *J Orofac Orthop* 2014; 75:264–274, DOI 10.1007/s00056-014-0217-9.
- [67]. Nalcaci R., Topcuoglu T., Ozturk F., Comparison of Bolton analysis and tooth size measurements obtained using conventional and three-dimensional orthodontic models. *Eur J Dent* 2013;7:66-70, DOI: 10.4103/1305-7456.119077.
- [68]. Sjögren A., Lindgren J., Huggare J., Orthodontic Study Cast Analysis—Reproducibility of Recordings and Agreement Between Conventional and 3D Virtual Measurements, *Journal of Digital Imaging*, Vol 23, No 4 (August), 2010: pp 482-492, doi: 10.1007/s10278-009-9211-y.
- [69]. Veenema C., Katsaros C., Boxum C., Bronkhorst M., Kuijpers-Jagtman M., Index of Complexity, Outcome and Need scored on plaster and digital models, *European Journal of Orthodontics* 31 (2009) 281–286, doi:10.1093/ejo/cjn077.
- [70]. Reuschl R., Heuer W., Stiesch M., Wenzel D., Dittmer M., Reliability and validity of measurements on digital study models and plaster models, *European Journal of Orthodontics*, 2016, 22–26, doi:10.1093/ejo/cjv001.
- [71]. Czarnota J., Hey J., Fuhrmann R., Measurements using orthodontic analysis software on digital models obtained by 3D scans of plaster casts - Intrarater reliability and validity, *J Orofac Orthop* (2016) 77:22–30, DOI 10.1007/s00056-015-0004-2.
- [72]. Polido W., Digital impressions and handling of digital models: The future of Dentistry, *Dental Press J Orthod* 18 2010 Sept-Oct;15(5):18-22.
- [73]. Atia A., El-Gheriani A., Ferguson J., Validity of 3 Shape Scanner Techniques: A Comparison with the Actual Plaster Study casts. *Biom Biostat Int J* 2(2): 00026. DOI: 10.15406/bbij.2015.02.00026
- [74]. Macchi A., Carrafiello G., Cacciafesta V., Norcinic A., Three-dimensional digital modeling and setup, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129:605-10, doi:10.1016/j.ajodo.2006.01.010.
- [75]. Jacquet W., Nyssen E., Ibel G., Vannet B., On the augmented reproducibility in measurements on 3D orthodontic digital dental models and the definition of feature points, *Aust Orthod J* 2013; 29: 28-33, PMID: [23785935](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23785935/).



- [76]. Hurt A., Digital technology in the orthodontic laboratory, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;141:245-7, DOI:10.1016/j.ajodo.2011.06.045.
- [77]. Cho S., Schaefer O., Thompson G., Guentsch A., Comparison of accuracy and reproducibility of casts made by digital and conventional methods, *J Prosthet Dent* 2015;113:310-315, DOI: 10.1016/j.prosdent.2014.09.027.
- [78]. Varga Jr., HammerB., HardyM., KamerL., The accuracy of three-dimensional model generation. What makes it accurate to be used for surgical planning? *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2013; 42: 1159–1166, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijom.2013.02.006>.
- [79]. Kooka Y., Bayomeb M., Parkc S., Chad B., Young-Wuk Lee; Seung-Hak Baekf, Overjet at the Anterior and Posterior Segments: Three-Dimensional Analysis of Arch Coordination, *Angle Orthod.* 2009;79:495–501, DOI: 10.2319/041108-205.1.
- [80]. Yuan T., Liao W., Dai N., Cheng X., Yu Q., Single-Tooth Modeling for 3D Dental Model, *International Journal of Biomedical Imaging*, Volume 2010, Article ID 535329, 14 pages, DOI:10.1155/2010/535329.
- [81]. Akan, B., Veli, I., Comparison of dental arch and mandibular-maxillary base widths between true and pseudo-Class III malocclusions, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2017;151:317-23, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2016.06.039>

### 3. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Ova istraživanja u osnovi predstavljaju primenu novih ICT tehnologija u ortodontici, koje čine osnovu za razvoj koncepta e-ordinacije, a za istraživanja prikazana u ovoj tezi, postavljaju se sledeće hipoteze:

- (i) 3D digitalni model obezbeđuje bolju i precizniju "sliku" ortodontskog stanja pacijenta (tačnosti ispod 10 mikrometara ili 0.01 mm),
- (ii) ovaj prilaz predstavlja osnovu za stvaranje e-ortodontske ordinacije, podržane lap-top/tablet ili note-book računarom,
- (iii) moguće je definisati i pratiti ortodontske parametre na nov način (referentni geometrijski entiteti (RGE)), tako da je pomoću njih unapređen ABO (American Board of Orthodontics) metod određivanja koordinatnog sistema vilice. Na osnovu ovog prilaza se na nov način vrši praćenje nivelacije zuba (t test). Takođe, istim ortodontskim parametrima, moguće je istražiti tačnost i ponovljivost merenja dva skenera, metodom analize i komparacije rezultata,
- (iv) modeliranjem oblika zubnog luka pomoću stepenih jednačina višeg reda (splajnova), takođe na nov i precizan način, mogu se pratiti efekti nivelacije zubnog niza u okluzalnoj ravni i oceniti uspešnost perioda terapije, i
- (v) nakon 6/8 meseci očekuje se stvaranje precizne slike stanja nivelacije zuba pacijenta.

#### 3.1 Hipoteza 1

Ad1. Karakteristike softvera za geometrijske modelere omogućuju vrlo precizno generisanje geometrijskih entiteta, nivoa tačnosti 1 mikrometar i više (0.001 mm), što ovu proceduru čini za red (10X) ili dva reda (100X) tačnijom od konvencionalnog metoda merenja koji se danas koristi u ortodontici. Na ovaj način stanje pacijenta je vrlo realno, odnosno idealno odslikano.

#### 3.2 Hipoteza 2

Ad2. ICT tehnologije omogućuju na različitim platformama razvoj modela e-ordinacije. To znači da pored specijalizovanih softvera za primenu u ortodontici, softvera opšte namene za geometrijsko modeliranje, danas smo u situaciji da razvijamo i istražujemo primenu android platformi na lap-top/tablet ili note-book računarima za ortodontsku ordinaciju. To znači da počinje razvoj Cyber-Physical ortodontskih e-ordinacija.

#### 3.3 Hipoteza 3

Ad3. Istraživanja u ovoj tezi su na nov način definisala ortodontske parametre, definišući i koristeći sledeće RGE: (a) osnovni geometrijski entiteti (tačka, prava, duž, ravan, kriva linija, ugao, kriva površina), (b) izvedeni geometrijski entiteti (koordinatni početak, koordinatni sistem, koordinatne ravni, osa, ivica, perspektiva), i (c) anatomski geometrijski entiteti (tačke, površine). Koordinatni sistemi vilica su određeni na novi način, koji predstavlja unapređeni ABO metod, čime je omogućena sukcesivna analiza ortodontskih stanja pri planiranim kontrolama, u istom koordinatnom sistemu. Digitalni model vilice se može sada koristiti u mnogo širem kontekstu ortodontskih analiza i sinteza (posebno poredeći različita ortodontska stanja). Takođe, pomoću RGE može se istražiti tačnost i ponovljivost merenja skenera, koji se koristi za formiranje 3D modela.

### **3.4 Hipoteza 4**

Ad4. Oblik zubnog luka može se, primenom 3D modela u ortodonciji modelirati stepenom funkcijom (polinomom) višeg stepena. Na ovaj način se dobijaju vrlo precizne informacije o slaganju zubnog niza, tokom ortodontske terapije, kao i nakon njenog završetka. Testirati najbolji oblik zubnog luka metodom najmanjih kvadrata, a radi ocene dostignutog nivoa terapije.

### **3.5 Hipoteza 5**

Ad5. Ova teza za težište svojih istraživanja ima primenu koncepta 3D modeliranja za nivelaciju zuba, pa je iz tih razloga definisan ovaj vremenski interval (min 6 meseci, max 12 meseci).

## 4. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

3D digitalno modeliranje ima sve veću primenu u ortodontskoj praksi u definisanju, praćenju i analizi, određenih ortodontskih parametara, pomoću kojih možemo pratiti i ocenjivati nivelaciju zuba, odnosno napredovanje ortodontske terapije. Sa druge strane, nema jednoznačnog prilaza u definisanju geometrijskih entiteta, pomoću kojih se definišu ortodontski parametri. Polazeći od ovih činjenica, ova istraživanja imaju globalni cilj i parcijalne ciljeve istraživanja.

Globalni cilj ovih istraživanja je razvoj 3D digitalnog modela za praćenje nivelacije zuba, preko skupa ortodontskih parametara, definisanih pomoću referentnih geometrijskih entiteta (RGE), u koordinatnom sistemu definisanom na novi način u odnosu na ABO metod. Takođe, osnovni cilj je i razviti proceduru i metodologiju, korišćenjem softvera opšte namene za 3D modeliranje, za formiranje 3D ortodontskog modela, bez, za to do sada korišćenih usko-specijalizovanih i namenskih paketa, koje koriste klasični ortodontski skeneri.

Da bi se on ostvario, biće realizovani sledeći parcijalni ciljevi:

- (i) dobijanje 3D digitalnog modela u .stl formatu, koji se može koristiti za razne analize na različitim hardversko-softverskim platformama (kao što su lap-top/tablet/note-book, Auto CAD, itd),
- (ii) definisanje RGE, njihova klasifikacija i primena,
- (iii) definisanje ortodontskog koordinatnog sistema pomoću RGE, na novi način,
- (iv) definisanje ortodontskih parametara za praćenje i analizu nivelacije zuba, njihova analiza i ocenjivanje,
- (v) određivanje tačnosti i ponovljivosti merenja skenera pomoću RGE,
- (vi) definisanje funkcije zubnog luka, kao polinoma, od 3-ćeg do 8-og stepena (splajna), i određivanje najtačnijeg oblika, shodno svakom pacijentu, kako tokom, tako i na kraju terapije, i
- (vii) primena razvijenog modela u praksi, na realnim primerima pacijentima iz prakse Klinike za ortopediju vilica Stomatološkog fakulteta u Beogradu.

## 5. MATERIJAL I METOD

U okviru ovih istraživanja je realizovano pet studija, koje su se odnosile na temu doktorskog rada, a za postavljene hipoteze i definisane ciljeve. Osnovni uzorak je obuhvatio 155 slučajno izabranih pacijenata Klinike za ortopediju vilica Stomatološkog fakulteta u Beogradu. Svi pacijenti su u terapiji koja obuhvata primenu fiksnih aparata. Od pacijenata se uzimani otisci u alginatu, standardnim kašikama. Ukupno se uzimano po min četiri otiska, i to: pre postavljanja aparata, nakon dva, četiri i šest meseci od početka terapije. Otisci su izliveni u gipsu. Nakon obrade, skeniranje je obavljeno na 3D skenerima: Next Engine (Stomatološki fakultet, Beograd), Atos (Topomatika, Zagreb) i LazakSkan (Fakultet za strojništvo, Ljubljana). Dobijeni 3D modeli obrađeni su u programu GOM Inspect V8 (V8 Hotfix 6, Rev. 81431, <http://www.gom.com/3d-software/gom-inspect.html>), a ortodonske analize i sinteze su vršene na Solid Works i Siemens PLM NX10 softveru (navedno je svaku studiju, posebno).

Kao metod korišćen je prilaz generisanja 3D digitalnog modela a na njemu, kroz konkretni primer, su prikazani RGE, koji su korišćeni za ortodonske analize i sinteze. Ovaj koncept predstavlja jedinstveni prilaz ovoj problematici, koji na istovetni način povezuje softversko modeliranje u ortodonciji primenom orjentisanih i opštih CAD sistema [1,2,4].

Pratila se nivelacija zuba, koja spada u prvu fazu terapije fiksnim aparatima. Ona obuhvata sledeće:

- 1) Nivelacija bravica, odnosno regulisanje vertikalnih odstupanja pojedinih zuba,
- 2) Korekcija rotiranih zuba,
- 3) Korekcija labio(buko) lingvalnih odstupanja zuba,
- 4) Uspravljanje zuba.

Na kontrolama su primenjivani lukovi NiTi 0,12; 0,14; 0,16; 0,18, koji su se menjali na svakoj kontroli. Za brave su vezivani primenom gumenih ili žičanih ligatura.

Ova istraživanja su zasnovana na primeni sledećih metoda: analiza (ortodonskih slučajeva, stanja, parametara, trendova, ...), sinteza (terapijskih metoda, procedura i postupaka, ...), indukcija (predviđanje ortodonskih trendova za skup u odnosu na uzorak) i dedukcija (izvlačenje zaključaka o ortodonskom stanju za svakog pacijenta posebno). Naravno, kao bazni postupak za ova istraživanja je 3D modeliranje, kao naučna disciplina koja je prvo razvijena u inženjerstvu, a ovde će se primenjivati u ortodonciji.

Osnovni koraci u proceduri razvoja ovog istraživačkog koncepta nivelacije zuba za 3D model su:

A. Definisane globalnog ortodonskog koordinatnog sistema (GOKS) sa tri ravni: okluzalna, medijalna i tuber ravan (za gornju/donju vilicu). X - osa je paralelna sa medijalnom ravni, koja deli model na dva jednaka dela. Y- osa je paralelna sa tuber-ravni, koja dodiruje distalne strane prvih stalnih molara. Z - osa je normalna na x-y ravan koju čine ove dve ose i paralelna je sa okluzalnom ravni.

B. Definisane lokalnog koordinatnog sistema sa tri ose :  $x_i$ ,  $y_i$  i  $z_i$  za svaki zub posebno.

C. Merenja sledećih ortodonskih parametara, definisanih pomoću geometrijskih entiteta (GE) u RGE:

*X – Y ravan (Okluzalna) :*

1. Međuočnjačko rastojanje - meri se kao rastojanje između:

- (1) Vrhova kvržica gornjih očnjaka (G1)
- (2) Vrhova kvržica donjih očnjaka (D1)

2. Međupremolarno rastojanje - meri se kao rastojanje između:

- (1) Vrhova bukalnih kvržica gornjih i donjih prvih i drugih premolara (G2, D2, D3, G3)
- (2) Vrhova palatinalnih kvržica gornjih i donjih prvih i drugih premolara (D3, D4, D5, G4, G5)
- (3) Vrhova lingvalnih kvržica donjih prvih premolara (G4, G5)
- (4) Vrhova meziolingvalnih kvržica donjih drugih premolara

3. Međumolarno rastojanje - meri se kao rastojanje između:

- (1) Vrhova meziopalatinalnih kvržica gornjih prvih i drugih molara (G8, G8)
- (2) Vrhova meziobukalnih kvržica gornjih prvih i drugih molara (G6, G6)
- (3) Vrhova meziolingvalnih kvržica donjih prvih i drugih molara (D8)
- (4) Vrhova distobukalnih kvržica gornjih i donjih prvih molara

*Y – Z ravan (Medijalna)*

1. U gornjem luku rastojanje od vrha meziopalatinalne kvržice gornjeg drugog molara do:

- (1) Vrhova meziopalatinalne kvržice gornjeg prvog molara (G9, G14)
- (2) Vrhova palatinalne kvržice gornjeg prvog i drugog premolara (G10, G11, G15, G16)
- (3) Vrhova kvržice gornjeg očnjaka (G12, G17)
- (4) Mezio-incizalnog čoška gornjeg lateralnog sekutića

Ove mere su merene na obe strane gornjeg luka.

2. U donjem luku rastojanje od vrha meziolingvalne kvržice donjeg drugog molara do:

- (1) Vrhova meziolingvalne kvržice donjeg drugog premolara i prvog molara (D9, D14)
- (2) Vrhova lingvalne kvržice donjeg prvog premolara (D10, D11, D15, D16)
- (3) Vrhova kvržice donjeg očnjaka (D12, D17)
- (4) Mezio-incizalnog čoška donjeg lateralnog sekutića (D13, D18).

Ove mere su merene na obe strane donjeg luka.

### Z – X ravan (Tuber)

Visina kliničke krune kod svih zuba, u gornjim i donjim zubnim lukovima, od drugog premolara levo do drugog premolara desno, uključujući i njih, merena kao rastojanje između vrha kvržice i tačke maksimalnog konkavитета na gingivalnoj ivici na labijalnoj površini. Ovi parametri su definisani za gornju vilicu – G19 do G28, a za donju – D17 do D26.

D. Određivanje razlike u položajima  $[(x_{i1}, y_{i1}, z_{i1}); (x_{i2}, y_{i2}, z_{i2})]$  anatomskih tačaka na zubima gornje i donje vilice u prostoru, između dve kontrole, pomoću globalnog/lokalnog koordinatnog sistema (RGE).

E. Sklapanje 3D modela donje/gornje vilice radi dobijanja tačaka okluzije (između dve kontrole).

F. Određivanje preseka i analiza zubnog niza po – z osi, u ravni koja je paralelna sa okluzalnom ravni (između dve kontrole), pri čemu se dobijaju krive linije (preseci zuba – pomereni između dve kontrole), pomoću RGE. Određivanje i analiza zubnog luka.

Na ovaj način, koracima analize od A do F dobijemo pomoću 3D modela skup relevantnih ortodontskih parametara kojima jednoznačno ocenjujemo stanje pacijenta, a na bazi RGE, prateći nivelaciju zuba, što je u narednom tekstu i izloženo.

## 5.1 Referentni geometrijski entiteti

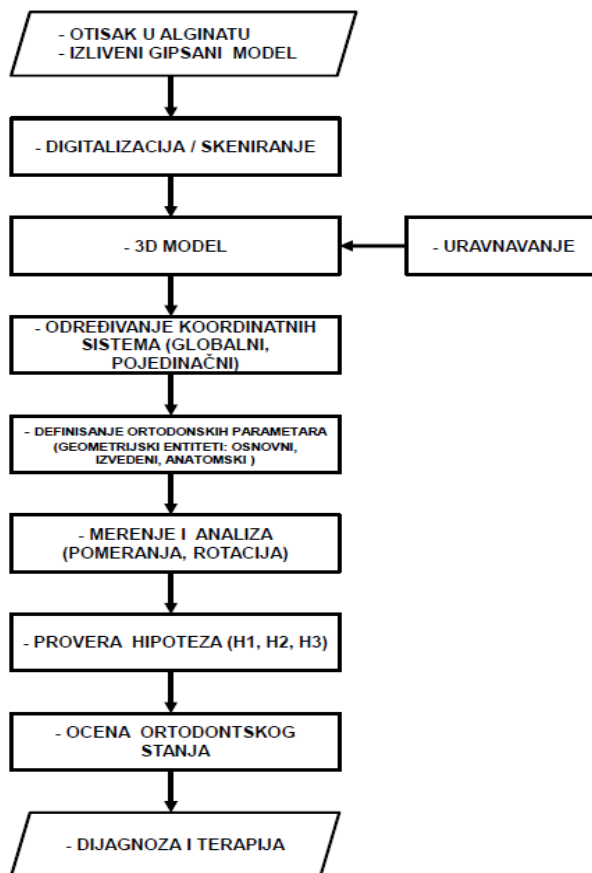
Za prvi parcijalni cilj, koji se odnosi na novi model postavke i definisanja ortodontskih parametara, u ovoj studiji, kao materijal su korišćeni otisci pacijenata sa Klinike za ortopediju vilica Stomatološkog fakulteta u Beogradu. Ukupno je analizirano 35 pacijenata, čiji su otisci skenirani na Next Engine skeneru u Laboratoriji ove klinike. Obrada i geometrijsko modeliranje skeniranih otisaka je vršeno u softveru Solid Works, koji poseduje opšti CAD modeler [1,2,4].

Istraživanja pokazuju da se u ortodontici radi definisanja i praćenja ortodontskih parametara koriste sledeće grupe RGE: (a) osnovni geometrijski entiteti (tačka, prava, duž, ravan, kriva linija, ugao, kriva površina), (b) izvedeni geometrijski entiteti (koordinatni početak, koordinatni sistem, koordinatne ravni, osa, ivica, perspektiva), i (c) anatomske geometrijske entiteti (tačke, površine).

## 5.2. 3D Personalna ortodontcija

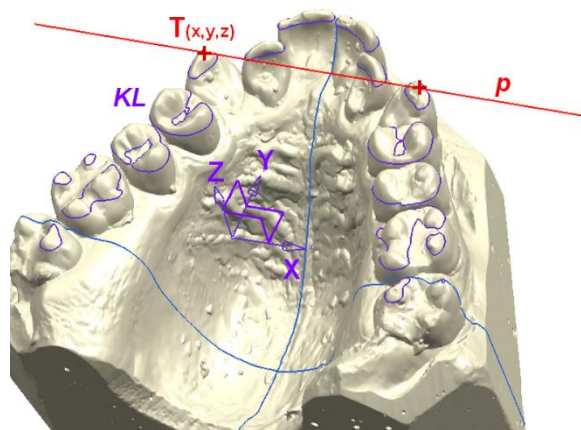
U ovom delu istraživanja je skenirano 22 otiska na Atos skeneru (<http://www.gom.com/3d-software/atos-professional.html>), tačnosti ispod 10 mikrometara, uz podršku GOM softvera. 3D modeliranje je izvedeno na Siemens PLM NX10 softveru ([http://www.plm.automation.siemens.com/en\\_us/products/nx/10/](http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/nx/10/)). Ukupno je, u tri ortodontske ravni modelirano 54 parametra (28 za donju vilicu i 26 za gornju vilicu – označeni su u tački 5, sa  $D_i$  (linearni parametar za donju vilicu), odnosno  $G_i$  (linearni parametar za gornju vilicu)). Takođe, ovde je potrebno napomenuti da je generisanje površine zuba, odnosno vilice, izvršeno definisanjem koordinata tačaka jednakostraničnog trougla sa vektorom normale za njega, da bi se odredilo šta je spoljašnja/unutrašnja površina. Za svaku skeniranu vilicu definisano je između 950 000 i 1 000 000 tačaka, odnosno njenih koordinata što, ako se ima u vidu da je ukupna površina vilice oko 30 cm<sup>2</sup>, predstavlja izuzetno tačnu aproksimaciju realnog oblika površine zuba u odnosu na gipsani model.

Definisanje ortodontskih parametara, a radi uspostavljanja ortodontske dijagnoze i praćenja ortodontske terapije primenom 3D modela se izvodi po proceduri kako je to dato na slici 5.2.1.



Slika 5.2.1. Dijagram toka formiranja ortodontske terapije pomoću 3D modela

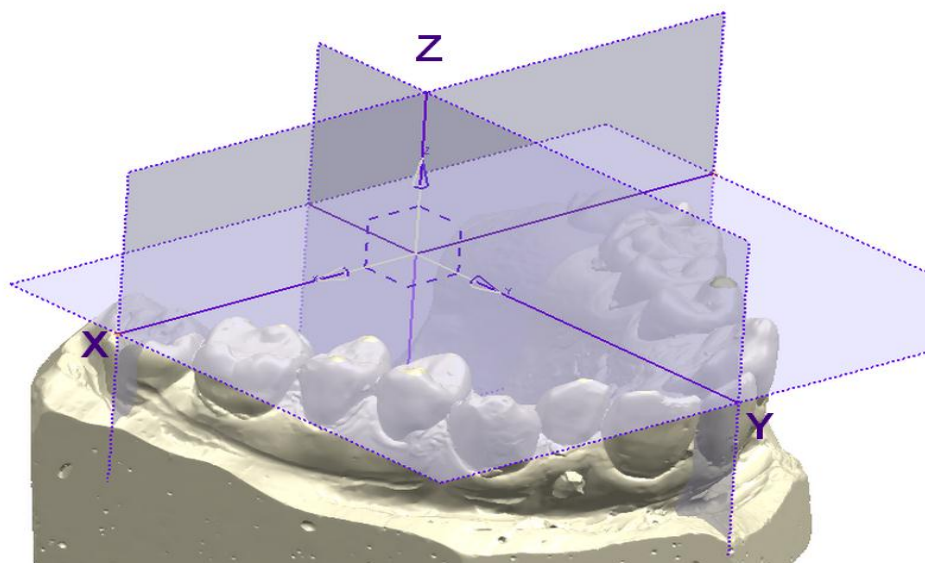
Za definisanje ortodontskih parametara na 3D modelima korišćen je napred navedeni u okviru ove teze razvijen originalni prilaz [1,2,4-6], a on se zasniva na definisanju i primeni geometrijskih entiteta: osnovni, izvedeni i anatomski – detaljno su objašnjeni u 5.1. Prvu grupu čine: tačke (koordinate), prave, ose, duži, krive linije, ravni, slika 5.2.2, za konkretan primer iz ove studije. Oni se odnose na zub, kao i na vilicu.



Legenda:  $T(x,y,z)$  koordinate – tačka;  $p$  – prava,  $KL$ -kriva linija;  $XYZ$ -ose koordinatnog sistema.  
Slika 5.2.2. Osnovni geometrijski entiteti – primer za pacijenta XY

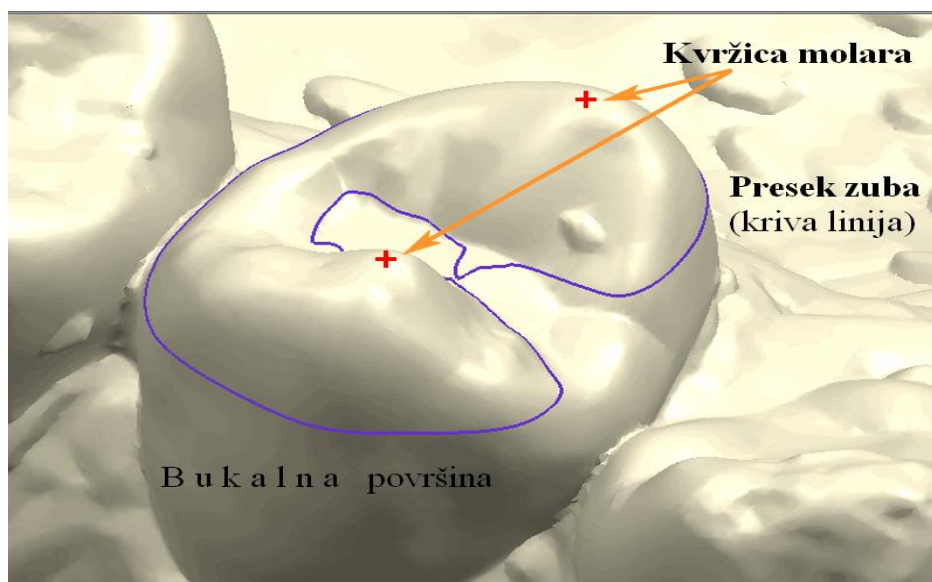


Izvedeni geometrijski entiteti su: koordinatni početak, koordinatne ose i koordinatne ravni (okluzalna (x-y ravan), medijalna (y-z ravan) i tuber (z-x ravan)), slika 5.2.3, a kao i u prethodnom slučaju, odnose se na zub i/ili vilicu.



Slika 5.2.3. Ortodontske koordinatne ravni kao izvedeni GE– primer za pacijenta XY

Najzad za pacijenta XY su korišćeni i anatomske entiteti: tačke, krive linije i površine, slika 5.2.4, po pravilu odnose se na zub.



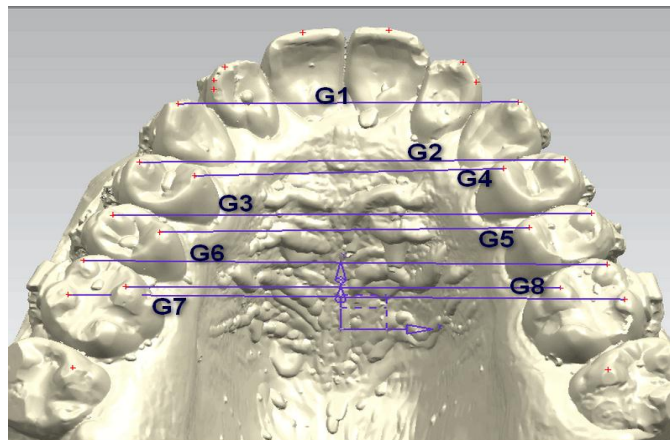
Slika 5.2.4. Anatomske geometrijske entiteti– primer za pacijenta XY

Ova istraživanja su zasnovana na definisanju skupa ortodontskih parametara, svih vrsta RGE, koji se vezuju za ortodontske ravni [1], ukupno 54 parametara, pomoću kojih možemo na jednoznačan način pratiti ortodontsko stanje pacijenta.

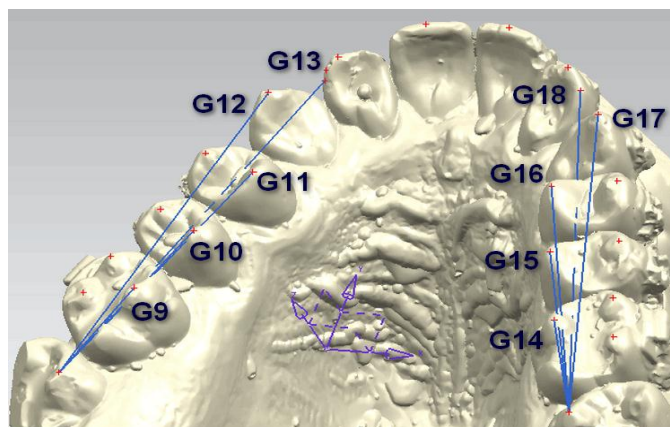
Zbog prisustva bravica na zubima, postojao je problem u određivanju visine kliničkih kruna zuba. Isto tako je na modelima uočen određeni broj viškova gipsa, koji remete određivanje parametara, uglavnom u predelu gingivalne linije zuba. Zbog toga je odlučeno da se visine krunica prate/mere sa unutrašnje strane,

tj. lingvalne i palatinalne. Iako su ova pomeranja manja od onih sa spoljašnje strane, uzeta su u razmatranje da se ne bi izgubili parametri u z-x ravni.

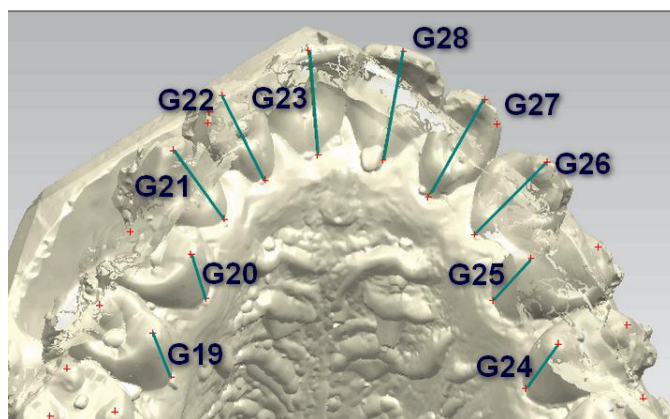
Primeri definisanja svih parametara za sve tri ortodontske ravni je prikazano na slikama 5.2.5 i 5.2.6. Na slici 5.4 je dat primer za gornju vilicu – 28 parametara, a na slici 5.5 su oni definisani za donju vilicu – ukupno 26.



(a)

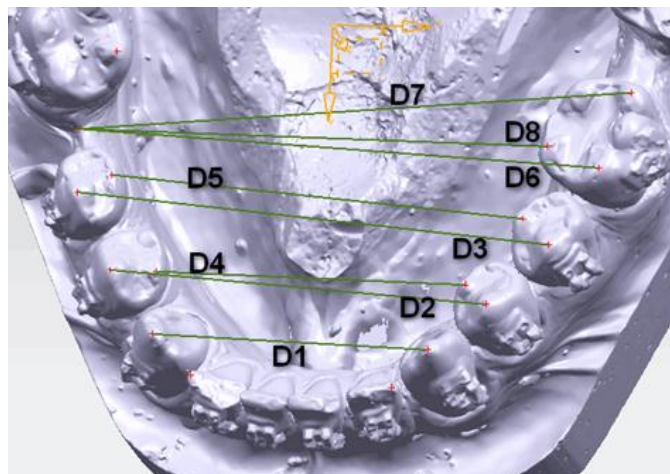


(b)

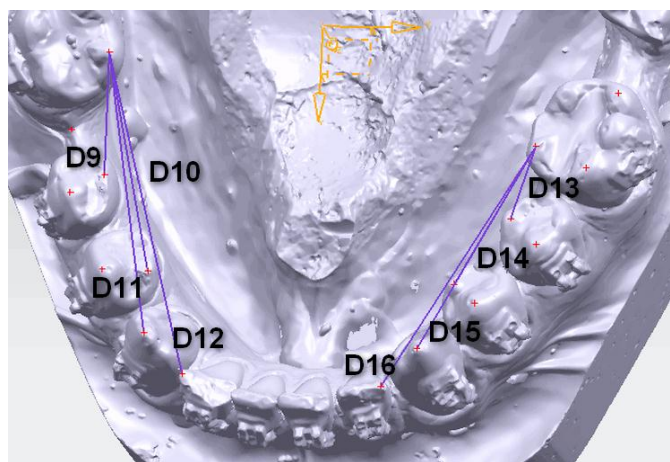


(c)

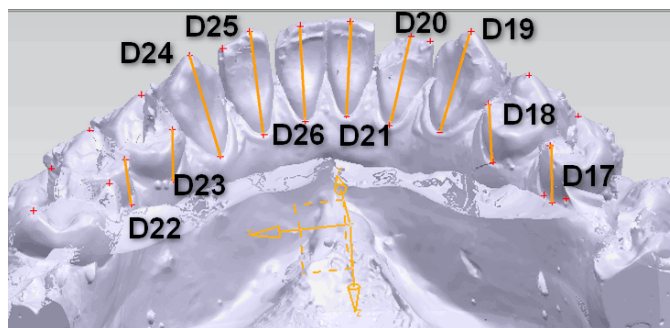
Slika 5.2.5. Ortodontski parametri za okluzalnu ravan (a), za medijalnu ravan (b), za tuber ravan (c) na gornjoj vilici – ukupno 28.



(a)



(b)



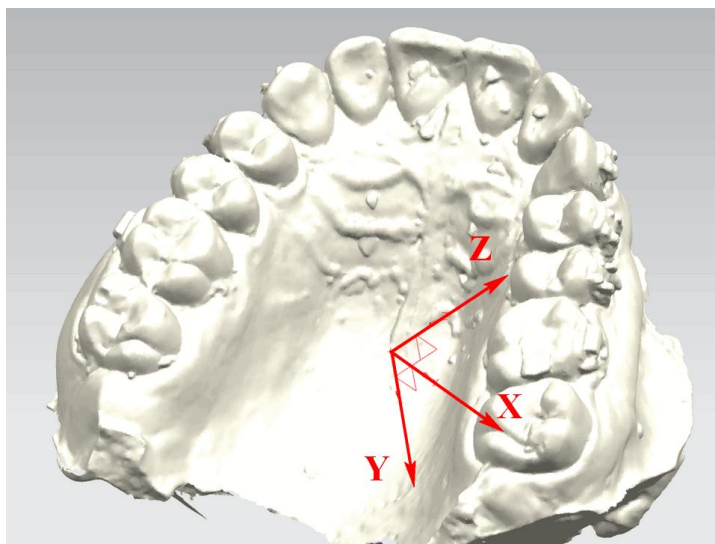
(c)

Slika 5.2.6. Ortodontski parametri za okluzalnu ravan (a), za medijalnu ravan (b) i za tuber ravan (c) na donjoj vilici –ukupno 26.

### 5.3. Praćenje pomeranja zuba u prostoru

U ovoj studiji je skenirano 55 otisaka, dobijenih iz arhive pacijenata sa Klinike za ortopediju vilica Stomatološkog fakulteta u Beogradu, na Next Engine skeneru [7,8], tačnosti ispod 10 mikrometara. Oni su izabrani slučajnim uzorkom, a 3D modeliranje je izvedeno pomoću Siemens PLM NX10 softvera [7,9].

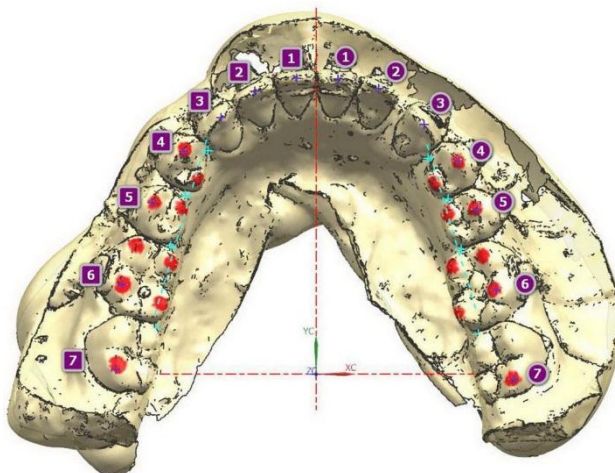
Sadašnja ABO metoda [10], definisana kao 3-2-1 procedura je nedovoljno precizna; ne obezbeđuje ponovljivost pozicioniranja kod sukcesivnih skeniranja različitih modela vilice istog pacijenta, što je slučaj kada se sukcesivno prate tretmani jednog pacijenta tokom ortodontske terapije. Naša analiza pokazuje da je ovo ABO uputstvo definisano da bi se obezbedila ponovljivost merenja jednog modela vilice na različitim skenerima. Na slici 5.3.1 je prikazan skenirani model vilice u proizvoljnom koordinatnom sistemu, koji se prema sadašnjoj preporuci ABO koristi za dalje 3D analize ortodontskih parametara. Polazeći od naše ideje, koja se zasniva na povezivanju sva tri koordinatna sistema (iz ABO Procedure 3-2-1), definisana je, postavljena i pokazana lakša procedura za lekara stomatologa u njihovom određivanju, čiji rezultati su dati u 6.3, a diskusija u 7.3.



Slika 5.3.1. Gipsani model vilica sa inicijalno definisanim koordinatnim sistemom

Da bi se odredio položaj zuba u prostoru, kao i njegova promena, na kontroli delovanja ortodontske terapije, potrebno je jednoznačno odrediti položaj svakog zuba u globalnom ortodontskom koordinatnom sistemu vilice. To se postiže, povezivanjem ova dva koordinatna sistema – GOKS i LOKS. Nakon toga se jednoznačno definišu koordinate anatomskih tačaka zuba ( $x,y,z$ ), koje se prate i analiziraju, tačke 6.3 i 7.3. Takođe ovom analizom je obuhvaćeno istraživanje ponovljivosti rezultata merenja, u novom konceptu određivanja koordinatnih sistema.

Jedan od 3D modela za koji su ova istraživanja izvršena je pacijent Klinike za ortopediju vilica, Stomatološkog fakulteta, XY1 82245, a na slici 5.3.2 je prikazan 3D model kontrole 4.



Slika 5.3.2. 3D model sa obeleženim RGE za pacijenta 82245

#### 5.4. Oblik zubnog luka

U ovom istraživanju je skenirano 22 otiska, sa Klinike za ortopediju vilica Stomatološkog fakulteta u Beogradu, na Next Engine skeneru. Oni su izabrani slučajnim uzorkom, a 3D modeliranje je izvedeno pomoću Siemens PLM NX10 softvera [7,9].

Za interpolaciju (fitovanje) krivih linija koje opisuju zubni luk korišćen je ovaj softver zbog njegove fleksibilnosti kao i otvorenosti arhitekture, koja omogućava da se sa lakoćom može primeniti u veoma različitim oblastima. Njegova prednost u odnosu na specijalizovane programske pakete u oblasti ortodontije je u sofisticiranim modulima specijalizovanim za složene prostorne oblike (free-form, sculptured surfaces), kao što su zubi i njihova anatomija. Činjenica je da su savremena medicina i stomatologija nezamislive bez saradnje mašinskih inženjera i lekara stomatologa. Ova studija upravo je primer interdisciplinarnosti primene inženjerskog modeliranja u ortodontiji.

#### 5.5. Određivanje tačnosti i ponovljivosti merenja skenera

Ovde je istraživana tačnost i ponovljivost merenja dva skenera opšte namene, pomoću analize i sinteze ortodontskih parametara na 3D modelima. To su: (i) Atos optički 3D skener i programska oprema GOM Inspect, koja ga podržava [8] i (ii) laboratorijski skener LazakScan [9], sa pratećom programskom opremom. Ovo istraživanje je urađeno generisanjem skupa istih 3D digitalnih modela na oba skenera i merenjem i analizom 54 ortodontska parametra koji su na ovim modelima definisani [4,13]. Otisci skupa pacijenta, ukupno 25, su uzeti slučajnim uzorkom, sa Klinike za ortopediju vilica Stomatološkog fakulteta u Beogradu.

Istraživanje tačnosti skenera je jedna od važnih aspekata njihove primene, kojoj se posvećuje posebna pažnja, a ona se izvodi kroz sledeće prilaze: (i) njihovu kalibraciju i ispitivanje tačnosti prema relevantnom međunarodnom standardu [22] (laserski merni sistemi) [14-18], (ii) poređenjem tačnosti dva skenera, po pravilu različitih nivoa nominalne tačnosti, na primerima merenja realnih parametara [19], i (iii) indirektno ispitivanje tačnosti preko poređenja tačnosti merenja ortodontskih parametara na manuelnim i na 3D modelima [20,21]. U ovom radu se koristi drugi prilaz, komparacija dva skenera na primerima merenja istih parametara i analiza dobijenih rezultata [13]. Prednost ovog modela je što se tačnost skenera analizira na realnim primerima, za koji će se on dalje koristiti, a to je merenje ortodontskih parametara radi praćenja nivelacije zuba, kod realnih pacijenata, što je i sadržaj istraživanja ove teze.

Istraživanje ponovljivosti merenja je detaljno prikazano u tački 2 ove teze.

Za ovo istraživanje modeli vilica su izliveni u gipsu, a on (gips) reflektuje svetlost, pa su zbog toga idealni za skeniranje i to bez upotrebe antirefleksijske zaštite. Pri ovom procesu, važno je da se dobiju precizno skenirani gipsani modeli (iz "oblaka" tačaka dobijenih skeniranjem), pre svega zuba i gingivalnog ruba. Pravilno postavljeni RGE služe za merenje ortodontskih parametara u GOKS-u [4].

Na početku skeniranja modela, prvo se definiše područje merenja skenera, pa nakon toga se vrši kalibracija LazakScan skenera, sledećom procedurom: postavljanjem kamere u željeni položaj, a zatim se vrši podešavanje fokusa kamere za projekciju. Posle toga se rotira kalibracijska ploča, pri čemu skener samostalno na svakih nekoliko sekundi generiše slike (po želji). Kalibracijsku ploču pomeramo po celom mernom prostoru, pa je zatim rotiramo, da bi skener bio pod različitim uglovima.

Na ovaj način se jasno definiše odgovarajući algoritam, čime se skener prilagođava prostoru u kome će se vršiti skeniranje. Da bi postigli preciznost modela na okluzalnoj površini, skener LazakScan postavljamo tako da je snop zraka usmeren nadole prema gipsanom modelu, sa takvim upadnim uglom svetlosti, koji će obezbediti najbolju projekciju objekta skeniranja, a on u našem istraživanju iznosi 55°. Na ovaj način postizemo znatno manju refleksiju unutrašnjih i spoljašnjih, kao i okluzalnih površina zuba. Svaki gipsani model skeniramo iz 20 uglova. Takođe, 16 projekcija postavljamo tako, da bi ih rotirali u smeru kazaljke na satu za približno 22.5°.

Tačnost ortodontskih parametara koji se definišu pomoću RGE - tačke, određujemo na sledeći način. Ako znamo da je tačnost skenera Atos jednaka +/-0,01 mm [8], a skenera LazakScan jednaka +/-0,05 mm [9], dobijamo razlike u položaju tačaka od +/-0,06 mm, a kad se uključe i ortodontski parametri, onda razlike idu i do +/-0,12 mm. Da bi ove postavke proverili u praksi, vršili smo merenja ortodontskih parametara na 3D modelima istih vilica pomoću programske opreme GOM Inspect, a za obe vrste 3D modela dobijenih na oba skenera.

## Literatura

- [1]. Majstorović N., Mačužić J., Radić D., Glišić B., Nikodijević A., 3D Modelling in Orthodontics – one Approach, The 7th International Working Conference "Total Quality Management – Advanced and Intelligent Approaches", 3rd – 7th June, 2013, Belgrade, Serbia, Session 4: Young PhD researchers, Proceedings, ISBN 978-86-7083-791-1, COBISS.SR 198576396, pp: 245-252, 2013.
- [2]. Mačužić J., Majstorović N., Glišić B., Majstorović V., Application and Accuracy of 3D Modelling in the Field of Orthodontic, 35<sup>th</sup> International Conference on Production Engineering, Proceedings, ISBN 978-86-82631-69-9, COBISS.SR-ID 204080908, pp. 235-240, <http://www.mfkv.kg.ac.rs/ocs/public/site/images/bogojevic/proceedings.pdf>
- [3]. Mačužić J., Majstorović N., Glišić B., Majstorović V., Determination of Dental Arc Using 3D Model, International Journal Advanced Quality, Vol. 42, No. 1, United Association Serbia of Quality, 2014, ISSN 2217-8155.
- [4]. Majstorović N., Mačužić B., Glišić J., Referentni geometrijski entiteti, Stomatološki glasnik Srbije, 2014; 61 (2):102-112, Beograd, Srbija, DOI: 10.2298/SGS1402102M, <http://www.stomglas.org.rs/index.htm>.
- [5]. Majstorović N., Mačužić B., Glišić J., Assessment of Teeth Nivelation Based on 3D Model, International Conference "Leading Enabling Technologies for Societal Challenges", Bologna - 29th September – 1st October, 2014, Poster presentation, <http://lets2014.eu>.
- [6]. Majstorović N., Mačužić B., Glišić J., Using 3D Modeling in Assessment of Teeth Nivelation, 6th International ICT Conference; October 14 - 16. 2014, Niš, Serbia, Proceedings, pp. 186-200, <http://ictforum.rpknis.rs>.

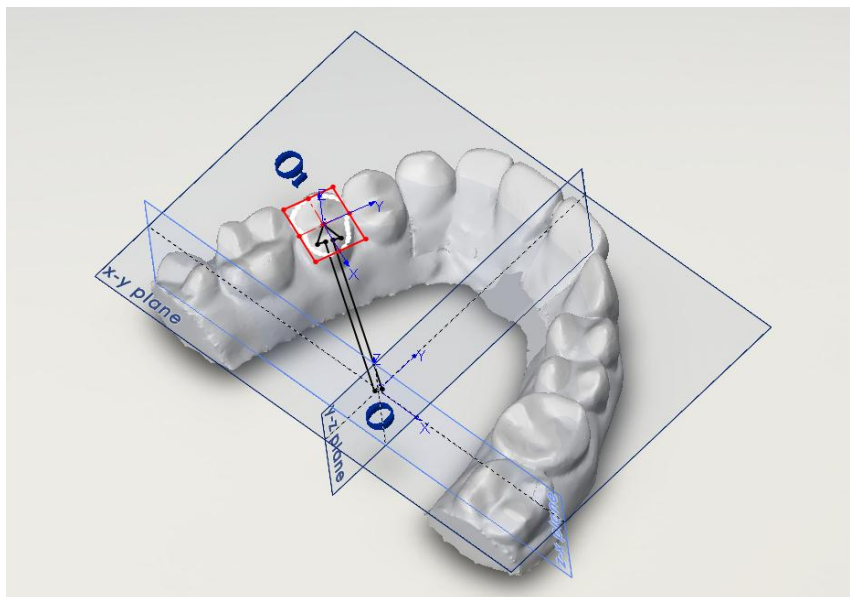
- [7]. Majstorović, N., Živković, S., Glišić, B., Dental Arch Monitoring By Splines Fitting Error During Orthodontic Treatment Using 3D Digital Models, Časopis Vojnosanitski Pregled 2019; March vol. 76 (No. 03): pp... (prihvaćen za objavljivanje).
- [8]. N N, ATOS Manuel for user, 2016, <http://www.gom.com/metrology-systems/atos/atos-triple-scan.html>, (pristupano decembra 2016).
- [9]. N. N., Manuel for user, 2016, Lab Lazak <http://lab.fs.uni-lj.si/lazak/lazak.html> , (pristupano decembra 2016).
- [10]. The American Board of Orthodontics (ABO) Digital Model Requirements, Original Release 04.23.2013, Last Update 03.26.2015. <https://www.americanboardortho.com>, (pristupano juna 2017).
- [11]. Živković S., Coordinate metrology in manufacturing of the complex spatial forms with applications to the aerodynamic surfaces, Monographic series: Scientific-technical information, Vol. LI No.2, Published by Military Technical Institute, ISBN 978-86-81123-68-3, Belgrade, 2014.
- [12]. Henri P. Gavin The Levenberg-Marquardt method for nonlinear least squares curve-fitting problems, Department of Civil and Environmental Engineering, Duke University, May 4, 2016, <http://people.duke.edu/~hpgavin/ce281/lm.pdf> (pristupano jula 2017).
- [13]. Bilateralni Projekat R Srbija – R Slovenija, EMONA G - Inženjersko modeliranje prorodne geometrije zuba, Projekat 16, 2016/2017 godina – Izveštaji o izvršenim istraživanjima, Beograd, Ljubljana, 2016.
- [14]. Juds, S., Photoelectric Sensors and Controls, Selection and Application, First Edition. Opcon, Everett, Washington, 1998.
- [15]. Bräuer-Burchardt C., Kühmstedt P., Notni G., Calibration of Stereo 3D Scanners with Minimal Number of Views Using Plane Targets and Vanishing Points. 16th International Conference CAIP 2015, Part II, pp. 61–73.
- [16]. Barone, S., Paoli, A., Rationale, V., Automatic alignment of multi-view range maps by optical stereo-tracking. International Conference IMProVe 2011, pp. 368–376.
- [17]. Danilo De A., Remo S., Angela C., Marco G., Cristina C., A new computer-assisted technique to aid personal identification. International Journal of Legal Medicine, Vol. 123, issue 4, 2009, pp. 351–356.
- [18]. El-etriby S., 3D Range Data Acquisition Using Structured Lighting and Accuracy Phase-Based Stereo Algorithm. International Journal of Computer Systems, Volume 02 – Issue 07, 2015. [www.ijcsonline.com](http://www.ijcsonline.com) (pristupano juna 2017)
- [19]. Bathow C., Breuckmann B., Scopigno R., Verification and acceptance tests for high definition 3D surface scanners. VAST 2010, The 11th International Symposium on Virtual Reality, Archeology and Cultural Heritage, Paris, 2010, pp. 9–16.
- [20]. Keating, A., Knox, J., Bibb, R., Zhurov, A., A comparison of plaster, digital and reconstructed study model accuracy, Journal of Orthodontics, Vol. 35, 2008, pp. 191–201.
- [21]. Siebert, P., Bell, A., Ayoub A., Assessment of the accuracy of a three-dimensional imaging system for archiving dental study models, Journal of Orthodontics, Vol. 30, 2003, pp. 219–223.
- [22] EN ISO 10360-10; Geometrical product specifications (GPS) - Acceptance and reverification tests for coordinate measuring systems (CMS) - Part 10: Laser trackers for measuring point-to-point distances, ISO Geneva, april 2016.

## 6. REZULTATI

Polazeći od ciljeva istraživanja, u ovoj tački teze, biće prikazani relevantni rezultati izvedenih istraživanja, primene 3D modela u nivelaciji zuba, a za definisane ciljeve istraživanja.

### 6.1. Definisanje referentnih geometrijskih entiteta

Radi definisanja RGE na 3D digitalnim modelima, napred opisanom procedurom je dobijen i modeliran 3D model u .stl formatu, slika 6.1.1, gornje vilice. Na njoj su obeležena dva koordinatna sistema – globalni ortodontski koordinatni sistem (GOKS<sub>g</sub>) za gornju vilicu (g), sa koordinatnim početkom O, i lokalni, za svaki zub (LOKS<sub>g5d</sub>) – koordinatni sistem 5-tog zuba, desno, gornja vilica, čiji je koordinatni početak O<sub>1</sub>.



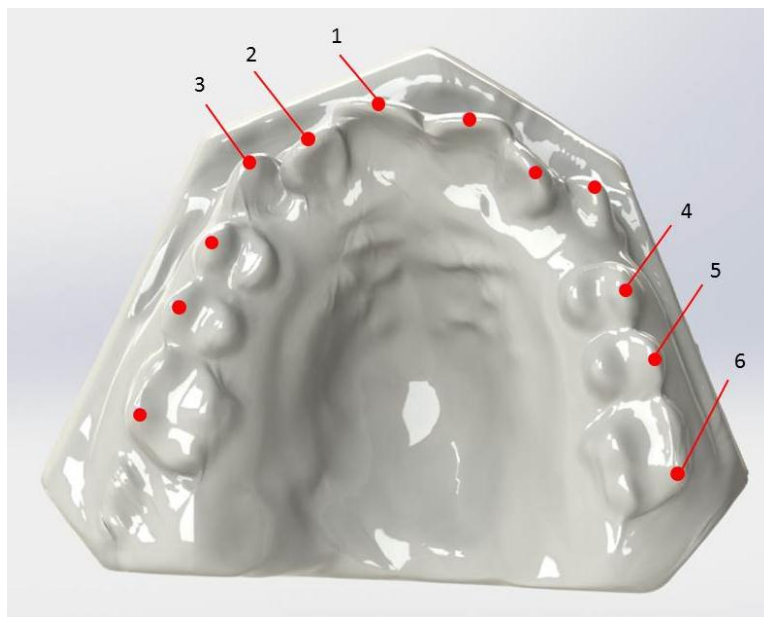
Slika 6.1.1. 3D model zubnog niza gornje vilice sa globalnim ortodontskim koordinatnim sistemom (GOKS<sub>g</sub>) i lokalnim koordinatnim sistemom (LOKS<sub>g5d</sub>)

Globalni ortodontski koordinatni sistem definiše i ortodontske ravni: x-y ravan (okluzalna), y-z ravan (medijalna), i z-x ravan (tuber). Posebno se napominje da je on određen po napred definisanim pravilima, a lokalni koordinatni sistem je transliran, po pravilu u neku anatomska tačku zuba.

#### 6.1.1. Osnovni geometrijski entiteti (OGE)

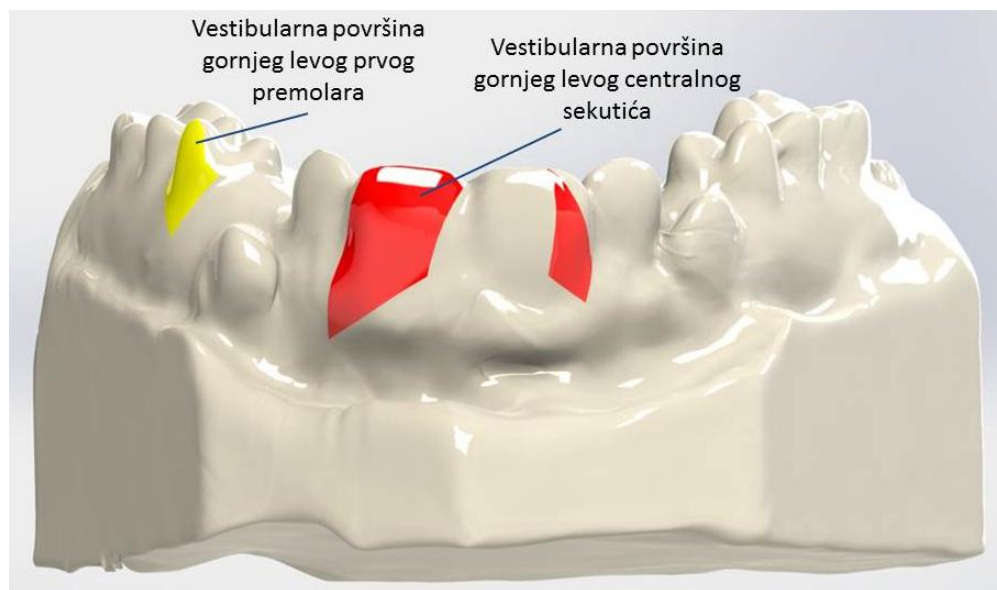
Da bi definisali OGE, prvo treba obeležiti karakteristične tačke, koje su neophodne da bi 3D model mogao da se koristi za analizu prostora, a radi praćenja nivelacije zuba, pomoću ortodontskih parametara. Analizirajući relevantna istraživanja iz ove oblasti u svetu i kod nas, a imajući ideju za naš model, obeležene su sledeće tačke: (i) sredinu incizalnih ivica sekutića, (ii) vrh kvržice očnjaka, (iii) vrh bukalne kvržice premolara, i (iv) vrh distobukalne kvržice prvih molara, slika 6.1.2.





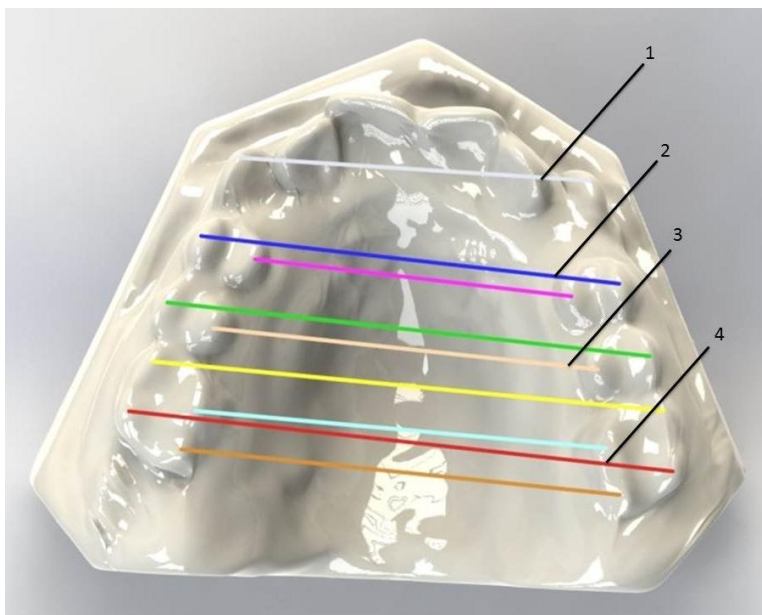
*Slika 6.1.2. Tačke: 1-sredina incizalne ivice centralnog sekutića, 2-sredina incizalne ivice lateralnog sekutića, 3-vrh kvržice očnjaka, 4-vrh bukalne kvržice prvog premolara, 5-vrh bukalne kvržice drugog premolara, 6-vrh bukodistalne kvržice prvog molara*

Kako je sam zub složena prostorna figura, na njemu se nalaze krive površine i linije. Njihov oblik i geometrijska tačnost 3D modela, zavisi od načina na koji je skeniranje izvršeno, kao i od mogućnosti softvera u kome se vrše analize i merenja, a sve ovo utiče i na oblik zagrižaja, slika 6.1.3.



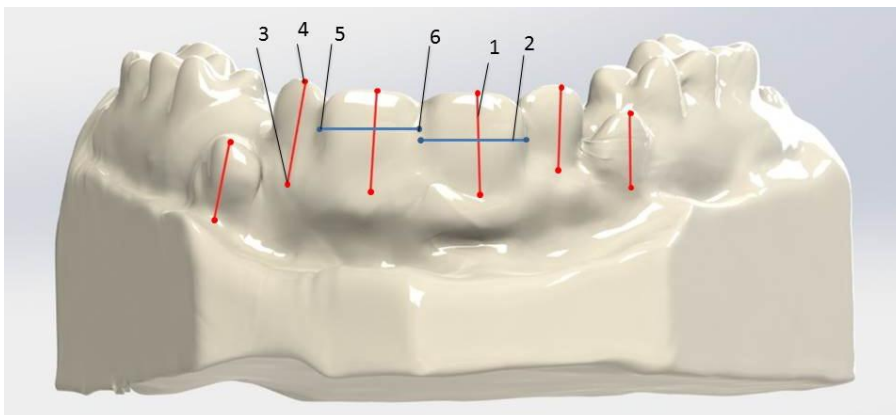
*Slika 6.1.3. Krive površine na modelu – karakteristične površine zuba*

Zbog svog izgleda i načina izrade, model gotovo da i nema pravih linija, ako posmatramo zub ili niz zuba. Sa druge strane, neki od ortodontskih parametara mogu se definisati kao rastojanja između definisanih tačaka. Te duži se koriste u merenju rastojanja između zuba iste klase u vilici, kao i između zuba jedne klase u jednom delu vilice i zuba druge klase u drugom delu vilice, slika 6.1.4. One se, na ovoj slici nalaze u okluzalnoj ravni.



Slika 6.1.4. Prave linije - duži na modelu gornje vilice, kao RGE; 1-rastojanje između kvržica očnjaka, 2-rastojanje između bukalnih kvržica prvog premolara, 3-rastojanje između palatinalnih kvržica drugog premolara, 4-rastojanje između bukodistalnih kvržica prvih molara

Pored toga što služe u merenju rastojanja, duži mogu poslužiti u merenju kliničke visine krune. Klinička visina krune definiše se kao rastojanje između najviše tačke na bukalnoj površini zuba i ivice na modelu, koja označava nivo marginalne gingive, slika 6.1.5. Takođe može se definisati i širina zuba kao rastojanje između tog zuba i susednih zuba, slika 6.1.5.

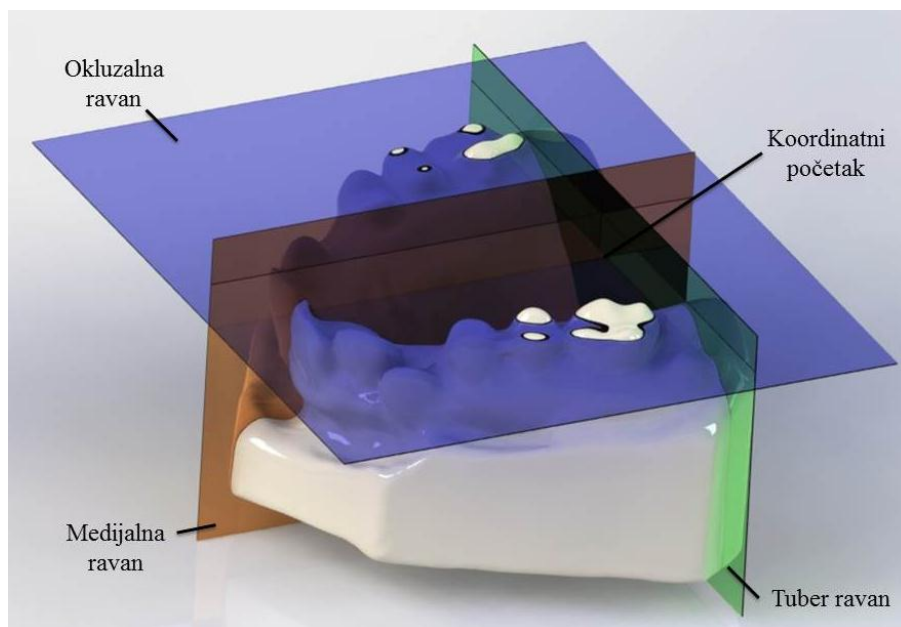


Slika 6.1.5. Merenje visine zuba – definisanje duži, 1-visina kliničke krune zuba, 2-širina kliničke krune zuba, 3-nivo marginalne gingive, 4-najviše tačke na bukalnoj površini zuba, 5-distalna kontaktna tačka zuba, 6-mezijalna kontaktna tačka zuba

### 6.1.2. Izvedeni geometrijski entiteti (IGE)

Da bi 3D model mogao da se upotrebi u svrhu analize prostora (za šta se kao zlatni standard danas koristi gipsani model) definisan je globalni ortodontski koordinatni sistem (GOKS), gde su njegove ose definisane kao X-osa, koja predstavlja osnovu medijalne ravni, deli model na dve jednake polovine, a ujedno prolazi kroz kontaktnu tačku centralnih sekutića, Y-osa je određena sa tuber ravni, koja dodiruje distalne površine prvih molara, i Z-osa, koja je određena okluzalnom ravni, koja je paralelna sa bazom

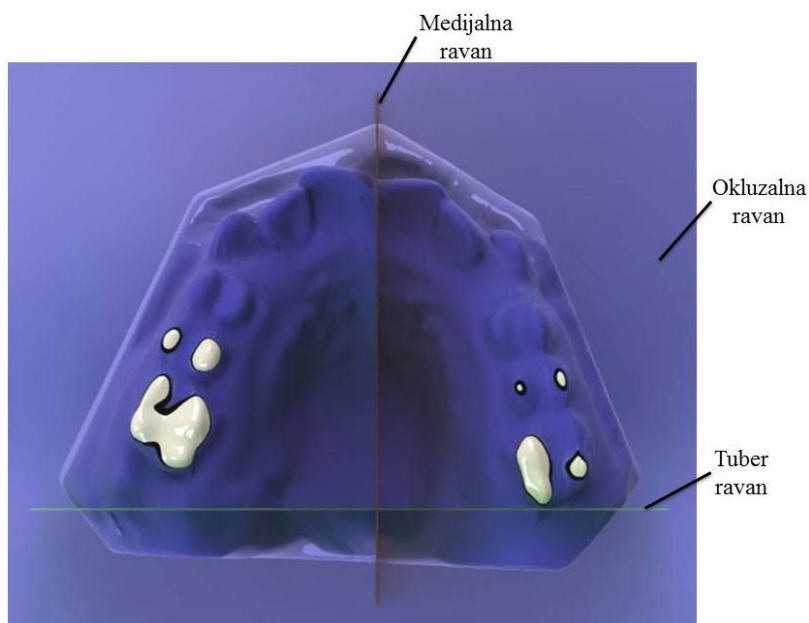
modela. Ravan prolazi između okluzalnih površina molara i pruža se horizontalno napred, slika 6.1.6. Detaljan način njihovog određivanja je prikazan u tački 6.3.



Slika 6.1.6. Ortodontski koordinatni sistem pogled u 3 ortodotske ravni ( $x$ - $y$ ,  $x$ - $z$  i  $y$ - $z$ )

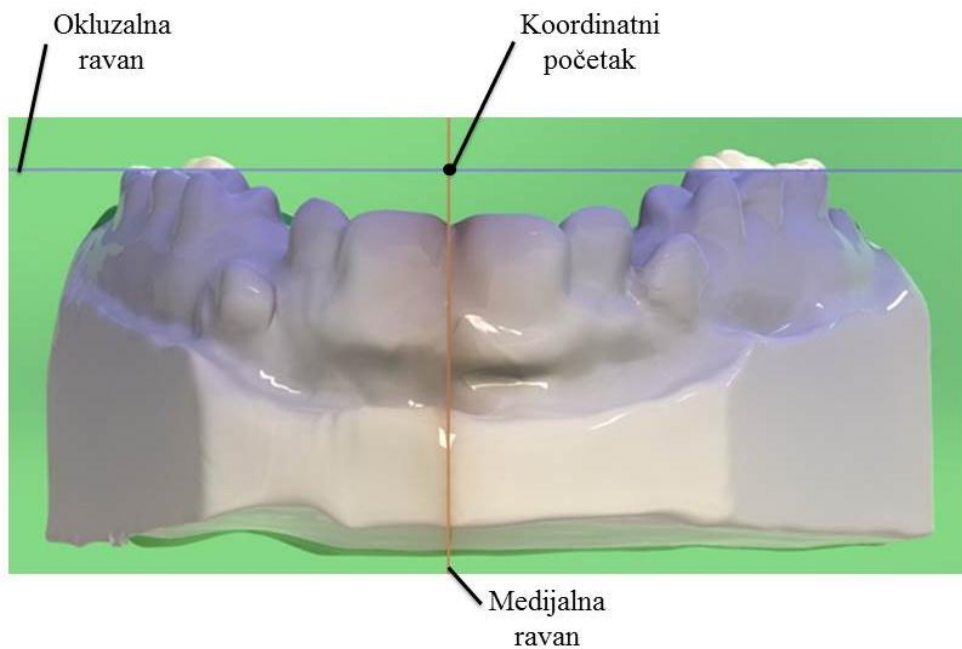
Na ovaj način je definisan GOKS, kao osnova za sve analize ortodontskih parametara u 3D digitalnom modelu. Ovde je važno napomenuti da je u ovom istraživanju definisan i "lokalni" koordinatni sistem (LOKS), za svaki zub, čije ose ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) su samo translirane / rotirane u odnosu na GOKS, a njegov koordinatni početak je lociran u karakterističnu - anatomsku tačku na zubu.

Softver u kome se mogu raditi analize 3D modela omogućava prikaz modela u različitim projekcijama, koje obezbeđuje vizuelno praćenje promenutih ortodontskih parametara, slika 6.1.7, iz različitih uglova/pogleda.

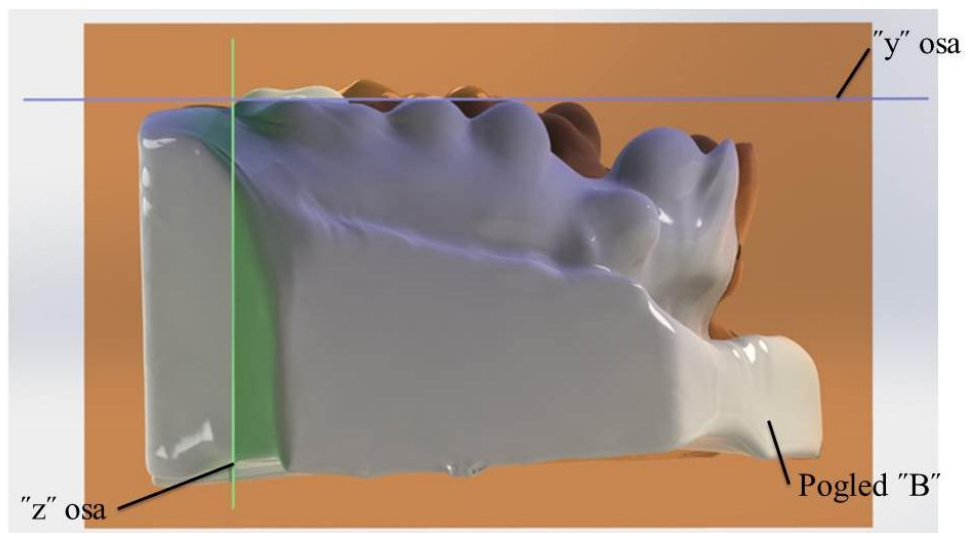


Slika 6.1.7. Koordinatni sistem, pogled 2 (ravan  $x$ - $y$ ) okluzalna perspektiva

Na slikama 6.1.8 i 6.1.9 prikazane su još dve projekcije mogućeg pomeranja (frontalna, bočna), zubnog niza XY pacijenta.

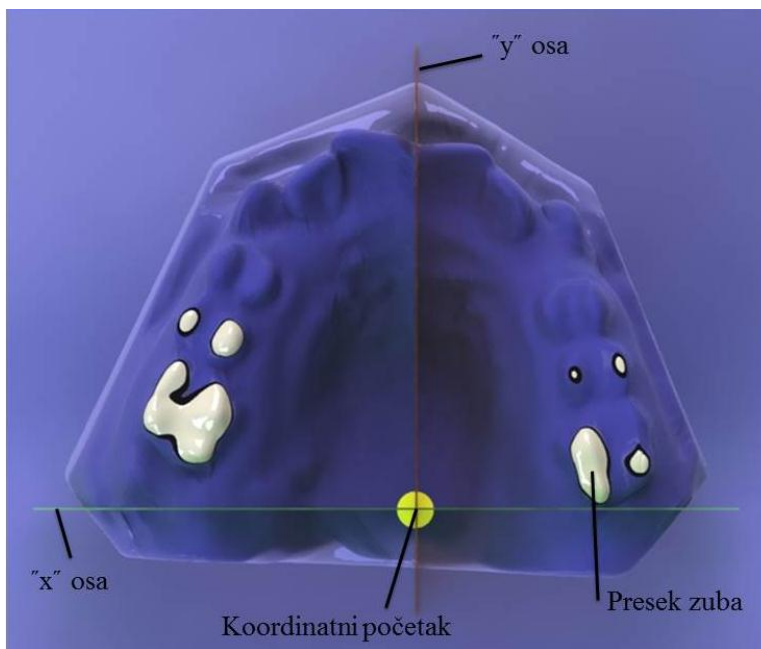


Slika 6.1.8. Koordinatni sistem, pogled 3 (ravan x-z) frontalna perspektiva



Slika 6.1.9. Koordinatni sistem, pogled 4 (ravan y-z) bočna perspektiva

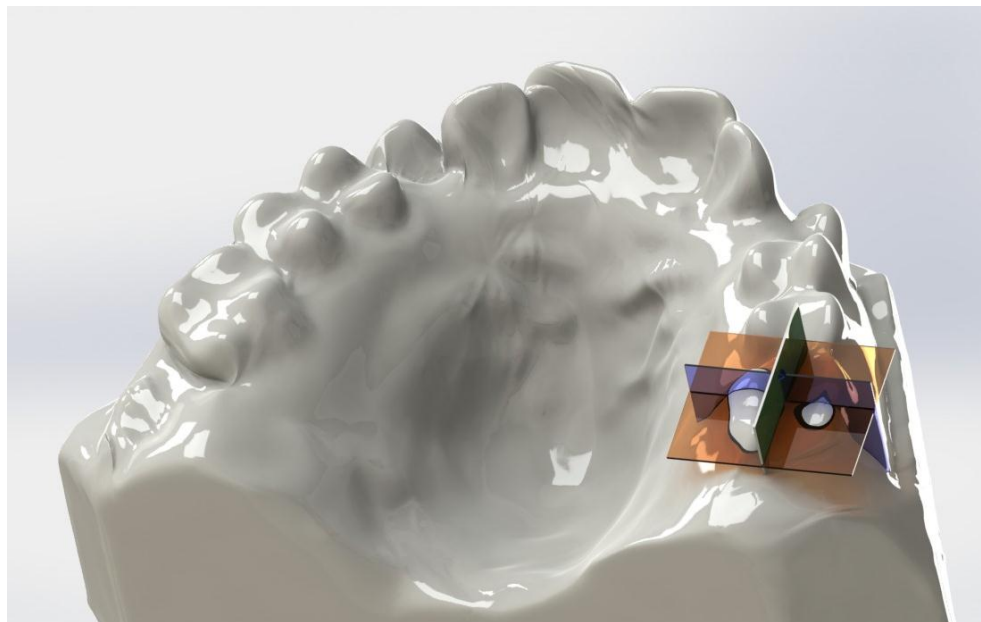
Kako su definisane koordinatne ravni, istovremeno je dobijen i koordinatni početak u odnosu na koji se vrše sva merenja (duž jedne ose, u ravni ili u prostoru), slika 6.1.10. Takođe su definisane i ose koje zaklapaju karakteristične ortodontske ravni: okluzalna (x-y), tuber (y-z) i medijalna (x-z).



Slika 6.1.10. Koordinatni početak se nalazi u preseku tri ortodontske ravni

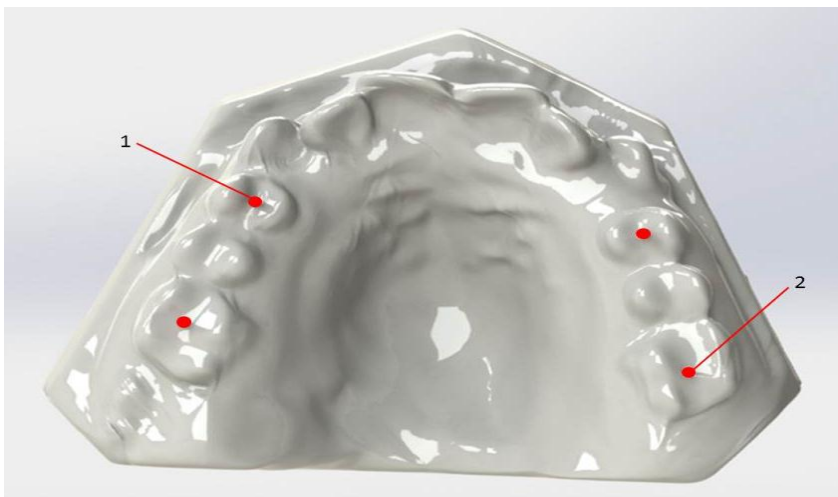
### 6.1.3. Anatomski geometrijski entiteti (AGE)

Ovi entiteti definišu morfološki oblik zuba. Svaki zub sastoji se od pet površina: (i) mezijalne, (ii) distalne, (iii) bukalne ili labijalne, (iv) palatinalne ili lingvalne i (v) okluzalne. Za merenja na modelu naročito su važne okluzalne površine. Na njima se obeležavaju tačke, koje služe za merenje odgovarajućih rastojanja, neophodnih za postavljanje dijagnoze, planiranje terapije, i praćenje rezultata iste, slika 6.1.11.



Slika 6.1.11. 3D model gornje vilice - karakteristične površine zuba i lokalni koordinatni sistem prvog molara

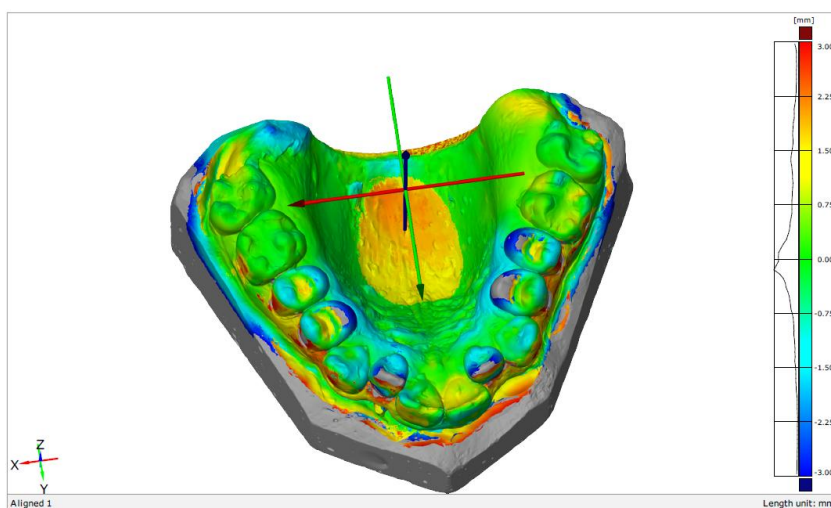
Na okluzalnim površinama obeležavaju se određene tačke. Njima se ograničavaju rastojanja, koja služe za procenu razvijenosti vilica. Prednje se nalaze u najdubljoj tački središnje brazde okluzalne površine prvog premolara, dok se zadnje nalaze u najdubljoj tački središnje brazde okluzalne površine prvog molara. U donjoj vilici malo je drugačiji raspored, pa se prednje tačke nalaze u tački spajanja bukalne i mezijalne površine drugog premolara, dok se zadnje nalaze na najvišoj tački bukomezijalne ili srednje kvržice prvog molara (ukoliko postoje tri bukalne kvržice), slika 6.1.12.



Slika 6.1.12. Obeležene tačke na prvim premolarima i prvim molarima, gornji model, 1-najdublja tačka distalne fisure prvog premolara, 2-najdublja tačka centralne fisure prvog molara

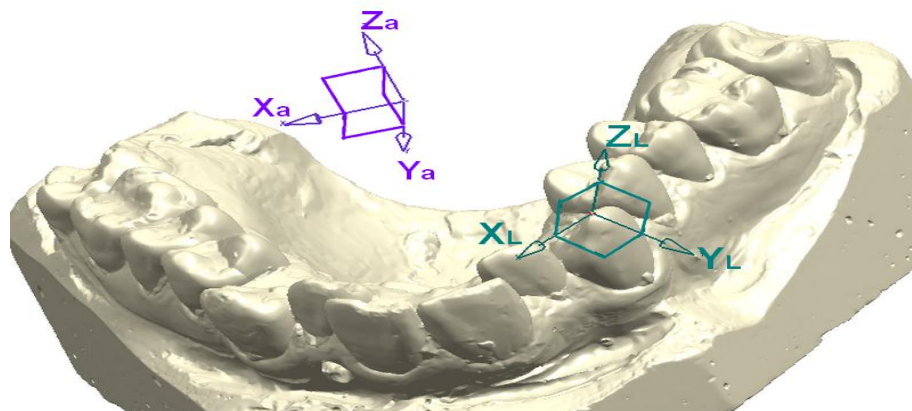
## 6.2. 3D Personalna ortodoncija

Za pacijenta XY je urađena je studija primene 3D modela za analizu, praćenje i ocenu njegovog ortodontskog stanja, praćenje i ocenu terapije, za fazu nivelacije zuba. Na slici 6.2.1 je prikazan 3D model donje vilice, sa obeleženim koordinatnim sistemom vilice – globalni ortodontski koordinatni sistem (GOKS), sa osama x,y i z, a prema procedurama objašnjenim u prethodnim tačkama. Početno stanje je definisano kao *master* model u odnosu na koji se vrše sve analize.



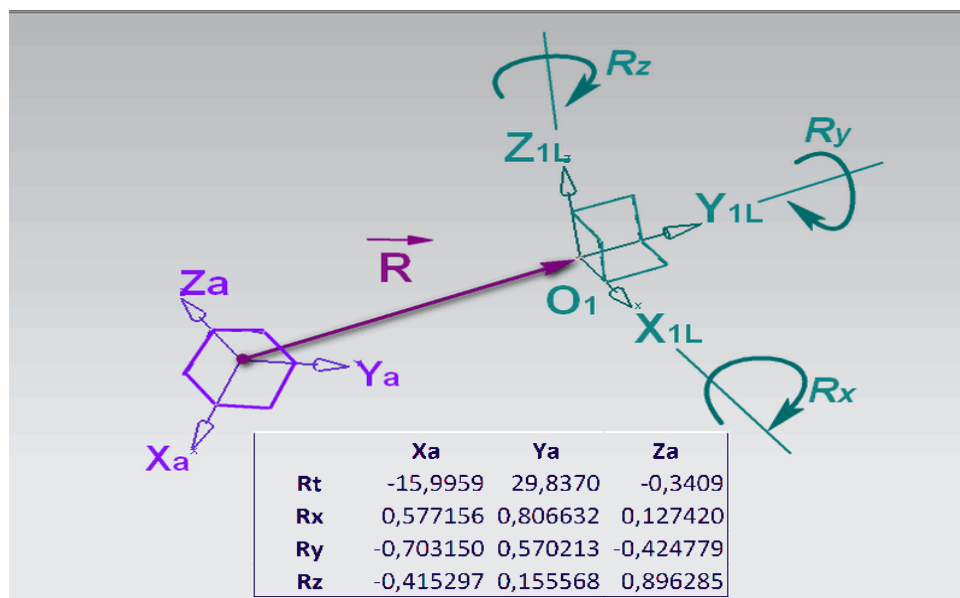
Slika 6.2.1. Koordinatni sistem donje vilice (master model)

One (ose), kao i koordinatne ravni su definisane na osnovu unapređenog modela ABO preporuka [1], slika 6.2.2, tačka 6.3.



Slika 6.2.2. Koordinatni sistemi 3D modela za pacijenta XY

Po istoj analogiji, on je određen za svaku kontrolu, a "preklapanje" položaja zuba u istom koordinatnom sistemu, od master modela do poslednje (desete kontrole) izvršeno je koristeći "best fit" funkciju [2] i metod "najmanjih kvadrata" [2], tako što je "preklapan" položaj svakog zuba posebno, slika 6.2.3. Na ovaj način su pomoću translacije referentnog vektora normale, za svaki zub [2], kao čvrstog tela dobijeni vektori translacije u prostoru:  $X_{1L}$ ,  $Y_{1L}$  i  $Z_{1L}$  (za prvi zub – levo) i tako redom, kao skalari, uz istovremeno rotiranje ovog tela (zuba) u prostoru:  $R_x$ ,  $R_y$  i  $R_z$ , kao i pomeranje LOKS-a, u odnosu na GOKS,  $R_t$  u mm.



Slika 6.2.3. Veze koordinatnih sistema kod 3D modela u istraživanjima (globalnog:  $x_a$ ,  $y_a$ ,  $z_a$ ) i lokalnog ( $x_{1L}$ ,  $y_{1L}$ ,  $z_{1L}$ )

Ovi rezultati su dati u tabelama 1 i 2 (translacija za osy x – od prve do desete kontrole u odnosu na početni – master model (početno stanje) za donju vilicu). Ova analiza je urađena za sve zube u obe vilice i za sve kontrole (ukupno 11 sa master modelom). Tabela 6.2.1 daje ortodontske parametre (OP) za gornju vilicu.

**Tabela 6.2.1. Pregled ortodontskih parametara (OP) za pacijenta XY za gornju vilicu**

Ravan / OP (mm)		Master	Kontrola									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Okluzalna	G1	32.012	31.537	31.688	31.750	31.772	31.790	31.821	31.863	31.876	31.852	31.853
	G2	37.324	37.586	37.650	36.651	36.771	36.780	37.802	37.809	37.843	37.851	37.967
	...											
	G7	55.227	55.055	55.531	55.634	55.621	55.682	55.759	55.771	55.811	55.901	55.916
	G8	44.650	43.701	43.818	43.878	43.971	43.978	44.150	44.167	44.177	44.230	44.244
Medijalna	G9	11.808	11.001	11.303	11.402	11.848	11.033	10.981	11.308	11.337	11.548	11.389
	G10	19.406	18.991	19.337	19.601	18.820	19.222	19.052	19.271	19.59	19.212	19.702
	...											
	G17	35.431	35.101	35.094	35.466	35.451	35.341	35.246	35.514	34.96	35.631	35.768
	G18	38.410	39.087	39.410	39.628	39.734	39.745	39.991	39.968	39.631	40.066	40.061
Tuber	G19	6.687	6.728	6.908	6.910	6.818	6.968	6.959	6.833	6.65	6.611	6.912
	G20	6.144	6.303	6.541	6.423	6.362	6.550	6.500	6.478	6.27	6.621	6.678
	...											
	G27	9.461	9.031	9.910	10.101	9.910	10.232	10.151	10.271	9.81	9.958	10.091
	G28	9.664	10.239	10.367	9.888	9.915	10.510	10.638	10.418	10.33	10.402	10.296

Napomena: Sve vrednosti su u mm.

Tabela 6.2.2 daje OP za donju vilicu.

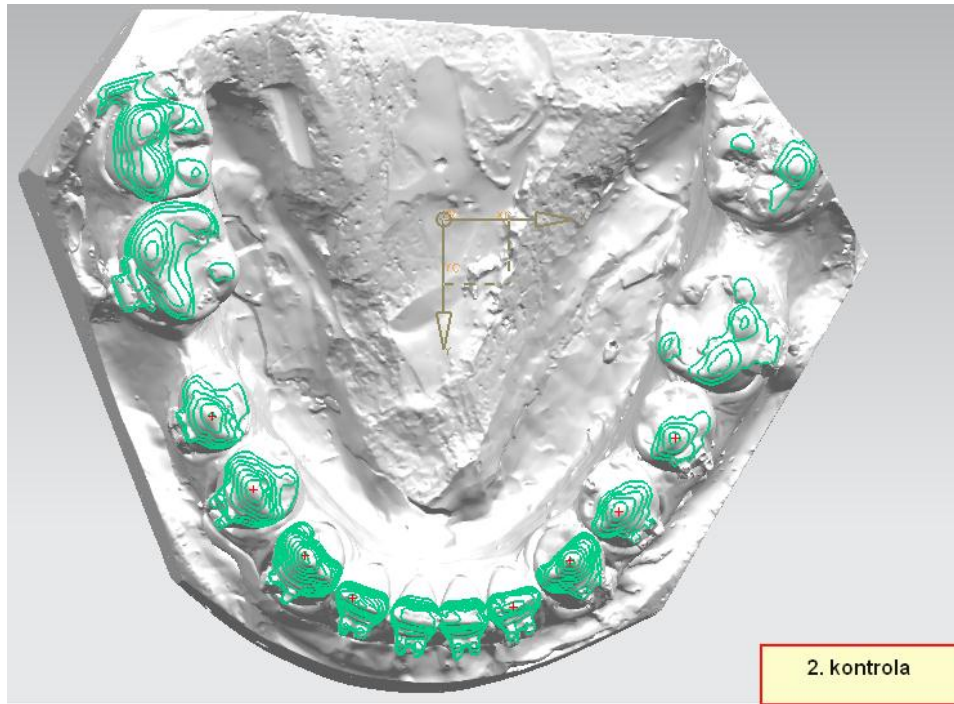
**Tabela 6.2.2. Pregled ortodontskih parametara (OP) za pacijenta XY za donju vilicu**

Ravan / OP (mm)		Master	Kontrola									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Okluzalna	D1	26.130	26.072	26.004	26.404	26.638	26.913	27.250	26.723	25.971	25.745	25.833
	D2	35.462	35.817	35.88	36.587	36.536	36.830	37.002	37.172	37.201	37.251	37.220
	...											
	D7	54.490	55.307	55.519	55.088	55.328	55.192	55.692	55.384	55.291	55.461	55.763
	D8	46.622	47.352	47.851	47.531	47.573	46.959	47.261	47.469	47.433	47.329	47.691
Medijalna	D9	11.292	10.791	11.457	11.790	11.971	12.161	12.138	12.420	12.508	12.084	12.360
	D10	21.368	21.161	21.178	21.261	21.878	21.910	22.101	21.782	22.121	21.435	21.352
	...											
	D17	4.976	5.191	5.254	5.441	5.490	5.282	5.199	5.358	5.592	5.232	5.521
	D18	5.401	5.288	5.523	5.312	5.491	5.308	5.581	5.482	5.341	5.351	5.657
Tuber	D19	9.948	9.422	10.113	10.097	9.990	9.781	10.035	9.768	9.610	9.528	9.752
	D20	*	10.091	10.33	10.128	8.718	9.96	10.042	10.059	9.818	9.961	10.23
	...											
	D25	*	8.411	10.271	9.991	9.841	9.711	9.816	9.912	9.660	9.676	9.931
	D26	8.962	9.049	9.306	9.021	8.960	8.981	9.071	8.838	8.603	8.843	9.187

Napomena: Sve vrednosti su u mm.

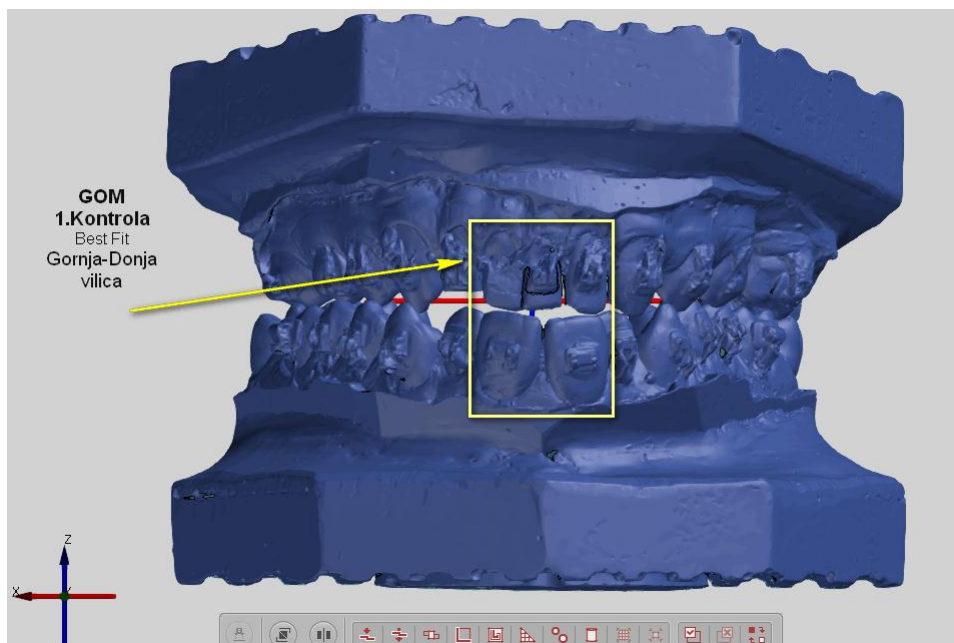


Na slici 6.4.2 dat je izgled preseka u GOSK, po osi z, za 2. kontrolu, u ravni koja je paralelna sa okluzalnom ravni, a na rastojanju od 0.5 mm, u pet nivoa. Oni nam iz kontrole u kontrolu obezbeđuju vizuelni izgled preseka zubnog niza, koji se menja, od kontrole, do kontrole. Na ovaj način, praćenjem vrednosti ovih površina, dolazimo i do podataka o okluziji, koja je suštinski cilj ovih analiza.



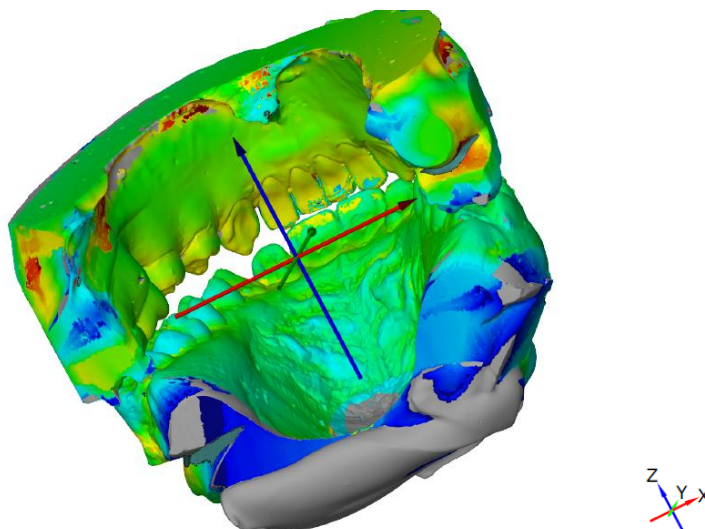
Slika 6.2.4. Izgled donje vilice, druga kontrola, presek po z osi, na različitim visinama od okluzalne ravni

Na slici 6.2.5 je prikazana jedna projekcija zagrižaja u ravni x-z, gde se može videti okluzija iz pravca ose y.



Slika 6.2.5. Izgled zagrižaja, druga kontrola, pogled - pozitivan pravac ose y

Sledeći primer se odnosi na pogled istog slučaja sa prethodne slike, iz negativnog pravca ose y, slika 6.5.3, pod uglom od 30 stepeni okluzalne ravni (x-y).



Slika 6.2.6. Izgled zagrižaja, druga kontrola, pogled - negativan pravac ose y

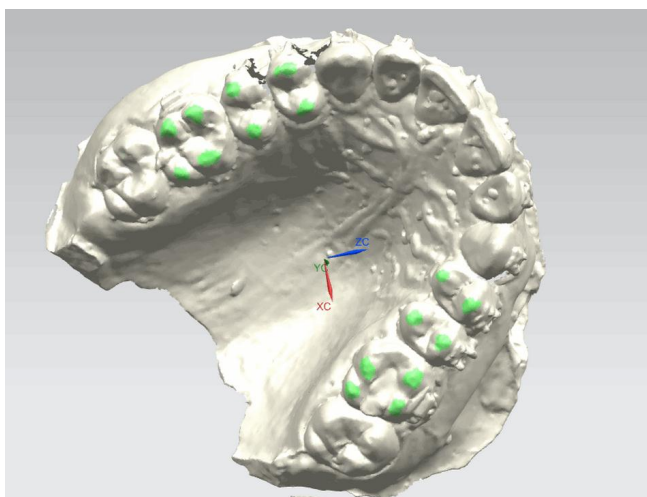
Detaljna diskusija je data u 7.2 tački.

### 6.3. Praćenje pomeranja zuba u prostoru

Da bi mogli pratiti anatomske tačke na zubima i njihovo pomeranje u prostoru (translacija), prvo moramo odrediti koordinatni sistem vilice na nov način (GOKS).

Radi objašnjenja suštinske razlike između ABO metoda i GOKS-a, ovde se daju faze njegovog određivanja.

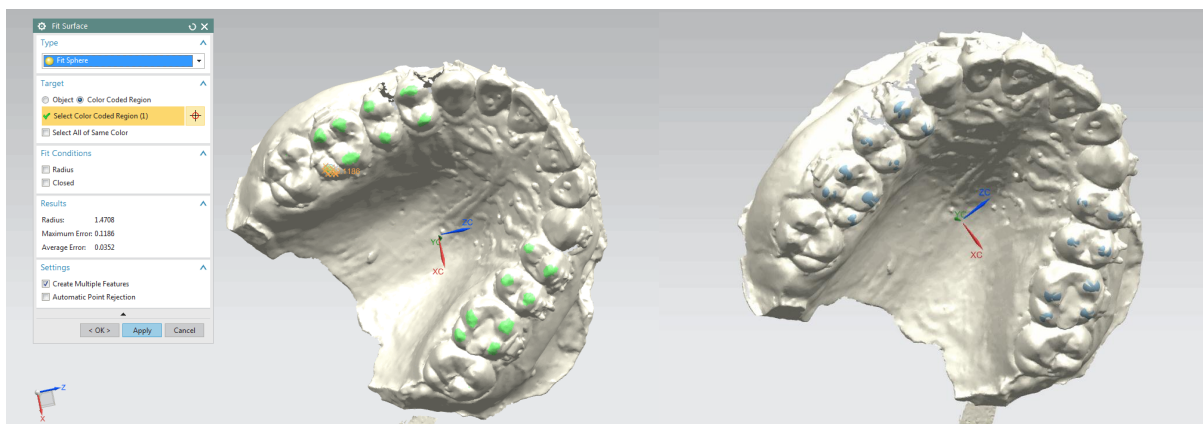
**Faza 1:** Na početku definišemo referentni pravac (vektor) u kome će se odrediti tačke maksimuma na vrhovima (kvržicama) molara, koji je nepoznat. Zato je potrebno tačno odrediti taj pravac, a to se radi tako što se vrši softversko uvećanje vrha/gornje površine zuba, od nekoliko desetina/stotina puta, tako da se vizuelno i tačno određuje, površina oko položaja anatomske tačke zuba. Nakon njenog određivanja (definisanja) moguće je definisati tačke na vrhovima molara, slika 6.3.1.



Slika 6.3.1. Prvi korak, obeležavanje 16 zona premolara i molara

Obeleže se (ofarbaju) zone (dakle površine, ne tačke) u kojima se traži (očekuje) tačka maksimuma na molarima, ukupno 8 zona levo i 8 zona desno (levo i desno 4 zone na prvom molaru i po 2 zone na svakom premolaru). Ovaj je jedini korak koji veoma zavisi od stomatologa. Ali u smislu neophodnog kompjuterskog predznanja, ovaj korak ne zahteva nikakva matematička ili kompjuterska predznanja lekara stomatologa. Zahteva jedino vizuelna prepoznavanja vrhova molara i premolara.

**Faza 2:** Savremeni inženjerski CAD/CAM sistemi (opšte namene) imaju implementiranu komandu „Fit Sphere“ koju je moguće izvršiti nad svim obeleženim zonama odjednom (Select All of the Same Color). Sistem obaveštava za svaku od zona „Radius, Maximum Error, Average Error“. ABO uputstvo zahteva „Scan accuracy must be at 0.20 millimeters or **better**“. Korisnik ima na raspolaganju „Automatic Point Rejection“ ako proceni da je maksimalna greška fitovanih sfera (kalota) veća od ove vrednosti. Na prethodnoj slici to nije slučaj pa ta opcija nije uključena. Nakon izvršenja komande fitovane kalote izgledaju kao slici 6.3.2.



Slika 6.3.2. Drugi korak, fitovanje kalota (delova sfere) na obeleženim zonama

**Faza 3:** Fituje se ravan (Fit Plane) metodom najmanjih kvadrata (Least Squares Fitting) kroz tačke koje se nalaze u centrima kalota/sfera. Ova ravan je pomoćna, njen vektor normale je glavni/referentni pravac; obeležen je plavom strelicom na slici 6.3.3 desno.

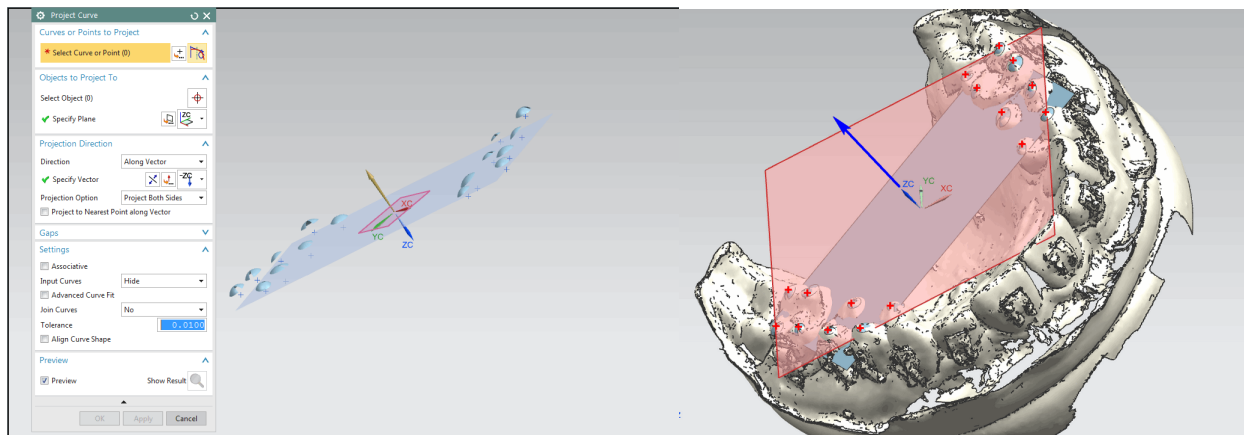


Slika 6.3.3. Treći korak, fitovanje ravni kroz centre kalota (sfere)

**Faza 4:** Ovako dobijene tačke na površini modela vilice su sasvim sigurno tačke maksimuma na molarima i premolarima. Crveni krstići na slici 6.3.4 su tačke (16 points) na vrhovima molara i

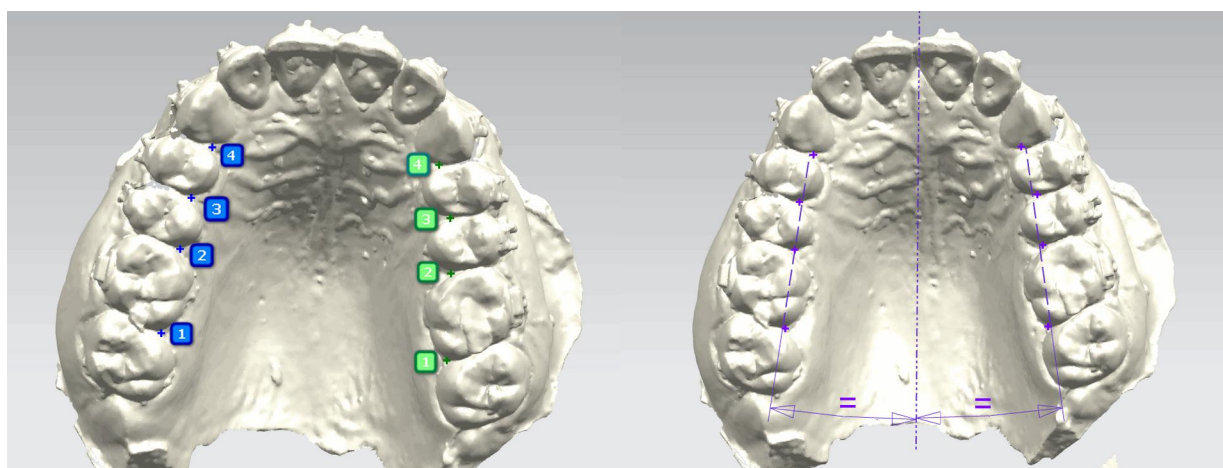
premolar. Ravan interpolirana metodom Least Squares Fitting kroz tačke na vrhovima je XY ravan vilice (okluzalna); slika 6.3.4 desno.

Na slici 6.3.4, levo, su prikazane dve ravni: pomoćna kroz centre kalota (donja) i krajnje dobijena XY ravan (gornja). Vidi se da su to, u suštini, dve paralelne ravni. Crvena ravan je tako osnovna XY ravan (okluzalna), položaj  $Z=0$  je određen/fiksiran, slika 6.3.4, desno.



Slika 6.3.4. Četvrti korak, projektovanje tačaka koje se nalaze u centrima kalota na površinu Facet body u pravcu vektora normale pomoćne ravni, definisana XY ravan (okluzalna)

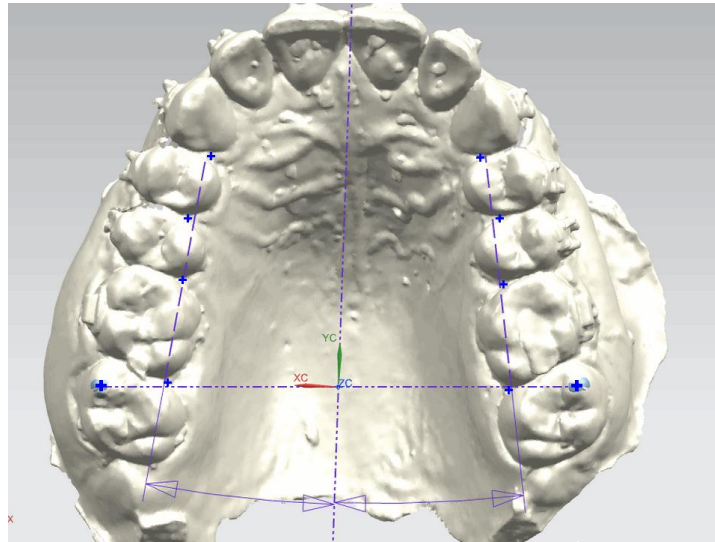
**Faza 5:** ABO preporučuje 2+2 tačke za određivanje pravca Y ose. Smatramo da je to nedovoljno precizno i dovodi u nedoumicu korisnika gde da obeleži te tačke. Istraživanje nas je dovelo do toga da treba da budu 4+4 tačke obeležene na slici 6.3.5, levo. ABO uputstvo predviđa prvu i četvrtu tačku levo i desno, slika 6.3.5, levo. Radi povećanja tačnosti i ponovljivosti mi uzimamo još po 2 tačke levo i desno (tačke 2 i 3 levo i desno) tako da ih ima ukupno 8 (4+4). Veći broj tačaka u ovom koraku smanjiće moguće greške pri obeležavanju tačaka. Interpoliraju se metodom Least Squares Fitting dve prave (isprekidane), levo i desno, slika 6.3.5, desno. Pravac Y ose je simetrala ove dve prave, što je prikazano na slici 6.3.5.



Slika 6.3.5. Peta faza, određivanje pravca Y ose

**Faza 6:** ABO uputstvo preporučuje da je koordinatni početak/origin na polovini rastojanja najdaljih spoljašnjih i unutrašnjih zuba. Smatramo da je to neprecizno, jer se zubi pomeraju tokom ortodontske terapije, posebno prednji zubi. Naš je predlog da koordinatni početak (0,0,0) bude vezan za sedmice koje su, najčešće, tokom terapije ne pomeraju, odnosno nepokretne su.

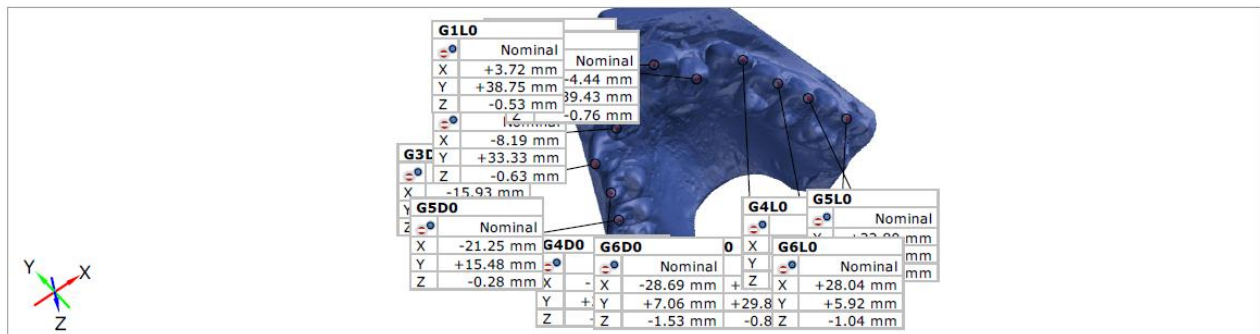
Da bi se dobila nula (0,0,0) obeleže se zone vrhova sedmica (paint faced body), fituju se kalote (Fit Sphere), tačke u centru se projektuju na prethodno određenu XY (okluzalnu) ravan. Linija koju definišu ove dve tačke preseca prethodno određeni pravac Y ose. Dobijena tačka preseka je koordinatni početak (0,0,0), koordinatnog sistema vilice. Na slici 6.3.6 je prikazana ova faza.



Slika 6.3.6. Šesta faza, definisanje koordinatnog sistema (0, 0, 0) vilice

Na ovaj način je određen GOKS, koji nam omogućuje suštinske analize ortodontskih parametara (uvek sa istim koordinatnim početkom), sa najvišom tačnošću i ponovljivošću tokom kontrola, koje slede u ortodontskoj terapiji.

Na bazi ove procedure, izgled načina određivanja karakterističnih tačaka na zubima, kao OGE, a pomoću koje se određuje njena translacija u prostoru u skucesivnim kontrolama je prikazan na slici 6.3.7.



Slika 6.3.7. OGE sa tačno definisanim koordinatama u prostoru

Detaljni izveštaj sa analizama i komentarima je prikazan u 7.3, ove teze.

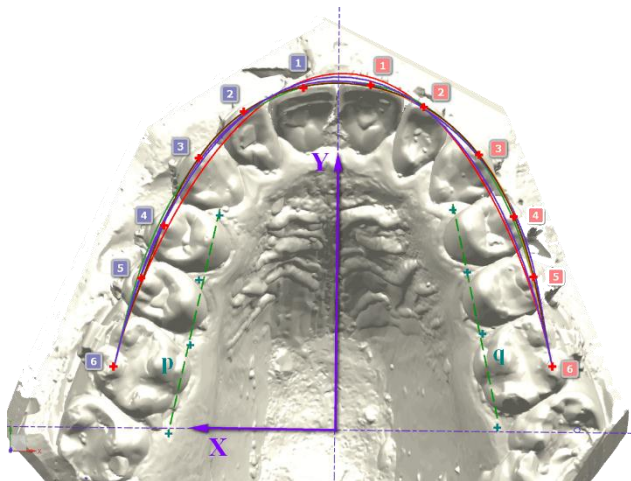
## 6.4. Oblik zubnog luka

Određivanje oblika krive linije zubnog luka, vršena je interpolacijom (fitovanjem) krivih linija nad svim digitalnim modelima gornje i donje vilice, opisanom u tački 5.4 ove teze.

U postojećoj literaturi, ne postoji obimna matematička analiza funkcije o obliku zubnog luka kod osoba sa normalnom okluzijom, pri ortodontskoj terapiji. Zbog toga, cilj ovog rada je da se funkcija zubnog luka definiše kao polinom, od 3-ćeg do 8-og stepena, i izvrši njegova detaljna analiza, prateći sve faze ortodontske terapije. Suština problema je da se tokom terapije, menja položaj zuba u vilici, što dovodi do promene položaja koordinatnog sistema vilice, u odnosu na koga se modelira funkcija zubnog luka. Posledica ovoga je, da se sa relativno malom tačnošću mogu porediti oblici zubnog luka za dva stanja – faze terapije. Iz tih razloga, ovde je određen GOKS po unapređenoj metodi ABO, čime se anulira ovaj negativni uticaj, tako da se zubni luk može apsolutno tačno porediti za svaku fazu ortodontske terapije međusobno.

Krive linije koje opisuju zubni luk definišu se u X-Y (okluzalnoj) ravni ortodontskog koordinatnog sistema digitalnog modela vilice, [4]. Njega određujemo prema ABO preporukama [10], koje smo unapredili prema proceduri iz tačke 5.4, a ovo uputstvo je *defacto* opšte prihvaćeni svetski standard za postavljanje koordinatnog sistema na digitalnom modelu. On se generiše kao .ply, .stl ili .obj file, a sadrži sve elemente na osnovu kojih se vrše dalje analize. Prema ovom uputstvu [10], rezolucija skenera na kojima se generišu 3D digitalni modeli, mora biti 0.10 mm ili veća, a tačnost 0.20 mm ili veća. Jedna od osnovnih karakteristika procedure određivanja GOKS-a je ta da ona obezbeđuje ponovljivost merenja (skeniranja) jednog modela vilice na različitim skenerima, što je izuzetno značajno za 3D digitalne modele. Sa druge strane, ako se upoređuje nekoliko različitih modela vilice, što je slučaj tokom ortodontske terapije jednog pacijenta, ABO uputstvo ne obezbeđuje dovoljnu preciznost. Pre svega ovo se odnosi na definisanje orijentacije Y-ose (Y-Z: medijalna ravan) kao i nule (origin) koordinatnog početka, koordinatnog sistema.

Na slici 6.4.1 je prikazan 3D model sa anatomskim tačkama na zubima, od 1 do 6, levo i desno, kao i oblici splajnova od trećeg do osmog stepena.



Slika 6.4.1. Zubni luk – Splajnovi od 3-ćeg do 8-og stepena

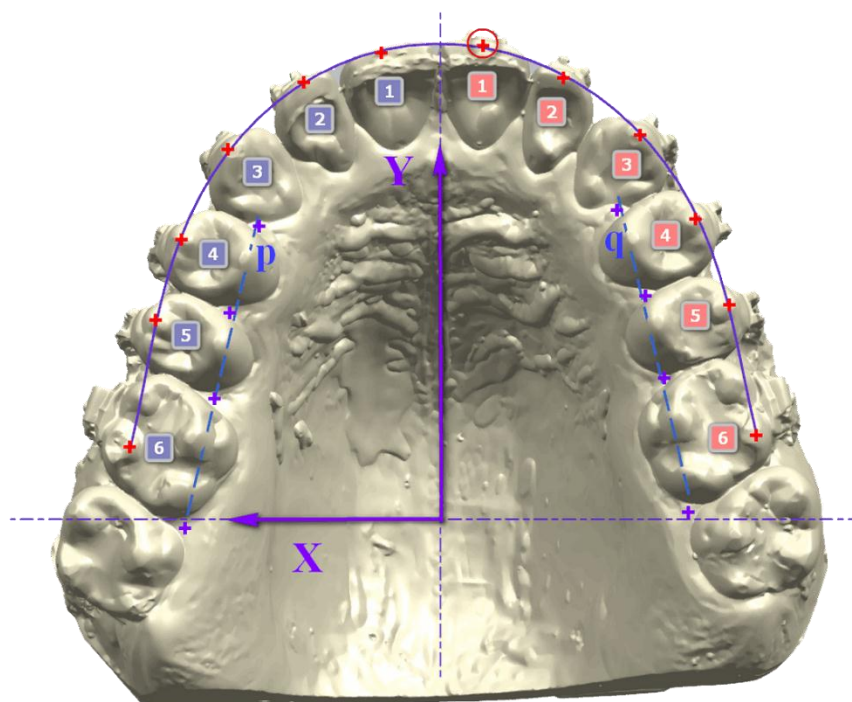
Izvršena je analiza upotrebe splajnova 3, 4, 5, 6, 7, i 8. stepena pri modeliranju krive linije dentalnog luka. Matematičke osnove [10] ovog modela su splajnovi (krive linije), koji imaju široku primenu u raznim, ne samo inženjerskim oblastima. Njihova upotreba na CAD/CAM/CAE je jednostavna i intuitivna, a ne postoji savremeni CAD/CAM/CAE sistem koji ne sadrži mogućnost kreiranja splajnova.

Pri modeliranju krive dentalnog luka, u ovim istraživanjima, prva dilema koja se postavlja je - koji stepen krive linije / splajna izabrati?

Najraniji opis idealnog zubnog luka pružio je Bonwill (1887) [11] koji je predložio da je idealan zubni luk bio zasnovan na jednakostraničnom trouglu sa bazom koja predstavlja širinu u predelu kondila. Nešto kasnije Hawley (1905) je dopunio ovaj model, koji je kao Bonwill-Hawley oblik zubnog luka dominirao u ortodonciji, i bio je najprimenljiviji od strane proizvođača. Black (1902) je opisao da su zubi u gornjoj vilici smešteni u obliku poluelipse, dok je Angle (1907), sa druge strane, smatrao da je njegova "linija okluzije" prikazana parabolnom krivom [11].

Primena kompjutera donela je nov pristup u rešavanju ovog problema. BeGole i Lyew (1998) i Davis and BeGole (1998) su koristili funkciju trećeg stepena za modeliranje oblika zubnih lukova. Pokazuje se da je korišćenje kubne jednačine od pomoći u proceni promena zubnog luka tokom i posle ortodontske terapije [11].

Ova istraživanja su usmerena na personalnu ortodonciju, onu koja se odnosi na tačno određenu osobu, a ne da se kriva linija dentalnog luka analizira kao prosek dela ili šire populacije. Studija slučaja koja se ovde iznosi pokazala je da je splajn 6-tog stepena najprirodnije opisao krivu liniju dentalnog luka u svim fazama terapije, slika 6.4.2. Posle osmog stepena, nema smisla vršiti modeliranje zubnog luka, zbog toga što se splajnovi 8 i 9 stepena poklapaju.



Slika 6.4.2. Zubni luk – 6-ti stepen splajna (10-ta kontrola) za gornju vilicu

Interpolirani su splajnovi 3, 4, 5, 6, 7 i 8 stepena od početnog stanja (master model) u svih 10 sukcesivnih kontrola. Svi splajnovi su fitovani kroz 12 tačaka, od desne prema levoj strani vilice: 6-5-4-3-2-1-1-2-3-4-5-6. Tačke interpolacije su na slici 6.4.2 označene crvenim krstićima. Svaki od interpoliranih splajnova na svom početku ima nagib (End Slope) prave linije „p“ a na svom kraju ima nagib (End Slope) prave linije „q“ koje su prikazane na slici 6.3.2. Simetrala linija „p“ i „q“ određuje pravac Y ose kako je to objašnjeno u poglavlju „Koordinatni sistem digitalnog modela vilice“.

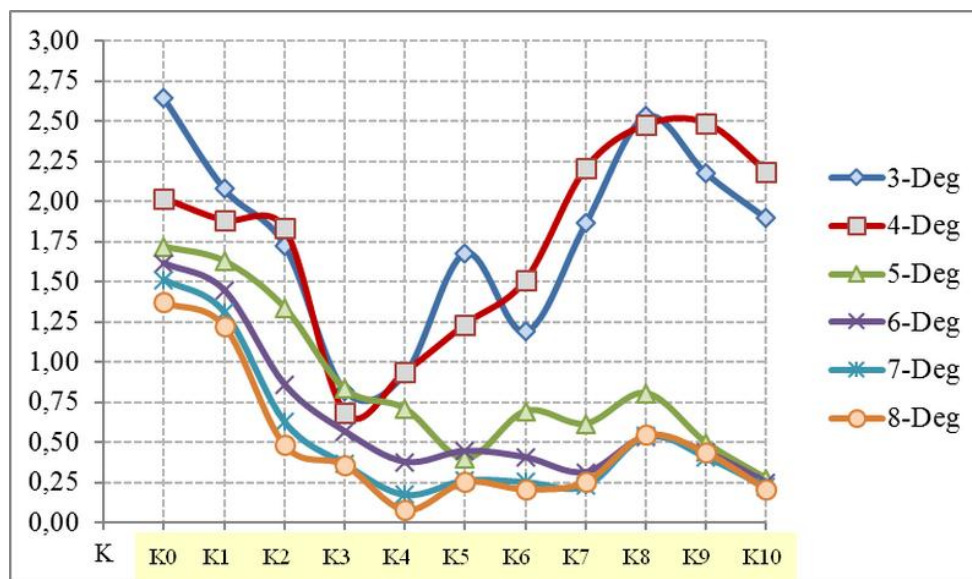
Za svaki od fitovanih splajnova CAD/CAM/CAE sistem daje sledeće informacije: Maximum Fitting Error (M), indikator tačke u kojoj je maksimalna greška i Average Fitting Error (A). Na slici 6.4.2, tačka sa maksimalnim odstupanjem obeležena je crvenim kružićem. Dobijeni rezultati su prikazani u tabeli 6.4.1.

**Tabela 6.4.1.** Gornja vilica - Maksimalno (M) i Prosečno (A) odstupanje fitovanih splajnova od trećeg do osmog stepena

Stepen splajna		K0	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
3	M	2,6419	2,0781	1,7265	0,8201	0,9267	1,6789	1,1882	1,8624	2,5292	2,1747	1,8950
	A	1,2435	0,8817	0,9343	0,2849	0,3718	0,5465	0,4455	0,9098	1,0761	1,1991	0,8907
4	M	2,0158	1,8785	1,8311	0,6814	0,9350	1,2321	1,5078	2,2048	2,4748	2,4857	2,1859
	A	0,9762	0,8283	0,7214	0,3224	0,4361	0,6122	0,6731	1,0754	1,2357	1,3144	1,0987
5	M	1,7169	1,6267	1,3368	0,8298	0,7072	0,3968	0,6918	0,6134	0,8038	0,4946	0,2706
	A	0,8106	0,7257	0,7366	0,2527	0,2086	0,1994	0,2425	0,1848	0,2271	0,2415	0,1064
6	M	1,6145	1,4461	0,8584	0,5662	0,3757	0,4436	0,4041	0,3117	0,5306	0,4354	0,2471
	A	0,7019	0,6228	0,3463	0,2312	0,1316	0,2070	0,1993	0,1037	0,1684	0,2017	0,0968
7	M	1,5095	1,3076	0,6270	0,3636	0,1725	0,2617	0,2516	0,2264	0,5382	0,4064	0,2191
	A	0,6513	0,6219	0,2597	0,0994	0,0742	0,1122	0,0957	0,0860	0,1722	0,1947	0,0911
8	M	1,3729	1,2245	0,4834	0,3595	0,0790	0,2531	0,2081	0,2548	0,5441	0,4360	0,2060
	A	0,7106	0,6296	0,2127	0,1031	0,0420	0,1149	0,0910	0,0767	0,1801	0,1798	0,0994

Legenda: K – kontrola (0-početno stanje, 10-ta kontrola). M – max vrednosti parametra u posmatranoj kontroli. A – prosečna vrednost istog parametra. Sve vrednosti su u mm.

Dijagramska analiza max odstupanja je prikazana na slici 6.4.3. Vrednosti na y-osi, su u mm, a analize su date za splajnove od 3 do 8 stepena. Sa navedene slike se vidi da se splajnovi sedmog i osmog stepena skoro poklapaju.

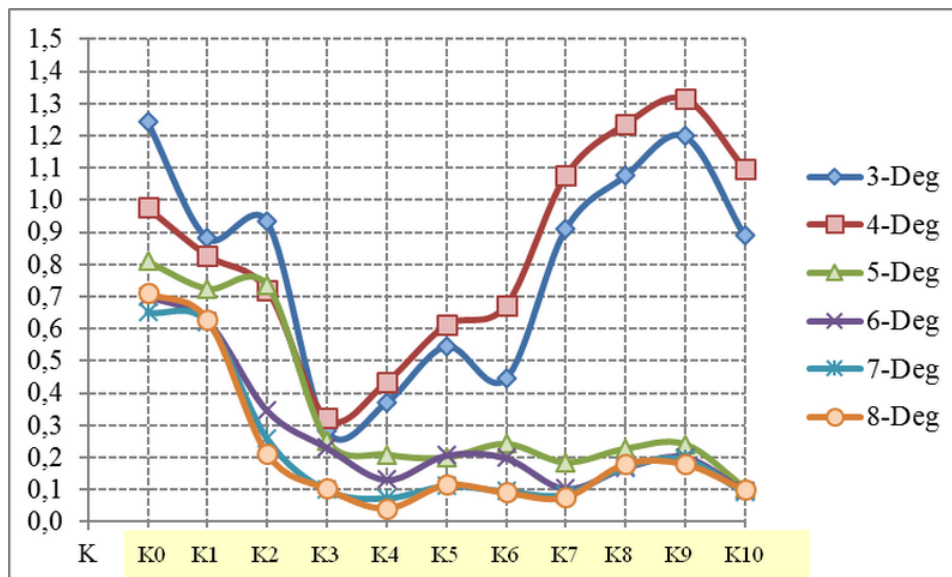


Legenda: Osa y – vrednosti u mm za max odstupanja splajna različitog stepena u kontrolama od master modela (K0), do poslednje – K10 kontrole. Osa x – kontrola, od master (K0), do desete (K10).

**Slika 6.4.3.** Dijagram maksimalnih odstupanja



Dijagramska analiza prosečnih odstupanja je prikazana na slici 6.3.4. Vrednosti na y-osi, su u mm, a analize su date za splajnovne od 3 do 8 stepena. Sa navedene slike se vidi da se splajnovi sedmog i osmog stepena skoro poklapaju.



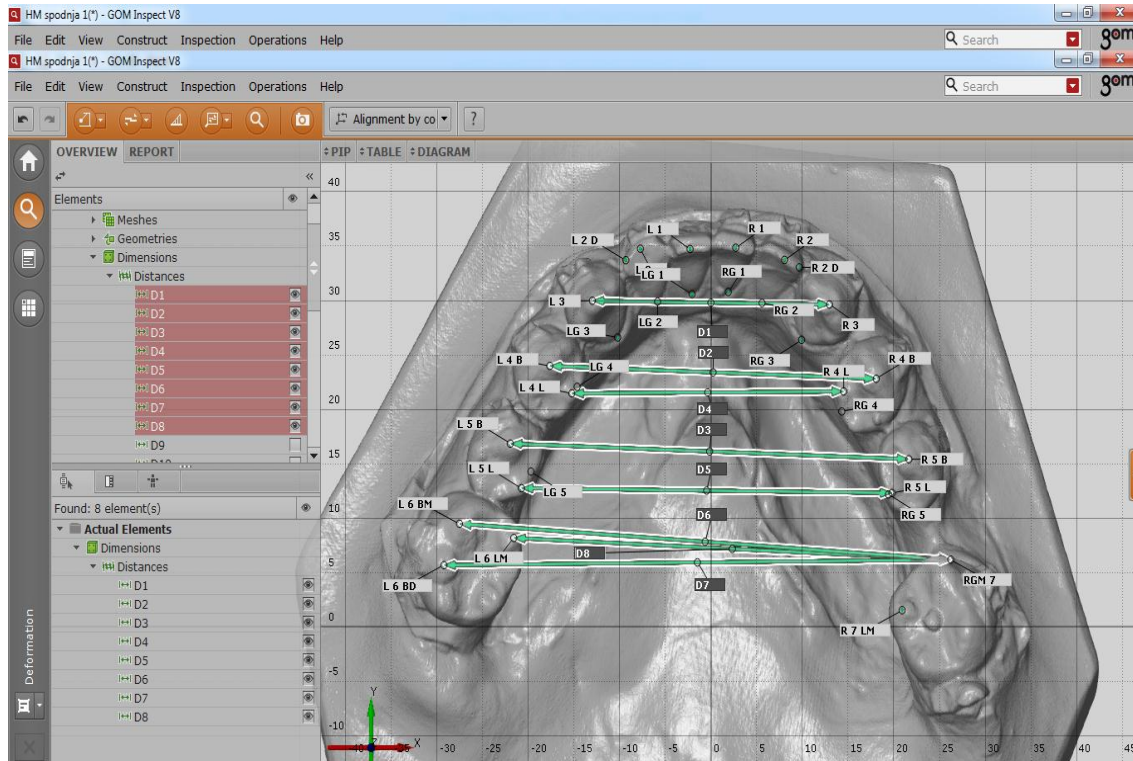
Legenda: Osa y – vrednosti u mm za prosečna odstupanja splajna različitog stepena u kontrolama od master modela (K0), do poslednje – K10 kontrole. Osa x – kontrola, od master (K0), do desete (K10).

Slika 6.4.4. Dijagram prosečnih odstupanja

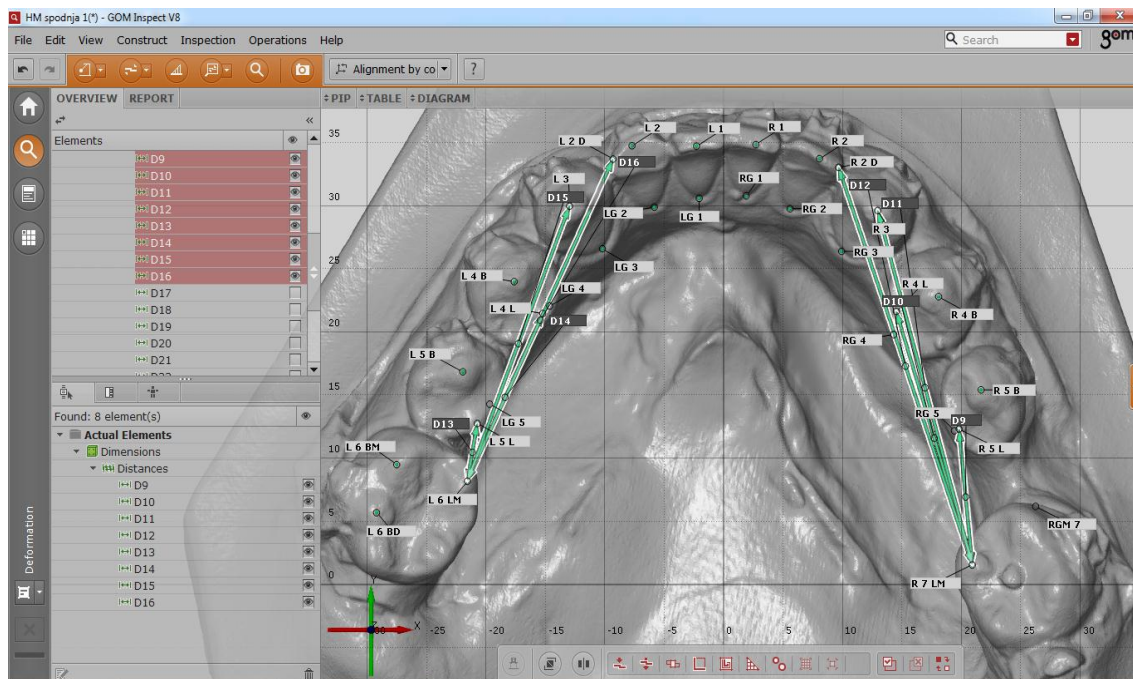
Diskusija ovih rezultata je data u narednom poglavlju.

## 6.5. Određivanje tačnosti i ponovljivosti merenja skenera

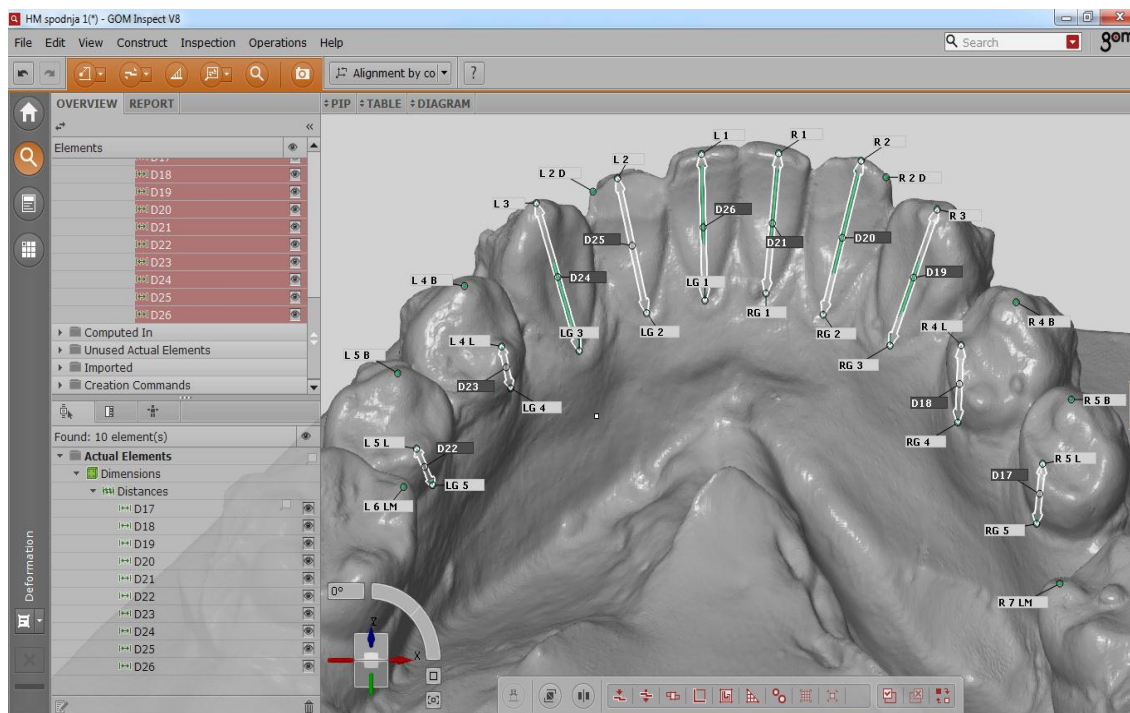
Kada smo prema metodologiji iz tačke 6.3 odredili globalni ortodontski koordinatni sistem (GOKS), onda su obeleženi ortodontski parametri, prema proceduri iz tačke 5, a time je dobijen skup ortodontskih parametara, kao na slikama 6.5.1, 2 i 3.



*Slika 6.5.1. Skup ortodontskih parametara (D1 – D8) za donju vilicu – okluzalna ravan*



*Slika 6.5.2. Skup ortodontskih parametara (D9 – D16) za donju vilicu – medijalna ravan*



Slika 6.5.3. Skup ortodontskih parametara (D17 – D26) za donju vilicu – tuber ravan

Rezultati merenja prikazani u tabelama 6.5.1 i 6.5.2 sa odnose na ortodontske parametre od D1 do D26, dobijenih u GOM Inspectu na 3D modelima, skeniranim na skeneru Atos, a odnose se na donju vilicu. U tabelama 6.5.3 i 6.5.4 dati su podaci o istim parametrima dobijenim na 3D modelima skeniranim na skeneru LazakScan, za istu vilicu. U tabelama 6.5.5 i 6.5.6 su date razlike ortodontskih parametara D1 - D26 dobijenih na Atos i LazakScan-u, za donju vilicu, za svih 13 digitalnih modela, a one su posledice sistematskih i slučajnih grešaka merenja.

- Razlike ortodontskih parametara za gornju vilicu G1 - G28 na modelu 4 Atos i LazakScan, za gornju vilicu, su date u tabeli 6.5.7.
- Razlika uglova  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  između modela 2-13 i "master" modela (M1) na modelima gornje vilice skeniranih na Atos skeneru su date u tabeli 6.5.8..
- Razlika uglova  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  između modela 2-13 i "master" modela (M1) na modelima donje vilice skeniranih na Atos skeneru su date u tabeli 6.5.9..
- Razlike položaja srednjih tačaka u odnosu na koordinatni početak, za ose X, Y i Z, a između "master" modela (M1) gornje i modela 2-13 gornje vilice su date u tabeli 6.5.10..

Tabela 6.5.1. Ortodontski parametri D1 - D26, izmereni na 3D modelima, skeniranih na skeneru Atos za donju vilicu (prvih sedam modela)

Par. / Model	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7
<b>D1</b>	26,241	25,977	26,570	26,521	27,271	27,181	25,492
<b>D2</b>	35,612	35,711	36,543	36,621	37,141	38,091	38,894
...	...						
<b>D25</b>	8,362	10,262	10,081	9,867	9,863	9,922	9,938
<b>D26</b>	8,923	9,314	9,048	8,961	8,887	9,152	8,981

Napomena: Sve mere su u mm. Prikazane vrednosti parametara predstavljaju aritmetičku sredinu tri merenja, koja su izvodila tri nezavisna eksperta, u intervalima po nedelju dana.

Tabela 6.5.2. Ortodontski parametri D1 - D26, izmereni na 3D modelima skeniranih na skeneru Atos za donju vilicu (ostalih šest modela)

Par. / Model	Model 8	Model 9	Model 10	Model 11	Model 12	Model 13
<b>D1</b>	24,691	26,030	26,082	26,741	26,935	26,666
<b>D2</b>	38,522	38,430	38,942	39,011	39,030	38,790
...	...					
<b>D25</b>	9,657	9,751	9,960	10,042	9,873	9,901
<b>D26</b>	8,643	8,821	9,186	9,283	9,082	9,133

Napomena: Sve mere su u mm. Prikazane vrednosti parametara predstavljaju aritmetičku sredinu tri merenja, koja su izvodila tri nezavisna eksperta, u intervalima po nedelju dana.

Tabela 6.5.3. Ortodontski parametri D1 - D26, izmereni na 3D modelima skeniranih na skeneru LazakScan za donju vilicu (prvih sedam modela).

Par. / Model	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7
<b>D1</b>	25,963	25,702	26,553	26,498	27,191	27,305	25,552
<b>D2</b>	35,751	35,702	36,530	36,497	37,021	37,970	38,710
...	...						
<b>D25</b>	8,144	9,930	9,781	9,520	9,354	9,342	9,661
<b>D26</b>	8,959	8,949	8,945	8,787	8,728	8,742	8,711

Napomena: Sve mere su u mm. Prikazane vrednosti parametara predstavljaju aritmetičku sredinu tri merenja, koja su izvodila tri nezavisna eksperta, u intervalima po nedelju dana.

Tabela 6.5.4. Ortodontski parametri, D1 - D26 izmereni na 3D modelima skeniranih sa skenerom LazakScan, za donju vilicu (ostalih šest modela).

Par. / Model	Model 8	Model 9	Model 10	Model 11	Model 12	Model 13
<b>D1</b>	24,817	25,801	26,085	26,530	26,920	26,781
<b>D2</b>	38,212	38,312	38,910	39,043	38,861	38,670
...	...					
<b>D25</b>	9,222	9,470	9,752	9,856	9,810	9,557
<b>D26</b>	8,327	8,627	9,011	9,542	8,991	8,966

Napomena: Sve mere su u mm. Prikazane vrednosti parametara predstavljaju aritmetičku sredinu tri merenja, koja su izvodila tri nezavisna eksperta, u intervalima po nedelju dana.

Tabela 6.5.5. Razlika ortodontskih parametara D1 - D26, dobijenih na Atos i LazakScan-u, za donju vilicu, za prvih sedam 3D modela

Par. / Model	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6	Model 7
<b>D1</b>	0,278	0,275	0,017	0,023	0,080	-0,124	-0,060
<b>D2</b>	-0,139	0,009	0,004	0,214	0,120	0,121	0,184
...	...						
<b>D4</b>	0,018	-1,109	0,705	-0,048	-0,066	0,207	0,001
...	...						
<b>D14</b>	0,145	1,101	-0,019	0,333	0	0,061	-0,098
...	...						
<b>D25</b>	0,218	0,332	0,300	0,347	0,509	0,580	0,277
<b>D26</b>	-0,036	0,365	0,108	0,174	0,159	0,410	0,270

Napomena: Sve vrednosti mera su u mm. Prikazane vrednosti parametara predstavljaju razlike aritmetičkih sredina tri merenja, koja su izvodila tri nezavisna eksperta, u intervalima po nedelju dana.

Tabela 6.5.6. Razlika ortodontskih parametara D1 - D26 dobijenih na Atos i LazakScan-u, za donju vilicu, za ostalih šest digitalnih modela.

Par. / Model	Model 8	Model 9	Model 10	Model 11	Model 12	Model 13
D1	-0.126	0.229	-0.003	0.211	0.015	-0.115
D2	0.910	0.118	0.032	-0.032	0.169	0.120
...	...					
D25	0.435	0.218	0.208	0.186	0.063	0.344
D26	0.316	0.184	0.175	-0.259	0.091	0.167

Napomena: Sve vrednosti mera su u mm. Prikazane vrednosti parametara predstavljaju razlike aritmetičkih sredina tri merenja, koja su izvodila tri nezavisna eksperta, u intervalima po nedelju dana.

Tabela 6.5.7. Razlike ortodontskih parametara za gornju vilicu G1 - G28 na modelu 4 Atos i LazakScan, za gornju vilicu

Parameter	Atos Gornja model 4	LS Gornja model 4	Razlika	Abs. Vred. Raz.
G1	32,771	32,733	0.038	0.038
G2	40,175	40,101	0.074	0.074
G3	45,798	45,777	0.021	0.021
G4	29,64	29,885	-0.245	0.245
...				
G22	9,194	8,938	<b>0.256</b>	<b>0.256</b>
...				
G27	9,921	9,741	0.180	0.180
G28	9,846	9,670	0.176	0.176
			<b>Srednja vrednost:</b>	<b>0,129</b>

Napomena: Sve vrednosti mera su u mm. Prikazane vrednosti parametara predstavljaju razlike aritmetičkih sredina tri merenja, koja su izvodila tri nezavisna eksperta, u intervalima po nedelju dana, za model 4 gornje vilice.

Tabela 6.5.8. Razlika uglova  $\alpha$ ,  $\beta$  in  $\gamma$  između modela 2-13 i "master" modela (M1) na modelima gornje vilice skeniranih na Atos skeneru

Rot. rav.	M2 – M1	M3 – M1	M4 – M1	M5 – M1	M6 – M1	M7 – M1	M8 – M1	M9 – M1	M10 – M1	M11 – M1	M12 – M1	M13 – M1
$\Theta_x$	1,77	0,40	-0,71	-0,93	-2,17	-2,95	-4,41	-5,49	-5,00	-5,91	-4,97	-5,07
$\Theta_y$	0,09	0,08	0,03	0,13	0,17	0,28	0,20	0,22	0,19	0,13	0,13	0,05
$\Theta_z$	-0,26	0,14	-0,07	0,18	-0,02	0,00	-0,39	-0,40	0,12	0,34	0,26	0,19

Napomena: Sve mere su u stepenima.

Tabela 6.5.9. Razlika uglova  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  između modela 2-13 i "master" modela (M1) na modelima donje vilice skeniranih na Atos skeneru

Rot. rav.	M2 – M1	M3 – M1	M4 – M1	M5 – M1	M6 – M1	M7 – M1	M8 – M1	M9 – M1	M10 – M1	M11 – M1	M12 – M1	M13 – M1
$\Theta_x$	-1,25	<b>1,30</b>	-1,11	-0,80	-0,89	0,07	1,14	0,48	0,73	0,45	1,28	1,04
$\Theta_y$	-0,31	<b>1,16</b>	-0,41	-0,52	-0,38	-0,72	-0,88	-1,07	-0,88	-1,07	-1,02	-0,96
$\Theta_z$	-0,15	0,13	0,11	0,41	0,04	0,27	-0,04	-1,28	-1,25	-1,08	-1,21	-1,34

Napomena: Sve mere su u stepenima.

Tabela 6.5.10. Razlike položaja srednjih tačaka u odnosu na koordinatni početak, za ose X, Y i Z, a između "master" modela (M1) gornje i modela 2-13 gornje vilice

S.K.	M2 – M1	M3 – M1	M4 – M1	M5 – M1	M6 – M1	M7 – M1	M8 – M1	M9 – M1	M10 – M1	M11 – M1	M12 – M1	M13 – M1
$\Delta_x$	0,55	0,65	0,70	0,73	0,46	0,75	1,44	1,43	1,16	0,77	0,60	0,33
$\Delta_y$	0,18	0,15	0,23	0,37	0,07	0,20	0,42	0,73	0,59	0,63	0,40	0,36
$\Delta_z$	0,11	0,06	0,12	0,20	0,16	0,12	0,05	-0,07	-0,01	-0,08	-0,11	-0,11
$Y_{0x}$	-0,11	-0,02	0,04	0,06	0,13	0,18	0,27	0,34	0,31	0,36	0,30	0,31
$Y_{ost}$	0,28	0,18	0,19	0,31	-0,06	0,02	0,15	0,39	0,28	0,26	0,10	0,05

Napomena: Vrednosti  $\Delta_x$ ,  $y$ ,  $i$   $z$  mera su u mm. Vrednosti  $Y_{0x}$  i  $Y_{ost}$  su u stepenima.

Rezultati merenja pokazuju da je najveća razlika na drugom modelu, na parametrima D4 i D14. Pri detaljnoj analizi ovog slučaja, možemo zaključiti da je verovatno neprecizno postavljena tačka L 4 L (slika 6.5.1) zbog oštećenja na lingvalnoj strani zuba na tom modelu. U primeru modela na Atosu sem izabrane tačke na jednoj strani, u primeru modela na LazakScan-u na drugoj strani. To možemo zanemariti, jer je posledica oštećenja gipsanog modela. Na tom modelu je oštećen vrh R 4 L (slika 6.5.1), koji se odnosi na parametre D4, D10 i D18. Takođe je približno postavljena tačka RGM 7 (slika 6.5.2), što uzrokuje razlike u vrednostima parametara D6-D8.

Sa slika možemo zaključiti da skenovi dobijeni na skeneru Atos imaju veću glatkoću, zbog čega je na njima lakše definisati i postaviti anatomsku tačku. Takođe detaljna analiza gipsanog modela pokazuje da je vrh zuba okrunjen, što je posledica preklapanja modela bez korekcije površine.

Ovom studijom je izvršeno i istraživanje ponovljivosti merenja na navedenom uzorku, za ova dva skenera, i uz iste uslove kao i kod istraživanja tačnosti istih.

U tabeli 6.5.11 su prikazani rezultati merenja ponovljivosti za skener Atos, za donju vilicu.

Tabela 6.5.11.

Par. / Model	Model 1	Model 2	...	Model 12	Model 13	AS1
<b>D1</b>	26,243	25,975		26,931	26,667	26,338
<b>D2</b>	35,612	35,712		39,030	38,790	37,795
<b>D3</b>	44,031	45,372		47,432	47,161	46,476
<b>D4</b>	29,783	28,892		31,481	31,383	30,728
...						
<b>D22</b>	4,867	4,961		5,110	5,339	4,839
<b>D23</b>	4,724	4,785		4,962	5,293	4,861
<b>D24</b>	9,950	10,363		10,224	10,315	10,142
<b>D25</b>	8,365	10,260		9,873	9,902	9,806
<b>D26</b>	8,923	9,314		9,082	9,132	9,032

U tabeli 6.5.12 su prikazani rezultati merenja ponovljivosti za skener LazakScan, za donju vilicu.

Tabela 6.5.13

Par. / Model	Model 1	Model 2	Model 3	...	Model 12	Model 13	AS2
<b>D1</b>	25,965	25,702	26,550		26,920	26,781	26,284
<b>D2</b>	35,751	35,705	36,530		38,861	38,671	37,707
<b>D3</b>	43,662	45,202	45,451		47,285	46,994	46,204
<b>D4</b>	29,761	30,003	29,461		31,743	31,410	30,792
...							
<b>D24</b>	9,838	10,090	9,691		9,891	9,988	9,852
<b>D25</b>	8,144	9,930	9,781		9,812	9,557	9,492
<b>D26</b>	8,959	8,949	8,945		8,991	8,967	8,868

Rezultati testiranja t hipoteze o ponovljivosti merenja na ova dva skenera, su prikazani u tački 7.5.

## Literatura

- [1]. The American Board of Orthodontics (ABO) Digital Model Requirements, <https://www.americanboardortho.com>, (pristupano jula 2016).
- [2]. Manakov A., Seidel P., Ihrke I., A Mathematical Model and Calibration Procedure for Laser Scanning Systems, Universität des Saarlandes, Proceedings of International Conference - Vision, Modeling, and Visualization, pp. 207-214, (2011), Editors: Eisert P., Polthier K., DOI = {10.2312/PE/VMV/VMV11/207-214}.
- [3]. Majstorović N., Mačužić J., Radić D., Glišić B., Nikodijević A., 3D Modelling in Orthodontics – one Approach, The 7th International Working Conference "Total Quality Management – Advanced and Intelligent Approaches", 3rd – 7th June, 2013, Belgrade, Serbia, Session 4: Young PhD researchers, Proceedings, ISBN 978-86-7083-791-1, COBISS.SR 198576396, pp: 245-252, 2013.
- [4]. Mačužić J., Majstorović N., Glišić B., Majstorović V., Application and Accuracy of 3D Modelling in the Field of Orthodontic, 35<sup>th</sup> International Conference on Production Engineering, Proceedings, ISBN 978-86-82631-69-9, COBISS.SR-ID 204080908, pp. 235-240, <http://www.mfkv.kg.ac.rs/ocs/public/site/images/bogojevic/proceedings.pdf>
- [5]. Mačužić J., Majstorović N., Glišić B., Majstorović V., Determination of Dental Arc Using 3D Model, International Journal Advanced Quality, Vol. 42, No. 1, United Association Serbia of Quality, 2014, ISSN 2217-8155.
- [6]. Majstorović N., Mačužić B., Glišić J., Referentni geometrijski entiteti, Stomatološki glasnik Srbije, 2014; 61 (2):102-112, Beograd, Srbija, DOI: 10.2298/SGS1402102M, <http://www.stomglas.org/rs/index.htm>.
- [7]. Majstorović N., Mačužić B., Glišić J., Assessment of Teeth Nivelation Based on 3D Model, International Conference "Leading Enabling Technologies for Societal Challenges", Bologna - 29th September – 1st October, 2014, Poster presentation, <http://lets2014.eu>
- [8]. Majstorović N., Mačužić B., Glišić J., Using 3D Modeling in Assessment of Teeth Nivelation, 6th International ICT Conference; October 14 - 16. 2014, Niš, Serbia, Proceedings, pp. 186-200, <http://ictforum.rpknis.rs>
- [9]. N N, Siemens PLM NX10, <https://www.plm.automation.siemens.com/en-us/products/nx/11/> (pristupano juna 2017).
- [10]. Henri P. Gavin The Levenberg-Marquardt method for nonlinear least squares curve-fitting problems, Department of Civil and Environmental Engineering, Duke University, May 4, 2016, <http://people.duke.edu/~hpgavin/ce281/lm.pdf> (pristupano jula 2017).
- [11]. Noroozi, H., Hosseinzadeh, T., Saeeda, R., The dental arch form revisited, Angle Orthodontist, Vol 71, No 5, 2010, 386-89.

## 7. DISKUSIJA

### 7.1 Referentni geometrijski entiteti

*Primeri osnovnih geometrijskih entiteta (OGE), dati su na slikama [1]: 6.1.2, 6.1.3 i 6.1.4, u prethodnom poglavlju. Oni se nalaze u ravnima: x-y, y-z, i z-x. Za razliku od istraživanja koja su analizirana u nastavku, OGE u ovom modelu se definišu u prostoru navedene tri ravni. Na ovaj način je dobijen tačan i precizan model svakog linearnog ortodontskog parametra, koji se kao takav kasnije koristi u različitim analizama.*

#### 7.1.1 Osnovni geometrijski entiteti

Osnovni geometrijski entiteti (OGE) su u dosadašnjim istraživanjima indirektno korišćeni za komponovanje, merenje i analizu ortodontskih parametara pomoću 3D digitalnih modela. Oni do sada nisu na ovaj način definisani i primenjeni u ortodontskoj, ali su ih sledeći autori indirektno koristili u svojim istraživanjima za definisanje linearnih ortodontskih parametara, na sledeće načine:

U studiji [2] su istraživali tačnost i pouzdanost merenja ortodontskih parametara na 3D digitalnim modelima. Merene parametre su podelili u sedam kategorija, i to: (i) meziodistalna širina (najveće meziodistalno rastojanje od mezijalne anatomske kontaktne tačke do distalne anatomske kontaktne tačke svakog zuba); (ii) dužina luka (merena po segmentima, gde je segment A rastojanje od mezijalne kontaktne tačke desnog prvog stalnog molara do mezijalne kontaktne tačke desnog očnjaka, segment B rastojanje od mezijalne kontaktne tačke desnog očnjaka do mezijalne kontaktne tačke desnog centralnog sekutića, segment C rastojanje od mezijalne kontaktne tačke levog centralnog sekutića do mezijalne kontaktne tačke levog očnjaka, segment D rastojanje od mezijalne kontaktne tačke levog očnjaka do mezijalne kontaktne tačke levog prvog stalnog molara); (iii) širina luka (u predelu molara rastojanje između meziobukalnih kvržica prvih stalnih molara, a u predelu očnjaka kao rastojanje između kvržica stalnih očnjaka); (iv) incizalni razmak (rastojanje od labijalne površine mandibularnih centralnih sekutića do lingvalne površine maksilarnog centralnog sekutića); (v) preklop sekutića (najveće rastojanje vertikalnog preklopa maksilarnih i mandibularnih sekutića); (vi) dostupan prostor (zbir dužina segmenata u maksili i mandibuli (A+B+C+D)) i (vii) zahtevan prostor, kao zbir meziodistalnih širina zuba od centralnih sekutića do drugih stalnih premolara. U ovim istraživanjima, kao i svim napred navedenim, parametri su posmatrani kao slobodna rastojanja u prostoru (bez korišćenja koordinatnog sistema), što dovodi do grešaka merenja koje mogu imati veliki uticaj.

Studija [3] prikazuje linearna merenja na uzorku od 30 pacijenata/otisaka gornje i donje vilice: širine zuba i dužine zubnog luka, u prostoru. Određena je korelacija između uzoraka/metoda (ICC), a pomoću Bland-Altman analize je izvršena grafička prezentacija statističkih rezultata. Dobijen je stepen korelacije (ICC, 0.91-0.99) za 3D digitalni model, koji je dobijen skeniranjem intra-oralnog skenera i merenja izvršenih na gipsanom otisku. Za drugu kombinaciju (3D digitalni model i gipsani otisak) dobijen je ICC - 0.65-0.99, što nas navodi na zaključak da digitalni modeli, dobijeni na oba načina obezbeđuju odlične dijagnostičke informacije. Sa druge strane zaključak u vezi sa OGE je isti kao u prethodnom slučaju.

Studija [4] se bavi procenom stepena pomeranja zuba preklapanjem 3D digitalnih modela, preko tri zuba (očnjak, prvi premolar i prvi molar), a pristup je da je za preklapanje modela korišćen drugi i treći par palatalnih plika, zato što ne dolazi do promene njihovog položaja tokom terapije.

U studiji [5] su upoređivali merenja urađena na 3D digitalnim modelima i na modelima koji su dobijeni CBCT-om. Nakon skeniranja i obrade, na dobijenim 3D modelima i modelima dobijenim CBCT-om urađena su paralelna merenja. Za rad je izabrano 27 pacijenata, od kojih je većina bila planirana za hirurški zahvat i već su u svojoj dokumentaciji posedovali CBCT snimak iz nekog drugog razloga. Analiza je podrazumevala merenje: (i) meziodistalne širine zuba (maksimalna širina između mezijalne i



distalne anatomske kontaktne tačke); (ii) međuočnjačko rastojanje (linearno između vrhova kvržica očnjaka ili sredina njihovih fasete); (iii) međumolarno rastojanje (maksimalna razdaljina između vestibularnih površina prvih stalnih molara); (iv) dužina zubnog luka (dužinu idealne linije, koja prolazi kroz mesta idealnih kontakata svakog zuba, a zapravo povezuje najmezijalniju sa najdistalnijom tačkom svakog izabranog zuba, od prvog molara sa desne do prvog molara sa leve strane, u oba zuba luka).

Sledeće studije [6], su se bavile poređenjem Boltonovih parametara 3D digitalnog i gipsanog modela merenjem razlike između prednjih 6 maksilarnih i 6 mandibularnih zuba, kao i razlikama u širini za 12 zuba od prvog levog molara do prvog desnog molara u obe vilice, i [7] poređenje Boltonove analize i PAR indeksa. Merenja su podrazumevala merenje veličine zuba od prvog molara sa leve do prvog molara sa desne strane u oba luka. To je iskorišćeno za Boltonove analize, kao i za sva druga merenja neophodna za izračunavanje PAR indeksa. Maksimalna meziodistalna širina beležena je za svaki zub od očekivane kontaktne tačke, ako je zub bio pravilno postavljen u vilici. Incizalni razmak je meren od labijalne površine najisturenijeg gornjeg centralnog sekutića do labijalne površine najisturenijeg donjeg centralnog sekutića. Incizalni preklap je takođe meren kao najveći preklap u vertikali između gornjeg i donjeg centralnog sekutića. Merenja su vršena i na gipsanom i na 3D digitalnom modelu.

Dalje, u radu [8], na 3D digitalnim modelima su vršili merenja analizom sa pet strana: (i) okluzalno (merena je širina svih zuba u okluzalnoj ravni); (ii) uvećani okluzalni (merena je širina svih zuba koji su uvećani nekoliko puta); (iii) pogled sa strane desno (merena je širina svih zuba); (iv) pogled od napred (merena je širina zuba u tri pozicije: levi bukalni, prednji, desni bukalni); (v) kvalitativni (model je rotiran u prostoru i za nekoliko karakterističnih položaja vršeno je merenje širine svih zuba).

Sva merenja izvedena su na gornjoj i donjoj vilici, u radu [9], su istraživali tačnost trodimenzionalnih ortodontskih parametara na digitalnom, gipsanom i CT modelu, merenjem sledećih parametara: (i) meziodistalna širina zuba (od prvog stalnog molara sa leve do prvog stalnog molara sa desne strane); (ii) širina luka (širina maksile u predelu lateralnih sekutića, širina mandibule u predelu lateralnih sekutića, širina maksile u predelu očnjaka, širina mandibule u predelu očnjaka, širina maksile u predelu prvih molara, širina mandibule u predelu prvih molara); (iii) prednja dužina luka maksile, prednja dužina luka mandibule, zadnja dužina luka maksile, zadnja dužina luka mandibule; (iv) maksilarni i mandibularni opseg luka; (v) debljina nepca maksile.

Naredni primeri, studija [10], daju ocenu tačnosti analize prostora na 30 3D digitalnih i gipsanih modela, koja je vršena merenjem dužine luka (zbir meziodistalnih širina svih zuba u luku od prvog molara sa leve do prvog molara sa desne strane), Boltonov odnos veličine zuba, kao i vreme potrebno da se analiza uradi. Na gipsanom modelu merenja su rađena digitalnim pomičnim merilom tačnosti 0,1 mm, dok je na 3D digitalnim modelima sve rađeno u softveru posebno dizajniranom za to.

Za studiju [11], je izabrano 20 kompleta gipsanih modela. Promenljive od interesa koje su merene bile su rotacija, iskrivljenost (mezio-distalna inklinacija), i nepravilnost (pomeranost kontaktnih tačaka) gornjih i donjih sekutića, rastojanje između sekutića, preklap sekutića, obim i dužina luka. Zbog toga što su pacijenti imali mešovitu denticiju, pozicija brojnih lateralnih sekutića nije mogla biti izmerena, zbog nepotpunog izrastanja i teskobe.

Najzad u [12], kolege su vršili analizu prostora merenjem dužine luka u obliku parabole, opisane kao linije preko baza zuba od mezijalnog aspekta desnog prvog molara do mezijalnog aspekta levog prvog molara, i njenim upoređenjem sa izmerenom širinom zuba u zubnom luku. Širina zuba merena je digitalnim pomičnim merilom, dok je dužina luka merena pomoću komada žice. Žica je postavljana tako da leži preko kontaktnih tačaka poslednjih zuba, kvržica očnjaka, incizalnih ivica lateralnih i centralnih sekutića, od prvog molara sa desne do prvog molara sa leve strane. Njena dužina predstavljala je dužinu luka, dostupnu preko bazalne kosti.

*Zaključak je da su sva ova merenja vršena 'koristeći' OGE, ali ne na način kako je to definisano ovim istraživanjima. Radi se o lineranim parametrima/rastojanjima, koja su se nalazila u okluzalnoj ravni.*

*Nijedan primer ne govori o tome kako je određen ortodontski koordinatni sistem, u kome su vršena merenja. Ova činjenica potvrđuje prethodnu konstataciju, ali još jednu, važniju činjenicu – pitanje ponovljivosti rezultata merenja na istraživanim modelima.*

*Primeri izvedenih geometrijskih entiteta (IGE), su dati na slikama 6.1.1, kao i od 6.1.6 do 6.1.10. Oni predstavljaju ortodontski koordinatni sistem (globalni i lokalni), u odnosu na koje se definišu i analiziraju ortodontski parametri.*

### **7.1.2 Izvedeni geometrijski entiteti**

*Izvedeni geometrijski entiteti (IGE) omogućavaju da se njihovim definisanjem vrše različite analize i simulacije ortodontskih parametara, kako u GOKS, tako i u LOKS. Ovde se posebno navodi činjenica da je unapređeni ABO metod određivanja koordinatnog sistema vilice omogućio praćenje, poređenje, analizu položaja zuba u prostoru preko njegovih anatomskih tačaka, na svim kontrolama.*

Devet linearnih rastojanja u globalnom koordinatnom sistemu je mereno u [13]: (i) jedno interočnjačko rastojanje (kao rastojanje između vrhova kvržica očnjaka); (ii) četiri interpremolarne rastojanja (po dva između bukalnih kvržica gornjih i donjih prvih i drugih premolara, kao i između palatinalnih kvržica između gornjih I donjih prvih i drugih premolara); (iii) četiri intermolarne rastojanja između mezipalatinalnih kvržica gornjih prvih molara, meziobukalnih kvržica gornjih prvih molara, distopalatinalnih kvržica gornjih prvih molara, distobukalnih kvržica gornjih prvih molara.

Neuobičajena tehnika lingvalnog postavljanja bravica prikazana je u [14]. U lokalnom koordinatnom sistemu posle skeniranja posmatrani su sledeći parametri: ugao ANB (na osnovu koga se određuje skeletna klasa), preklop sekutića, razmak sekutića, kao i dužina luka gornje i donje vilice. Tačnost skenera na kojima je generisan 3D digitalni model bila je 20 mikrometara.

Sledeći rad [15] prikazuje dobijanje tradicionalnih gipsanih modela (pojedinih elemenata zuba) iz 3D digitalnih modela. U tom smislu u globalnom koordinatnom sistemu se mere: (a) x-ravan međuočnjačko rastojanje (rastojanje između kvržica na okluzalnoj površini očnjaka), (b) y-ravan (rastojanje između međukvržičnog rastojanja i mezipalatinalne kvržice prvog stalnog molara u vilici); (c) z-ravan (visina kliničke krune očnjaka). Dobijeni rezultati pokazuju da je moguć i inverzni postupak.

Korišćenjem globalnog koordinatnog sistema, u [16], su merili sledeće parametre: (i) razmak sekutića (rastojanje od palatinalne površine gornjih do labijalne površine donjih sekutića); (ii) preklop sekutića (rastojanje između gornjih sekutića i obeležene linije na labijalnoj površini donjih sekutića); (iii) meziodistalna širina zuba (rastojanje između mezijalne i distalne kontaktne tačke svakog zuba, paralelno sa okluzalnom ravni); (iv) međumolarno rastojanje (između meziobukalnih kvržica prvih stalnih molara); (v) međuočnjačko rastojanje (između kvržica stalnih očnjaka). Za 3D digitalne modele, kriterijumi za merenje rastojanja utvrđeni su na ekranu monitora po istim kriterijumima kao i za gipsane modele.

*Zaključak je da su sva ova merenja vršena koristeći samo neke elemente IGE, ali ne i sve kako je to definisano ovim istraživanjima. Ostale napomene su iste kao u prethodnoj tački.*

### **7.1.3 Anatomski geometrijski entiteti**

*Anatomski geometrijski entiteti (AGE) opisuju morfologiju zuba na osnovu koje se definišu i uspostavljaju dve grupe entiteta (tačke, površine). Oni su dati na slikama 6.1.11 i 6.1.12. Oni nam omogućuju da pratimo, analiziramo dodatne ortodontske karakteristike.*

Trodimenzionalna kompjuterska analiza [17], obuhvatila je ukupno 86 morfoloških tačaka na osnovu kojih je definisano 156 promenljivih rastojanja između tačaka, odnosno rastojanje između tačaka i referentnih ravni. Definisane morfološke tačke su obuhvatile: sredine incizalnih ivica sekutića, vrh

kvržica očnjaka, vrhove kvržica premolara, vrhove bukalnih i palatinalnih kvržica molara, najdublje tačke okluzalnih površina premolara i molara, kao i kontaktne tačke između svih zuba. Merena su i rastojanja između kontaktnih tačaka na drugom molaru i očnjaku, rastojanja između kontaktnih tačaka na drugom premolaru sa leve i desne strane, širinu luka u predelu očnjaka, širine luka u predelu premolara, širine luka u predelu molara, dužinu luka, Spee-ova kriva, itd. U sledećem primeru [18], je istraživana formula, kojom bi mogli da predvide razlike u veličini zuba. Sve je zasnovano ne samo na veličini zuba, nego i na normalnom odnosu kvržica-fosa, koju bi trebalo postići kao krajnji cilj terapije. Za meziodistalnu širinu zuba izabrano je maksimalno rastojanje između anatomskih kontaktnih tačaka kada je zub u pravilnom položaju. Merenja su rađena paralelno sa virtuelnom okluzalnom ravni, koja je utvrđena korišćenjem svih vrhova kvržica zuba koji su u okluziji. Efekat rotacije molara na dužinu luka prikazan je u [19]. Formiran je koordinatni sistem, koji je orijentisan paralelno sa okluzalnom ravni modela pre tretmana. Merena su rastojanja između vrhova kvržica i x- i y- ose, koja su omogućila računanje distalnih, lateralnih i rotacionih promena svakog molara. Konstruisanje 3D modela na osnovu prosečnog oblika zubnog luka prikazano je u [20]. Na površini zuba 3D digitalnih modela uočeno je i digitalizovano 52 anatomske tačke. Kroz njih je za svaki model provučena kriva, koja opisuje oblik zubnog luka. Nakon toga, na osnovu svih krivih, izračunata je srednja kriva, koja opisuje prosečan zubni luk. Posebna karakteristika ovog istraživanja jeste ta da su definisane čak 52 anatomske tačke, što je doprinelo povećanju tačnosti merenja oblika zubnog luka.

*Možemo zaključiti da su autori u svim svojim istraživanjima delimično koristili (a da ih nisu tako zvali) osnovne, izvedene geometrijske entitete, a najmanje anatomske geometrijske entitete. Osim toga ni u jednom radu istovremeno nisu korišćene sve tri grupe RGE. Ova istraživanja upravo su pokušaj da se predstavi istovremeno korišćenje sve tri grupe RGE kao i pojmovi kojima je izvršena njihova klasifikacija, što predstavlja originalnost ovog istraživanja [1,22-24].*

## 7.2. 3D Personalna ortodonticija

Pri prvom pregledu kod pacijenta XY je uočen odnos gornje i donje vilice u 3. klasi po Angleu [21], uz nedostatak donjeg prvog molara sa leve strane i donjeg drugog molara sa desne strane. U gornjoj vilici su bili prisutni svi zubi. Merenjem parametara i analizom studijskog modela zaključeno je da je za pacijenta najbolje da se uradi kombinovana ortodontsko-hirurška terapija. To podrazumeva da se, nakon dobijanja mišljenja konzilijuma, postavi gornji i donji fiksni aparat, koji će se nositi godinu dana, sa kontrolom na svake četiri nedelje. Hirurška intervencija će se obaviti na donjoj vilici, koja je bila razvijena nego gornja. Sam zahvat se sastoji u skraćivanju donje vilice do tog nivoa gde se postiže zadovoljavajući odnos gornjih i donjih zuba. Zbog nedostajućeg prvog molara sa leve strane, bravica je zalepljena na drugi molar na istoj strani.

Analize su pokazale da u obe vilice, gornjoj i donjoj, nedostaje prostor za smeštaj svih zuba. U donjoj vilici je situacija bila nepovoljnija samim tim što su već nedostajala dva zuba, zbog čega je ekstrakcija odbačena kao mogućnost. U gornjoj vilici je i pored nedostatka prostora odlučeno da se ide na terapiju bez ekstrakcije zuba. Procenjeno je da će se primenom fiksne proteze dobiti prostor dovoljan za smeštaj svih zuba u pravilan zubni niz.

Kod ovog pacijenta su u gornjoj vilici oba lateralna sekutića smeštena palatinalnije u odnosu na ostale zube. Takođe je uočen i nedostatak prostora u predelu frontalnih zuba, usled čega je niz imao ušiljen oblik. U donjoj vilici jedini vidljivi problem bila je nepotpuna rotacija donjeg levog drugog premolara. Derotacijom pomenutog zuba dobiće se prostor koji se može iskoristiti za bolje raspoređivanje ostalih donjih zuba.

Polazeći od izloženih činjenica koje se odnose na nov način definisanja ortodontskih parametara, preko geometrijskih entiteta, koji se karakteriše: (i) jednoznačnim predstavljanjem (uvek se na isti način definišu u posmatranom koordinatnom sistemu), (ii) preciznijem određivanju (uvek u istoj tački za svaku

kontrolu), i (iii) tačnijem merenju (do desetog dela mikrometra, ili deseto-hiljaditog dela milimetra), što je za dve do tri klase tačnije u odnosu na konvencionalni način merenja u ortodontiji, možemo definisati sledeće hipoteze [1,22-26]:

**H1:** *Geometrijski entiteti (osnovni, izvedeni, anatomski) su napredni metod definisanja ortodontskih parametara.*

**H2:** *Ovaj način definisanja, praćenja, merenja i analize ortodontskih parametara može da pruži tačnije rezultate u definisanju dijagnoze i praćenju ortodontske terapije.*

**H3:** *Vrednosti standardne devijacije ortodontskih parametara koji se prate (28 za gornju vilicu i 26 za donju vilicu) su veći prvih šest meseci terapije (nivelacija), u odnosu na drugih šest meseci.*

### 7.2.1 Analiza kontrola – Hipoteze 1 i 2

Već na prvoj kontroli, pregledom rezultata, primećena je razlika u svim parametrima. Razlike nisu bile velike, što je i očekivano, s obzirom da je prvih mesec dana bio ligiran najtanji nitinolski luk. Prvih šest meseci terapije je period nivelacije, tj. period kada se zubi slažu u što pravilniji položaj u zubnom luku. Sva kasnija pomeranja, kao što su zatvaranje prostora i slično, rade se u kasnijim fazama terapije. Kako zubi imaju tendenciju vraćanja u prvobitni položaj, stoga se primećuje da su vrednosti nekih parametara manje nego na početnom modelu. Najveće razlike u x-y ravni u gornjoj vilici primećene su u distanci između vrhova palatinalnih kvržica prvih premolara, a u donjoj u rastojanju između vrhova lingvalnih kvržica istih zuba (0,45 i 0,35 mm respektivno).

Što se tiče rastojanja u y-z ravni, tu je bilo manje pomeranja, koja su bila manja od 0.1 mm. To se naročito uočava u donjoj vilici. Neka rastojanja su se čak i smanjila, što se može objasniti tendencijom mezijalizacije bočnih zuba.

Najmanje razlike (reda veličine ispod stotog dela milimetra) viđene su upoređivanjem visina kliničkih kruna zuba na prvoj kontroli. Zbog oštećenja donjih lateralnih sekutića, visina kliničke krune zuba na master modelu nisu uzeta u obzir, zbog nemogućnosti postavljanja parametara na incizalnu ivicu. Sličan problem je uočen i na gornjem modelu, ali oštećenje nije imalo uticaja na precizno postavljanje tačke na incizalnu ivicu.

Druga kontrola donela je porast u vrednostima pet od osam parametara u gornjoj vilici u x-y ravni. Jedino su kod rastojanja vezana za prve molare zabeležene manje vrednosti. To se desilo zbog toga što je luk doveo do pomeranja molara prema unutra, što je dovelo do smanjenja svih rastojanja. U donjoj vilici je takođe došlo do smanjenja vrednosti polovine praćenih parametara, sve u regiji očnjaka i premolara, što znači da su se pomenuti zubi pomerili prema nepcu.

Rastojanja u y-z ravni u gornjoj vilici beleže porast i sa desne i sa leve strane. Razlike su neznatne, ali za razliku od prve kontrole, vidljive su na skoro svim parametrima. Polovina parametara u donjoj vilici beleži blagi rast, dok druga polovina pokazuje manje vrednosti.

Ono što je ipak još zanimljivije je da su visine kliničkih kruna zuba zabeležile porast vrednosti na svim zubima i u gornjoj i u donjoj vilici. To se može pripisati dejstvu luka na zube u prvoj fazi nivelacije, gde između ostalog dolazi i do ravnjanja zuba po visini.

Posle tri meseca fiksne terapije, u odnosu na drugu kontrolu, sve vrednosti u x-y ravni su bile veće, osim dva rastojanja u predelu molara, koje su zabeležile blaži pad.

Četvrti mesec doneo je razlike u rastojanjima u x-y ravni u svim parametrima, samo što su te razlike bile manje nego na prve dve kontrole. Razlike su uočavane na drugoj i trećoj decimali. Te promene nisu toliko značajne jer se zubi u ovoj fazi terapije još uvek nivelišu i ravnaju u vertikalnoj i horizontalnoj ravni. Visine kliničkih kruna zuba su još manjih vrednosti nego kod prve tri kontrole, što znači da su se zubi

malo spustili u horizontalnoj ravni. Ove razlike i dalje su male i nisu izražene. Sve to je značajno pošto se tim pomeranjima ne ugrožava stabilnost i vitalitet zuba.

Posle obrade rezultata na petoj kontroli, značajno je bilo to što su skoro svi parametri u donjoj vilici u sve tri ravni u prostoru imali veće vrednosti. I pored tendencije zuba da se vrate u svoj prvobitni položaj, ipak su sve vrednosti bile veće u odnosu na prethodnu kontrolu i u odnosu na master model.

Posle prvih šest meseci, uočeno je da su vrednosti rastojanja u x-y ravni u gornjoj i donjoj vilici veće, a da je pored toga došlo do smanjenja rastojanja u y-z ravni i sa leve i sa desne strane. Ovo sve navodi na zaključak da je prva faza terapije uspešno okončana i da je došlo do proširenja obe vilice u širini.

Naredne četiri kontrole parametri su uglavnom pokazivali blagi rast, koji nije bio statistički toliko značajan. Sveukupno kad se sagleda, nakon deset meseci terapije vidljiv je napredak u x-y ravni, dok su najmanja pomeranja viđena kod kliničkih visina krunica zuba. Smanjenja rastojanja u x-y ravni primetna su kod rastojanja između kvržica molara u gornjoj vilici. Objašnjenje bi moglo da se nađe u činjenici da su tokom terapije, primenom određenih lukova, gornji molari uvučeni unutra, tj. pomereni prema nepcu. Posmatranjem 3D digitalnih modela moguće je uočiti da je veće pomeranje kod gornjeg levog molara u ovoj ravni.

Sa druge strane, vrednosti analiziranih parametara se mere mikrometrima, čime je apsolutno ostvarena visoka tačnost dobijenih rezultata.

### 7.2.2. Provera Hipoteze 3

Testiranje H3 je zasnovano na primeni parametarskog t testa za zavisne uzorke.

Za gornju vilicu je izvršeno merenje svih parametara na 10 uzoraka / 28 parametara, i izvršena njihova statistička obrada. Izračunati su parametri standardne devijacije za po pola godine. Dobijene vrednosti su prikazane u tabeli 7.2.1.

**Tabela 7.2.1.** Pregled vrednosti parametara standardne devijacije (SD) za pacijenta XY za gornju vilicu

Red. broj	Ortodontski parametri za gornju vilicu	SD (od 1- do 5 kontrole)	SD (od 6 do 10 kontrole)	Napomena
1	G1	0.693	0.391	
2	G2	1.371	0.904	
3	G3	0.682	0.731	
4	G4	1.094	0.787	
5	G5	0.512	0.594	
6	G6	0.599	0.460	
7	G7	0.582	0.466	
8	G8	0.691	0.177	
9	G9	0.218	0.183	
10	G10	0.272	0.241	
11	G11	0.236	0.173	
12	G12	0.381	0.238	
13	G13	0.472	0.575	
14	G14	0.101	0.211	
15	G15	0.071	0.253	
16	G16	0.092	0.109	
17	G17	0.161	0.291	
18	G18	0.556	0.264	
19	G19	0.097	0.133	
20	G20	0.092	0.144	
21	G21	0.231	0.092	
22	G22	0.332	0.181	
23	G23	0.294	0.180	
24	G24	0.211	0.067	
25	G25	0.137	0.143	
26	G26	0.060	0.132	
27	G27	0.423	0.161	
28	G28	0.254	0.111	
N =		28 / 15	28 / 13	
Srednja vrednost SD		0.387	0.297	
STDEV =		0.315	0.227	
t (matematički) = 0.0119 / za međusobno zavisne uzorke				

**Napomena:** Okluzalna ravan – G1/G8; Medijalna ravan – G9/G18; Tuber ravan – G19/G28. Sve vrednosti standardne devijacije (SD) su u mm.

Testiranje hipoteze H3, za gornju vilicu je izvršeno za tri nivoa značajnosti: (95 % - 0.05), (99 % - 0.01) i (99.9 % - 0.001), tabela 7.2.2.

**Tabela 7.2.2. Pregled parametara za t test za pacijenta XY za gornju vilicu za tri nivoa značajnosti**

Tri nivoa značajnosti: 1 - (95 % - 0.05), 2 - (99 % - 0.01) i 3 - (99.9 % - 0.001):						
Pg =	95	99	99.9	%	Napomena 1	Napomena 2
Alfa =	0.05	0.01	0.001			
t-Test: Paired Two Sample for Means						
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>				
Mean	0.3879	0.2979				
Variance	0.0992	0.0516				
Observations	28.0000	28.0000				
Pearson Correlation	0.8363					
Hypothesized Mean Difference	0.0000					
df	27.0000					
t Stat	2.6957					
P(T<=t) one-tail	0.0060					
t Critical one-tail	1.7033					
P(T<=t) two-tail	0.0119					
t Critical two-tail (95 % - 0.05)	2.0518					
t Critical two-tail (99 % - 0.01)	2.7707					
t Critical two-tail (99.9 % - 0.001)	3.6896					
Zaključci:						
t (matematički) / (95 % - 0.05)	0.0119	<	2.0518			
t (matematički) / (99 % - 0.01)	0.0119	<	2.7707			
t (matematički) / (99.9 % - 0.001)	0.0119	<	3.6896			
Slučaj 1 - Za dati prag značajnosti nulta hipoteza - H3 se prihvata kao tačna. Razlika nije statistički značajna.						
Slučaj 2 - Za dati prag značajnosti nulta hipoteza - H3 se prihvata kao tačna. Razlika nije statistički značajna.						
Slučaj 3 - Za dati prag značajnosti nulta hipoteza - H3 se prihvata kao tačna. Razlika nije statistički značajna.						

Na osnovu rezultata iz tabele 5 zaključujemo da je H3 prihvaćena kao tačna, za sva tri nivoa značajnosti - čime je svaki put potvrđena nulta hipoteza H3, što u ovom slučaju znači da je „efekat“ pomeranja zuba pri njihovom slaganju u gornjoj vilice više izražen u prvih pola godine u odnosu na drugih 6 meseci.

Za donju vilicu je izvršeno merenje svih parametara na 10 uzoraka / 26 parametara, i izvršena njihova statistička obrada. Izračunati su parametri standardne devijacije za po pola godine. Dobijene vrednosti su prikazane u tabeli 7.2.3.

**Tabela 7.2.3.** Pregled vrednosti parametara standardne devijacije (SD) za pacijenta XY za donju vilicu

Red. broj	Ortodotski parametri za donju vilicu	SD (od 1 do 5 kontrole)	SD (od 6 do 10 kontrole)	Napomena
1	D1	0.349	0.7403	
2	D2	0.552	0.281	
3	D3	0.743	0.380	
4	D4	0.265	0.298	
5	D5	0.523	0.216	
6	D6	0.234	0.278	
7	D7	0.146	0.188	
8	D8	0.291	0.157	
9	D9	0.483	0.168	
10	D10	0.340	0.329	
11	D11	0.135	0.439	
12	D12	0.143	0.392	
13	D13	0.799	0.313	
14	D14	0.324	0.335	
15	D15	0.517	0.532	
16	D16	0.434	0.258	
17	D17	0.117	0.153	
18	D18	0.108	0.125	
19	D19	0.264	0.173	
20	D20			
21	D21	0.115	0.127	
22	D22	0.094	0.156	
23	D23	0.140	0.171	
24	D24	0.173	0.198	
25	D25			
26	D26	0.121	0.205	
N=		24/9	24/15	
AVERAGE=		0.3069	0.2713	
STDEV=		0.2034	0.1466	
t (matematički) = 0.4082 / za međusobno zavisne uzorke				

*Napomena: Okluzalna ravan – D1/D8; Medijalna ravan – D9/D18; Tuber ravan – D19/D26. Sve vrednosti SD su u mm. Parametri broj 20 i 25 nisu mereni na svim modelima, jer su uzorci bili oštećeni.*



Kao i za gornju vilicu, i za donju vilicu, testiranje hipoteze H3 je izvršeno za tri nivoa značajnosti: 0,05; 0,01 i 0,001, a rezultati su dati u tabeli 7.2.4.

**Tabela 7.2.4.** Pregled parametara za t test za pacijenta XY za donju vilicu za tri nivoa značajnosti

Tri nivoa značajnosti: 1-(95 % - 0.05), 2-(99 % - 0.01) i 3-(99.9 % - 0.001):						
Pg =	95	99	99.9	%	Napomena 1	Napomena 2
Alfa =	0.05	0.01	0.001			
t-Test: Paired Two Sample for Means						
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>				
Mean	0.3069	0.2713				
Variance	0.0414	0.0215				
Observations	24.0000	24.0000				
Pearson Correlation	0.3324					
Hypothesized Mean Difference	0.0000					
df	23.0000					
t Stat	0.8424					
P(T<=t) one-tail	0.2041					
t Critical one-tail	1.7139					
P(T<=t) two-tail	0.4082					
t Critical two-tail (95 % - 0.05)	2.0687					
t Critical two-tail (99 % - 0.01)	2.8073					
t Critical two-tail (99.9 % - 0.001)	3.7676					
Conclusions:						
t (matematički) / (95 % - 0.05)	0.4082	<	2.0687			
t (matematički) / (99 % - 0.01)	0.4082	<	2.8073			
t (matematički) / (99.9 % - 0.001)	0.4082	<	3.7676			
Slučaj 1 - Za dati prag značajnosti nulta hipoteza - H3 se prihvata kao tačna. Razlika nije statistički značajna.						
Slučaj 2 - Za dati prag značajnosti nulta hipoteza - H3 se prihvata kao tačna. Razlika nije statistički značajna.						
Slučaj 3 - Za dati prag značajnosti nulta hipoteza - H3 se prihvata kao tačna. Razlika nije statistički značajna.						

Na osnovu rezultata iz tabele 7.2.4 zaključujemo da je H3 prihvaćena kao tačna, za sva tri slučaja.

Možemo konstatovati da smo za donju vilicu, za sva tri nivoa značajnosti dobili isti rezultat – čime je svaki put potvrđena nulta hipoteza H3, što u ovom slučaju znači isto kao i za gornju vilicu - da je "efekat" pomeranja zuba pri njihovom slaganju u gornjoj vilici više izražen u prvih pola godine u odnosu na drugih 6 meseci.

Rastojanja u y-z ravni beležila su blagi rast, koji nije bio veći od nekoliko desetih delova milimetra. Jedina veća razlika primetna je u rastojanju između drugog gornjeg molara i lateralnog sekutića, i sa desne i sa leve strane. Na početku terapije, vidljiv nedostatak u gornjoj vilici bio je položaj lateralnih sekutića ka nepcu, tj. njihov palatinalni položaj. U toku terapije postignut je vidljiv napredak u

korigovanju njihovih položaja. Nakon deset meseci oba zuba su dovedena u svoj koliko-toliko korektan položaj u zubnom nizu.

U donjoj vilici razlike su bile uočljive u rastojanjima sa desne strane. Rastojanja sa leve strane nisu se bitnije menjala. U objašnjenju promena na desnoj strani može se uzeti u obzir nedostatak prvog donjeg desnog molara, te postojanje prostora između drugog molara i drugog premolara. Taj prostor nije zatvaran, već je donekle iskorišćen za postavljanje zuba u frontalnoj regiji. Tokom deset meseci terapije, prostor je smanjen, ali ne u značajnijoj meri. Dogovor sa pacijentom je bio da se taj prostor sačuva, da bi se u nekom kasnijem periodu (nakon završetka kompletno terapije) iskoristio za eventualnu protetsku nadoknadu nedostajućeg zuba.

U toku terapije došlo je do pomeranja zuba u vertikalnom pravcu duž z-x ravni. Kako do ovih pomeranja ipak dolazi tokom terapije, ona ne bi trebala da su nešto značajnija. To su rezultati i pokazali. Razlike se primećuju tek na drugom ili trećem decimalnom mestu. Oštećenje lateralnih sekutića na donjem master modelu onemogućilo nas je da imamo vrednosti visine kliničke krune zuba na početku terapije. I pored toga što su kasniji modeli bili zadovoljavajući, zbog nedostatka početnih vrednosti, ovi zubi su izuzeti iz analiza. Na ostalim modelima bilo je oštećenja zuba, ali nakon obeležavanja je utvrđeno da ta oštećenja nisu značajna i ne utiču na validnost i tačnost rezultata.

Na ovaj način je razvijen, testiran i praktično primenjen model personalnog 3D modela, što na neki način predstavlja novinu u ovoj oblasti. Nisu analizirani skupovi populacije pacijenta, po različitim osnovama (pol, uzrast, ortodontski problem, ...) i nad njima vršene različite statističke analize (kao što to svi rade), jer to odstupa od osnovne ideje. Primenjena statistika, u ovom slučaju, je pokazala različite varijacije za prvih 6 meseci terapije u odnosu na drugih 6 meseci, za prikazanog pacijenta što je i bila H3. Ovo omogućuje da se izvuku relevantni zaključci, što je i urađeno. Posebno se napominje da je izvršena statistička obrada za različite vremenske intervale (po dva, tri, četiri, pet i šest meseci), ali se pokazalo da je period od po 6 meseci relevantan za poredjenje.

### 7.3. Praćenje pomeranja zuba u prostoru

Koristeći novo-razvijeni model određivanja GOKS/LOKS, ovde je taj koncept primenjen na realnom primeru.

Za navedenog pacijenta on je primenjen, sa ciljem da se prati pomeranje AGE u prostoru, a preko OP prati i ocenjuje razvoj ortodontske terapije.

Na slici, 7.3.1 je za 4-tu kontrolu za pacijenta 82245 prikazan izveštaj sa navednim koordinatama AGE.

Takođe na ovom izveštaju se nalaze i sledeće informacije: oznaka ose GOKS-a (Axis X, ...); D7DL (Donja vilica, 7 zub desno, donja vilica), sa koordinatama tačke na njemu ( $x + 19.246$  mm,  $y - 14.173$  mm,  $z - 1.024$  mm); OP- VMLKDPPD – xy (ovaj ortodontski parametar, rastojanje, nalazi se u ravni x-y), njegova dužina je  $+21.020$  mm (prostire se u okluzalnoj ravni), njegove projekcije na ose GOKS-a su:  $Lx + 2.548$  mm,  $Ly + 20.740$  mm,  $Lz + 2.274$  mm).

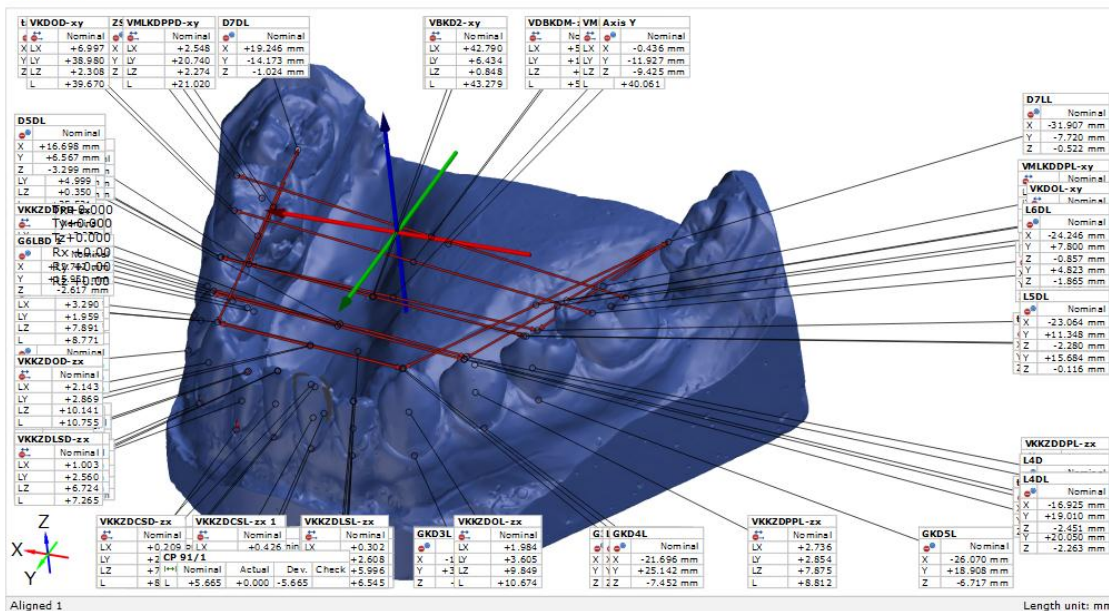
Svi ovi elementi su dovoljni da se pomoću programa koji je specijalno razvijen, izvrši automatsko izračunavanje OP, poredeći različite kontrole, tabela 7.3.1.

Report number:



Untitled

16/16



Ovaj dokument može se obnoviti samo u cijelosti. Djelomično obnavljanje moguće je samo uz pismeno odobrenje Topomatika d.o.o., uz navođenje broja pod kojim se vodi isto pismeno odobrenje.  
This document may be reproduced only in full. It may be partially reproduced only by written approval of the Topomatika d.o.o., together with the quotation of the reference number of the same written.

Slika 7.3.1. Oznaka OGE i AGE na 3D modelu

Tabela 7.3.1. Pregled OP za pacijenta 82245 – Donja vilica

a) Master model "0" – stanje "2" – Osa x

Zub	Ortodontski parametar / Levo-Desno	Vrednost
1	D 1-1/x	5.055 <sup>1</sup> /0.039 <sup>2</sup>
2	D 2-2/x	14.970/0.349
3	D 3-3/x	24.800/0.779
4	D 4-4/x	31.858/0.949
5	D 5-5/x	37.977/1.664
6	D 6-6/x	46.934/0.212
7	D 7-7/x	50.058/0.999

NAPOMENA: Sve mere su u mm. <sup>1</sup> Dužina parametra. <sup>2</sup> Translacija između dve kontrole. D 3-3/x – Rastojanje između AGE za "trojke" levo-desno, duž ose x.

## b) Stanje "2" – stanje "4" – Osa x

Redni broj	Ortodontski parametar / Levo-Desno	Vrednost
1	D <sub>1-1/x</sub>	5.016/0.033
2	D <sub>2-2/x</sub>	15.319/0.051
3	D <sub>3-3/x</sub>	24.021/0.962
4	D <sub>4-4/x</sub>	32.807/0.948
5	D <sub>5-5/x</sub>	39.641/0.365
6	D <sub>6-6/x</sub>	47.146/0.994
7	D <sub>7-7/x</sub>	49.059/0.033

NAPOMENA: Isto kao pod a).

## c) master model "0" – stanje "4" – Osa x

Redni broj	Ortodontski parametar / Levo-Desno	Vrednost
1	D <sub>1-1/x</sub>	5.049/0.006
2	D <sub>2-2/x</sub>	15.268/0.298
3	D <sub>3-3/x</sub>	24.983/0.183
4	D <sub>4-4/x</sub>	33.755/1.897
5	D <sub>5-5/x</sub>	40.006/2.029
6	D <sub>6-6/x</sub>	46.152/0.782
7	D <sub>7-7/x</sub>	49.092/0.966

NAPOMENA: Isto kao pod a).

Rezultati iz tabele 7.3.1, posebno deo (c) pokazuju da je izvršena nivelacija svih zuba (svaki je imao translaciju u prostoru duž ose x). Najizraženije je bilo kod "petica" i "šestica", a najmanja kod jedinica.

U sledećem koraku, vršena je kontrola zagrižaja, kako je to pokazano na slici 6.5.2.

## 7.4. Oblik zubnog luka

Istraživanja analizirana u tački 6.4, dovela su do zaključka da su oblik i karakteristike zubnog luka, osim u [27], razmatrane u kontekstu funkcionalnih karakteristika vilice i položaja zuba u njoj, što je i primarni zadatak kliničke ortodontije. Međutim, zahvaljujući pre svega ICT tehnologijama, danas možemo otići i korak dalje, da se ove analize rade suptilnije, što znači da će se dobiti daleko veći broj parametara koji će ga opisati i definisati. Tako u [28] je sugerisano da bi se idealno opisala kriva zubnog luka, mora se koristiti polinom višeg stepena. Kriva (funkcija) zubnog luka, treba da ima značajnu fleksibilnost, što znači da se može podesiti da odgovara svakoj veličini zubnog luka, a može uključiti asimetrije vilice, ako ona postoji. Važno je još istaći činjenicu da je zubni luk zamišljena kriva, što znači da je opisna informacija, odnosno funkcija, koja predstavlja skup diskretnih tačaka. Zbog toga matematički dobijena kriva zubnog luka treba da se podesi prema pojedinačnim tačkama, na svakom zubu [29,30].

Ovaj pristup predstavlja podešavanje krive ili njenu interpolaciju. Podešavanje krive je koncept koji služi da se matematički oblik krive podesi prema krivoj stvarnog oblika zubnog luka. Kriva koju generišu predložene matematičke funkcije je podešena prema oznakama na zubima za koje se veruje (lekar to odredi) da pouzdano definišu zubni luk. Radi određivanja najbolje matematičke funkcije koja bi opisala krivine zubnog luka, nekoliko autora je testiralo različite matematičke funkcije (modele) koji bi najbolje odgovarale ovoj svrsi. Neki od ovih modela su: konični oblici krive, U krive, kubne jednačine, jednačine od drugog do osmog stepena, mešoviti modeli i beta-funkcija [31,32]. Na kraju, teško je generalizovati njihove nalaze ili donositi zaključke iz mnogo razloga: različiti ciljevi, različiti uzorci studije sa različitim kriterijumima, i različita metodologija.

Tačno određivanje globalnog koordinatnog sistema vilice kao i njegova precizna ponovljivost [24,33] je ključna za definisanje krive linije koja opisuje zubni luk. Greška koja se napravi u inicijalnom koraku određivanja koordinatnog sistema postaje sistemska i nikako se ne može otkloniti. Ako koordinatni sistem

vilice nije precizno određen u svim sukcesivnim kontrolama onda se ni te kontrole ne mogu pouzdano porediti. Doneti zaključci o napretku ortodontske terapije mogu biti potpuno pogrešni.

Značaj pravilnog definisanja koordinatnog sistema veoma je veliki. Njegov položaj i pravac ravni mora biti ponovljiv. Od toga dalje zavisi kako se mogu upoređivati pomeranja zuba između dve kontrole. Čak i najmanja greška pri postavljanju može dovesti do pogrešnih rezultata. Ne samo da će rezultati biti nejasni, već može doći i do pogrešnih zaključaka.

Druga jako bitna stvar je definisanje i postavljanje RGE [24,33]. Oni moraju biti postavljeni na istom mestu na svakom 3D modelu. Postavljanje po slobodnom uverenju i „od oka“, ne dovodi do preciznih rezultata. Greška pri postavljanju samo jednog entiteta povlači sa sobom greške koje se teško mogu ispraviti.

Maksimalna i prosečna odstupanja za splajnovne 6, 7, i 8 stepena konvergiraju vrednosti manje od 0,1mm što je ispod minimalne zahtevane tačnosti koju je propisao ABO. Splajnovi 3 i 4 stepena ne odgovaraju za opis krive linije dentalnog luka ovog pacijenta.

Splajn 6-og stepena najprirodnije izgleda u svim fazama tretmana, i odgovara najboljoj nivelaciji zuba, za 10-tu kontrolu slika 6.4.2.

Ovde je važno napomenuti da razvijeni model dozvoljava sledeće: da lekar ortodont predikuje, stepen splajna (oblik zubnog luka), na početku terapije, a prema planu lečenja pacijenta, ili da u svakoj kontroli proverava njegov stepen (oblik), a u zavisnosti od nivoa ostvarene nivelacije zuba.

U ovim istraživanjima je korišćen ovaj drugi pristup.

U svim fazama tretmana stomatolog ima tačnu informaciju na koji zub najviše da obrati pažnju jer mu je indikovana tačka (zub) sa maksimalnim odstupanjem od fitovane krive linije.

Moguće je da je za nekog drugog pacijenta prikladniji splajn različitog stepena u odnosu na ovog pacijenta jer je to individualno (pol, godište, rasa ...), što je još jedna potvrda hipoteze o personalnoj ortodontici iz tačke 3 ove teze.

Sa druge strane može se izvršiti predikcija oblika zubnog luka, saglasno planu ortodonta terapeuta, što se ovim modelom može ostvariti.

## 7.5. Određivanje tačnosti i ponovljivosti merenja skenera

Analiza rezultata nam pokazuje da postoje velike razlike između parametara postavljenih na modelima skeniranim na Atosu i LazakScan-u. Najmanja razlika je 0,017 mm, a najveća 1,109 mm. Parametri G13 i G18 su definisani pomoću tačaka L 2 D i R 2 D (slika 6.5.2), koje smo definisali prema tački 5, ali je lateralni sekutić na modelu polomljen, kao na primeru parametra G13 na modelu 4.

Zbog nekih oštećenja i neravnina na gipsanim modelima i postupka skeniranja dobili smo različite vrednosti parametara kako na modelima različitih gipsanih modela, tako i na modelima istih gipsanih modela dobijenih na oba skenera. Do različitih vrednosti je došlo zbog netačnosti postavljanja tačaka RG x, LG x i RGM 7 (slika 6.5.3). Rezultati pokazuju da je najveće odstupanje u razlici vrednosti parametara 0,256 mm, a prosečna razlika 0,129 mm. Ovaj rezultat predstavlja mernu netačnost oba skenera, koja je napred navedena i analizirana u tački 5.5. Do tih podataka smo došli uz popravljavanje položaja tačaka na modelu broj 4 gornje vilice. Popravljenе vrednosti su prikazane u tabeli 6.5.7.

Na primer, na Atosu imamo na modelu gornje vilice tačku L 3 (slika 6.5.3), na 0,049 mm više levo, dok na LabodScan ista tačka je 0,051 mm više desno, što čini razliku u položaju tačke od 0,100 mm. Slično se dešava i sa tačkom R 3 (slika 6.5.3), gde je razlika među parametrima G1 na oba skena približno 0,200 mm. U našem primeru se nešto slično dogodilo kod parametra G4, gde je razlika u vrednosti ortodontskog

parametra 0,245 mm. Najveća razlika se javlja kod parametra G22, koji zavisi od tačke R 2 D (slika 6.5.2), koju je teže postaviti na odgovarajućem zubu, a ona iznosi 0,256 mm.

Pored grešaka koje se odnose na linearna rastojanja, a koje se direktno odnose na definisane ortodontske parametre, imamo i greške rotacije vilice/zuba u odnosu na globalni koordinatni sistem i to: ugao  $\alpha$  – rotacija u odnosu na osu X, ugao  $\beta$  - rotacija u odnosu na osu Y, ugao  $\gamma$  - rotacija u odnosu na osu Z. Analizom podataka iz tabele 8 možemo zaključiti, da je na prvom modelu gornje vilice došlo do velikog pomeranja okluzalne ravni, što se vidi promenom ugla  $\alpha$  između prvog i drugog modela. Do promene ugla dolazi zbog mnogih izbočina na gingivalnom rubu. Takođe zaključujemo da su razlike ugla  $\beta$  0,5 stepeni, što je blizu očekivanih vrednosti, što može biti čak i zanemarljivo, zbog malih vrednosti. Za ugao  $\gamma$  razlika iznosi 0,74 stepena. Ova vrednost je veća od vrednosti ugla  $\beta$ , a istovremeno i veća od očekivane vrednosti, što je posledica netačnosti postavljanja tačaka na distalnim površinama prvih stalnih molara.

Iz tabele 6.5.9 zaključujemo da su razlike uglova  $\beta$  i  $\gamma$  veće na modelima donje vilice u poređenju sa modelima gornje vilice. To zbog neravnina na vrhovima zuba i pojava izbočina na gingivalnom rubu na gipsanom modelu daje dopunsku rotaciju, koja se najbolje uočava na modelu 3 donje vilice, zbog rotacije oko Y-ose. Ovde se takođe pojavljuje nepravilnost zbog nepravilnog postavljanja tačke R 7 LM (slika 6.5.2), jer je vrh zuba oštećen. Takođe imamo i velika odstupanja od očekivanih vrednosti rotacije oko Y i Z-ose. Pri analizi modela i položaja tačaka uočljivo je da se usled nedostatka zuba u vilici, menja položaj i orijentacija okolnih zuba, kao i na položaj i orijentaciju ortodontskih ravni. Rotacije su zbog toga u velikoj meri realne i predstavljaju realnu sliku položaja ortodontskih ravni.

Rezultati u tabeli 6.5.10 su takođe donekle izvan očekivanih. Razlike u pravcu X ose se odnose na tačke za postavljanje medijalne ravni, koje utiču na oblik zubnog luka. Razlike u pravcu Z ose je u velikoj meri u okviru očekivanih vrednosti ( $\pm 0,100$  mm), dok su razlike u pravcu Y ose onakve kakve su i očekivane. Predvideli smo, da se u Y smeru pojavi razlika u iznosu  $Y_{\theta x} \pm 0,1$  mm. Analizirajući rezultate, zaključujemo, da se ugao  $\theta x$  menja od modela 2 do modela 13 skoro linearno, što bi trebalo da znači da treba očekivati i linearnost promene razlika pomeranja u Y smeru. Vrednost  $Y_{ost}$  predstavlja pomeranje globalnog koordinatnog sistema u Y smeru  $\Delta y$ , od čega je oduzeto pomeranje  $Y_{\theta x}$ , koji je posledica rotacije oko X-ose. Pomeranje  $Y_{ost}$  je posledica netačno postavljenog globalnog koordinatnog početka preko distalnih površina na prvim molarima zbog ne najtačnije postavljenih tačaka RG 4, RG 5, LG 4 i LG 5 (sve slika 6.5.2), što je posledica izbočina na gingivalnom rubu na gipsanim modelima. Očekivali smo, da je pomeranje u opsegu  $\pm 0,100$  mm, a da su odstupanja veća. Da bi razumeli te rezultate na modelu 9 smo izveli poravnavanje drugog i devetog modela preko levog prvog molara, što je prikazano na slici 6.5.1. Sa slike je očigledno, da je došlo do rotacije između levog i desnog molara, kao promena u položaju distalnih tačaka na molarima, koje su upotrebljene za postavljanje položaja tuber ravni i s tim i koordinatnog početka, globalnog ortodontskog koordinatnog sistema (GOKS).

Za ponovljivost merenja na dva skenera i njenu proveru, postavlja se sledeća hipoteza:

*H1: Ponovljivost merenja zavisi od tačnosti merenja skenera. Postavlja se hipoteza da je ponovljivost merenja veća kod skenera Atos u odnosu na LazakScan.*

Za postavljenu hipotezu, izvršena je provera pomoću t testa, a rezultati su dati, u tabeli 7.5.1.

Tabela 7.5.1.

<b>t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances</b>				
	<i>AS1</i>	<i>AS2</i>		
Mean	22706.30689	22562.27539		
Variance	266826513.6	269142609.7		
Observations	26	26		
Hypothesized Mean Difference	0			
df	50			
t Stat	0.031723			
P(T<=t) one-tail	0.487409624			
t Critical one-tail	1.675905026			
P(T<=t) two-tail	0.974819249			
t Critical two-tail	2.008559072			
Analiza podataka za slučaj:				
Pg=	99	%		
alfa=	0.01			
<b>Medjusobno nezavisni uzorci:</b>				
t(računsko)=	<b>0.97481925</b>	<	<b>2.00855907</b>	
<b>Za dati prag značajnosti nulta hipoteza se prihvata kao tačna.</b>				

Parametar testa je bila aritmetička sredina ortodontskog parametra, za donju vilicu, ukupno 26, a dobijeni rezultat pokazuje da ne postoji statistički značajna razlika u oceni ponovljivosti merenja za ova dva skenera.

To znači je ponovljivost merenja na Atos skeneru veća od istog parametra na LazakScan-u.

## Literatura

- [1]. Majstorović N., Mačužić J., Radić D., Glišić B., Nikodijević A., 3D Modelling in Orthodontics – one Approach, The 7th International Working Conference "Total Quality Management – Advanced and Intelligent Approaches", 3rd – 7th June, 2013, Belgrade, Serbia, Session 4: Young PhD researchers, Proceedings, ISBN 978-86-7083-791-1, COBISS.SR 198576396, pp: 245-252, 2013.
- [2]. Quimby M., Vig K., Rashid R., Firestone A., The Accuracy and Reliability of Measurements Made on Computer-Based Digital Models, *Angle Orthodontics*, Vol. 74, No. 3, pp. 298–303, 2004.
- [3]. Akyalcin S., Cozad B., English J., Colville C., Lamand S., Diagnostic accuracy of impression-free digital models, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013;144:916-22, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.04.024>.
- [4]. Choi S., Jeong M., Jang I., Jost-Brinkmann G., Accuracy and reliability of palatal superimposition of three-dimensional digital models, *Angle Orthodontist*, 2010; 80, 4: 545-56, DOI: 10.2319/101309-569.1.
- [5]. Tarazona B., Llamas M., Cibrian R., Gandia L., Paredes V., A comparison between dental measurements taken from CBCT models and those taken from a Digital Method, *European Journal of Orthodontics*, 2011; 35, 1: 1-6, DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/ejo/cjr005>.
- [6]. Tomassetti J., Taloumis L., Denny J., Fischer, R., A Comparison of 3 Computerized Bolton Tooth-Size Analyses With a Commonly Used Method, *Angle Orthodontist*, 2001; 71, 5: 351-7.
- [7]. Stevens R., Flores-Mir C., Nebbe B., Raboud W., Heo G., Major W., Validity, reliability and reproducibility of plaster vs digital study models: Comparison of peer assessment rating and Bolton analysis and their constituent measurements, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2006; 129(6):794-803, DOI:10.1016/j.ajodo.2004.08.023.
- [8]. Horton M., Miller R., Gaillard R., Larson E., Technique comparison for efficient orthodontic tooth measurements using digital models. *Angle Orthod.* 2010 Mar;80(2):254–261, DOI: 10.2319/041709-219.1.
- [9]. Mohammed El-Zanaty H., Ragab El-Beialy A., Mohammed Abou El-Ezz A., Hazem Attia K., Ragab El-Bialy A., Ahmed Mostafaf Y., Three-dimensional dental measurements: An alternative to plaster models, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137:259-65, doi:10.1016 /j.ajodo.2008. 04.030.
- [10]. Mullen R., Martin C., Ngan P., Gladwin M., Accuracy of space analysis with emodels and plaster models, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, September 2007, Vol 132, Issue 3, 346-352, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.08.044>.
- [11]. Sjögren A., Lindgren J., Huggare J., Orthodontic Study Cast Analysis — Reproducibility of Recordings and Agreement Between Conventional and 3D Virtual Measurements, *Journal of Digital Imaging*, 2010; 23, 4: pp 482-492, doi: 10.1007/s10278-009-9211-y.
- [12]. Leifert F M., Leifert M M., Stella S., Efstratiadis S., Comparison of space analysis evaluations with digital models and plaster dental casts, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2009, 136(1), 16.e1 - 16.e4, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2008.11.019>.
- [13]. Jacquet W., Nyssen E., Ibel G., Vannet B., On the augmented reproducibility in measurements on 3D orthodontic digital dental models and the definition of feature points, *Aust Orthod J* 2013; 29: 28-33, PMID: [23785935](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23785935/).
- [14]. Grauer D., Proffit, W., Accuracy in tooth positioning with a fully customized lingual orthodontic appliance, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, September 2011; 140, Issue 3, 433-443, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2011.01.020>.
- [15]. Kasparova M., Grafova L., Dvorak P., Dostalova T., Prochazka A., Eliasova H., Prusa J., Kakawand S., Possibility of reconstruction of dental plaster cast from 3D digital study models, *Bio Medical*



Engineering On Line 2013; (<http://www.biomedical-engineering-online.com/content/12/1/49>) (pristupano juna 2016), DOI: 10.1186/1475-925X-12-49.

[16]. BootvongK., LiuZ., McGrathC., HäggU., Wong R., BendeusM., YeunS., Virtual model analysis as an alternative approach to plaster model analysis: reliability and validity, *European Journal of Orthodontics* 32 (2010) 589–595, doi:10.1093/ejo/cjp159.

[17]. Chen H., Lowe A., de Almeida R., Wong M., Fleetham A., Wang B., Three-dimensional computer-assisted study model analysis of long-term oral-appliance wear. Part 1: Methodology, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, September 2008; 134: 393-407, doi: 10.1016/j.ajodo.2006.10.030.

[18]. Bailey E., Nelson G., Miller A., Andrews L., Johnson E., Predicting tooth-size discrepancy: A new formula utilizing revised landmarks and 3-dimensional laser scanning technology, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, April 2013; 143, Issue 4, 574-585, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2012.09.022>.

[19]. McDonald L., Shofer S., Ghafari J., Effect of molar rotation on arch length, *Clin Orthod Res* 4. 2001; 79-85, PMID:11553089.

[20]. Nam S., Kim Y., Park Y., Baek S., Hayashi K., Kim K., Lee S., Three-dimensional dental model constructed from an average dental form, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2012; 141, Issue 2, 213-18, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ajodo.2011.08.044>.

[21]. Park J., Balk, S., Classification of Angle Class III malocclusion and its treatment modalities, *Int J Adult Orthod Orthognath Surg* 2001;16:19–29, PMID: 11563392.

[22]. Mačužić J., Majstorović N., Glišić B., Majstorović V., Application and Accuracy of 3D Modelling in the Field of Orthodontic, 35<sup>th</sup> International Conference on Production Engineering, Proceedings, ISBN 978-86-82631-69-9, COBISS.SR-ID 204080908, pp. 235-240, (M33-1), <http://www.mfkv.kg.ac.rs/ocs/public/site/images/bogojevic/proceedings.pdf>

[23]. Mačužić J., Majstorović N., Glišić B., Majstorović V., Determination of Dental Arc Using 3D Model, *International Journal Advanced Quality*, Vol. 42, No. 1, United Association Serbia of Quality, 2014, ISSN 2217-8155, (M51-2) <http://www.jusk.rs>

[24]. Majstorović N., Mačužić B., Glišić J., Referentni geometrijski entiteti, *Stomatološki glasnik Srbije*, 2014; 61 (2):102-112, Beograd, Srbija, DOI: 10.2298/SGS1402102M, <http://www.stomglas.org.rs/index.htm>.

[25]. Majstorović N., Mačužić B., Glišić J., Assessment of Teeth Nivelation Based on 3D Model, *International Conference "Leading Enabling Technologies for Societal Challenges"*, Bologna - 29th September – 1st October, 2014, Poster presentation, (M34-0.5), <http://lets2014.eu>

[26]. Majstorović N., Mačužić B., Glišić J., Using 3D Modeling in Assessment of Teeth Nivelation, 6th *International ICT Conference*; October 14 - 16. 2014, Niš, Serbia, Proceedings, pp. 186-200, (M33-1), <http://ictforum.rpknis.rs>

[27]6. Adaškevičius R., Vasiliauskas A., Evaluation of Dental Arch Form Using 3D Dental Cast Scanning Technology, *Journal of Electronics and Electrical Engineering, Medicine Technology*, ISSN 1392 – 1215, 2009. No. 5(93), pp 99-103.

[28]13. Harbia, S., Alkofideb, E., Madic, A., Mathematical analyses of dental drch curvature in normal occlusion, *Angle Orthodontist*, Vol 78, No 2, 2008, 281-87, doi: 10.2319/121806-516.1.

[29]. Noroozi, H., Hosseinzadeh, T., Saeeda, R., The dental arch form revisited, *Angle Orthodontist*, Vol 71, No 5, 2001, 386-89.

- [30]. Muhamad, A., Nezar, W., Azzaldeen, A., The curve of dental arch in normal occlusion, Open Science Journal of Clinical Medicine. Vol. 3, No. 2, 2015, pp. 47-54.
- [31]. Pokhariyal, G., Humans dental arch shapes, Global Journal of Medical Research: J Dentistry and Otolaryngology Volume 15, Issue 4, Version 1.0, Year 2015, 1-4.
- [32]. Zhang, Y., Jun, G., Gang, J., Lian, S., Motion control point optimization of dental arch generator, International Journal of u- and e- Service, Science and Technology Vol.6, No.5 (2013), pp.49-56.
- [33]. Majstorović, N., Živković, S., Glišić, B., Dental Arch Monitoring By Splines Fitting Error During Orthodontic Treatment Using 3D Digital Models, Časopis Vojnosanitski Pregled 2019; March vol. 76 (No. 03): pp... (prihvaćen za objavljivanje).

## 8. ZAKLJUČCI

Sušтина ove teze je razvoj novog modela definisanja, praćenja, analize i ocene ortodontskog stanja pacijenata za nivelaciju zuba, primenom RGE, a na 3D modelima.

Šta se dobija korišćenjem RGE u odnosu na sadašnji prilaz (definišu se samo tačke i mere njihova linijska rastojanja), odnosno drugačije rečeno šta je to novo u ovom prilazu zasnovanom na RGE, u odnosu na ostale, koji ne koriste RGE ?

**1. Mogućnosti za definisanje novog modela gnatometrijske analize,** jer se sada kao RGE mogu koristiti 12 različitih elemenata (tačka, prava, ravan, ... kriva površina), uključujući na primer posebno krive linije i krive površine, što je veliki izazov za ovu oblast (ortodontciju), koji daju velike mogućnosti (na primer praćenje promene položaja zuba u više-nivovskim preseccima ili pod različitim uglovima, sve u zavisnosti od ortodontskog stanja pacijenta a u odnosu na globalni ortodontski koordinatni sistem (GOKS) vilice.

**2. Personalizovana e-ortodontcija.** Ovaj prilaz, izložen u tezi omogućuje da se za svakog pacijenta pojedinačno, zahvaljujući setu ortodontskih parametara vrše vrlo precizne ortodontske analize. Statistički tretirani skupovi parametara (ukupno 54, a možemo ih definisati koliko procenimo da nam treba – od slučaja do slučaja), sa skupovima otisaka za jednog pacijenta od godinu dana (u konkretnom slučaju to je bio dovoljan period) za obe vilice – relevantan vremenski period u ortodontiji kada se mogu za jednog pacijenta izvlačiti validni zaključci. Primenjen t test za jednog pacijenta za navedene skupove otisaka i analiziranih parametara. Na ovaj način se želelo pokazati da ima smisla govoriti i prikazati prilaz personalnoj ortodontiji. Mi smo u tački 5.3 analizirali skupove populacije pacijenata, po različitim osnovama (pol, uzrast, ortodontski problem, ...) i nad njima vršili različite statističke analize (kao što to svi rade), što znači da se RGE može koristiti i za te namene. Primenjena statistika, u našem slučaju, tačka 7.2, je pokazala različite varijacije za prvih 6 meseci terapije u odnosu na drugih 6 meseci, za našeg pacijenta što je i bila H3. Ovo nam omogućuje da izvučemo relevantne zaključke, što je i urađeno. Posebno napominjemo da smo izvršili statističku obradu za različite vremenske intervale (po dva, tri, četiri, pet i šest meseci), ali se pokazalo da je period od po 6 meseci relevantan za poredenje.

**3. Unapređuje se postojeći model definisanja koordinatnih sistema, prema ABO modelu.** U ovim istraživanjima definišemo GOKS, polazeći od preporuke ABO, ali i lokalni ortodontski koordinatni sistem (LOKS) (za svaki zub), što omogućuje dodatne analize ortodontskih parametara (u odnosu na zub koji je na primer imao najveća pomeranja, itd). Naravno, sve ovo, kao i analize u prethodnoj tački, se vrši u prostoru (3D), što preko RGE omogućuje dodatne dimenzione i uglovne analize (na primer ugao pomeranja ose zuba u odnosu na osu GOKS ili LOKS, itd).

### **4. Tačnost i preciznost analize.**

**Tačnost.** Ovaj model nam, pomoću GE, obezbeđuje apsolutnu tačnost, jer se parametri mere (određuju) sa tačnošću od stotog dela mikrometra (0.00001 mm), što je u odnosu na uobičajene rezultate koji se danas koriste (0.01 mm) tačnost povećava tri reda veličina. U ovom slučaju poredenje analiza sa našeg 3D modela sa manuelnim merenjima istih parametara, nema smisla, jer se u oba merenja (3D/manuelno) veličine iskazuju u stotom delu milimetra (0.01 mm), pa nema baš smisla analizirati – upoređivati veličine ISTOG RANGA, jer tačnost SAMO zavisi od očitanih rezultata (a to je SAMO slučajna greška merenja, PO PRAVILU MANJI DEO GREŠKE MERENJA), a NE i od stvarne vrednosti ortodontskog parametra. Kod 3D modela u našem slučaju (RGE modelu) ovaj problem u vezi sa tačnošću je rešen, što je u radu i pokazano, kroz hipotezu H2. Dodatne analize za ovaj problem su date u 6.5.

**Preciznost.** RGE, odnosno njegove koordinate definisane u ovom sistemu, ostaju UVEK iste (pri svakom korišćenju GE), to je karakteristika GOKS, ostvarena na novi način, a izložena u tački 6.3

ove teze. Na ovaj način se ostvaruje, opet apsolutna preciznost – H2, na nivo, stotog dela mikrometra, kao što je napred navedeno.

**5. Simulacija.** 3D model iz CAD sistema omogućuje različite simulacije položaja zuba u vilici pacijenta (slike 6.4.5 i 6.4.6), a koje su posledica njegovog pomeranja (translacija, rotacija) usled ortodontske terapije. Primenom RGE se po ovom osnovu mogu vršiti razne analize, što će biti predmet budućih radova.

**6. Analiza ortodontskih parametara u tri ravni.** Dosadašnja istraživanja na 3D modelima su obuhvatila definisanje, merenje i analizu ortodontskih parametara za jednu ravan, po pravilu za x-y ravan. Naša analiza je obuhvatila ove analize u sve tri ravni, što je novi prilaz (tačka 6.4). Šta se time dobija? Pošto su zubi raspoređeni u prostoru, onda se tačniji rezultati analize njihovog položaja dobijaju kada se njihovo pomeranje posmatra takođe u prostoru duž tri ose (x,y,z), odnosno u tri ravni (x-y, y-z, z-x), što je u ovim istraživanjima i urađeno.

**7. Analiza nivelacije zuba kroz istraživanja oblika zubnog luka.** U oblasti nivelacije zuba u ravni x-y (okluzalna ravan), ovo je novi prilaz, primena splajna za analizu i opis oblika zubnog luka. I to nam omogućuju RGE iz klase krive linije, što je ovde i urađeno. Pokazano je da splajn šestog stepena najbolje, sa aspekta lekara, ortodonta opisuje zubni luk.

Dakle, rad opisuje razvijeni i primenjeni model RGE, kroz planiranje i praćenje ortodontske terapije, za nivelaciju zuba, ali sa determinisanim vrednostima PROMENE položaja (u radu je prikazana translacija u tri ravni, odnosno duž tri ose, a za sledeća istraživanja će biti uključena i rotacija zuba). Takođe su opisani i dobijeni rezultati lečenja, analizirani pomoću 3D modela i RGE.

## 9. BUDUĆA ISTRAŽIVANJA

Nema nikakve sumnje da će vrlo brzo 3D modeliranje biti uobičajena tehnologija, primenjena u ortodontici.

Međutim, najnovija istraživanja [1-5], pokazuju da će se 3D modeliranje širiti u ortodontici u sledećim pravcima:

- (i) reverzno inženjstvo, što znači da će se 3D modeliranje koristiti i za ispravke i korekcije ortodontskih aparata, tokom terapije [1,4]. U ovoj oblasti, počinju istraživanja i kod nas [7],
- (ii) brza izrada prototipa na bazi 3D modela je sledeća, nova istraživačka oblast [2,6]. Ona se takođe odnosi na izradu ortodontskih aparata, i
- (iii) 3D štampa u ortodontici [3,5]. Takođe, osnova ove tehnologije je 3D model vilice pacijenta, a na osnovu koga se mogu raditi stvari iz prethodne tačke, ali je još važnije, što se ovom tehnologijom mogu izraditi – štampati idealni oblik zubnog niza pacijenta, u zavisnosti od ortodontskog problema koji se rešava. Na ovaj način se simuliraju različita ortodontska stanja, planira ortodontska terapija, odmah vide rezultati unapred, itd.

ICT tehnologije su duboko prodrle u sve oblasti, što važi i za ortodontiju. Ali, danas i ubuduće, osnovu svih istraživanja čini 3D model, koji je i bio osnova ovih istraživanja. Lekar stomatolog je dobio moćan alat za svoj klinički i naučni rad.

### Literatura

- [1]. Bong-Kuen Ch., Clinical Application of Three-Dimensional Reverse Engineering Technology in Orthodontic Diagnosis, Gangneung-Wonju National University, Korea, *IJ Principles in Contemporary Orthodontics*, [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com) (pristupano 12. juna 2017).
- [2]. Zhang S., The application of rapid prototyping in prosthodontics, *J Prosthodont* 2012;21(8): 641-4, doi: 10.1111/j.1532-849X.2012.00888.x. Epub 2012 Jul 23.
- [3]. Hems D., Knott N., 3D printing in prosthodontics. *Faculty Dental Journal*, 2014;5(4):152-157.
- [4]. Kalpana D., Harish G., Mahesh C., Swati S., Madhuri V., Brunda K., CAD / CAM in Dentistry - A Review, *IJRID Volume 5 Issue 2 Mar.-Apr. 2015*, pp. 14-21.
- [5]. Dawood A., Marti B., Sauret-Jackson V., Darwood A., 3D printing in dentistry, *British Dental Journal* 2015; 219: 521-529, DOI: 10.1038/sj.bdj.2015.914.
- [6]. Torabi K., Farjood E., Hamedani S., Rapid Prototyping Technologies and their Applications in Prosthodontics, a Review of Literature, *J Dent Shiraz Univ Med Sci.*, March 2015; 16(1): 1-9.
- [7]. Reverse Engineering in Orthodontics, Bilateral Project, Proposal, Serbia – Slovenia, Belgrade/Ljubljana 2017.

## 10. ZNAČENJE POJMOVA I SKRAĆENICA

Ovo istraživanje je bilo interdisciplinarno, što znači da je u osnovi povezalno znanja i sisteme iz stomatologije i mašinskog inženjerstva.

Iz tih razloga je bilo neophodno koristiti termine iz ovih oblasti, specifičnih za njih. Radi razumevanja i sagledavanja celokupne materije ove teze, ovde se daju značenja i objašnjenja korišćenih skraćenica.

1. CAD – Computer Aided Design. Projektovanje pomoću računara. U ovim istraživanjima – modeliranje (3D), pomoću računara.
2. RGE – Referentni geometrijski entiteti. Predstavljanje prirodne geometrije zuba, geometrijskim entitetima, a radi njihovog modeliranja na CAD sistemima.
3. CAE – Computer Aided Engineering. Proračun pomoću računara. Ovde se misli na proračune i simulaciju napona i opterećenja u oblasti stomatologije (zubi, vilice, zglobovi).
4. FEM - Finite elemente methods. Metod konačnih elemenata. Koristi se prema tački 3.
5. CAM – Computer Aided Manufacturing. Izrada uz pomoć računara. Proizvodnja stomatoloških nadoknada i ortodontskih bravica pomoću računara.
6. RP – Rapid prototyping. Brza izrada prototipa. Radi se o, na primer izradi fiksnih nadoknada i elementa ortodontskih aparata.
7. CAQ – Computer Aided Quality. Kvalitet podržan računarom. Radi se o modeliranju i obezbeđenju kvaliteta stomatoloških nadoknada i ortodontskih aparata.
8. ICT – Information Communication Technology. Informaciono – komunikacione tehnologije.
9. CAD/CAM – Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing. U kontekstu objašnjenja tačkaka 1 i 5.
10. ABO – American Board of Orthodontics. Američko udruženje za ortodonciju.
11. SCI – Science Citation Index. Indeks naučne citiranosti.
12. CMM – Coordinate Measuring Machine. Koordinatna merna mašina. Koordinatne merne mašine, su po pravilu, upravljanje računarom.
13. GE – Geometrijski entitet. U kontekstu tačke 2.
14. GOKS – Globalni ortodontski koordinatni sistem.
15. LOKS – Lokalni ortodontski koordinatni sistem.
16. OGE – Osnovni geometrijski entiteti. U kontekstu tačke 2.
17. IGE – Izvedeni geometrijski entiteti. U kontekstu tačke 2.
18. AGE – Anatomski geometrijski entiteti. U kontekstu tačke 2.
19. OP – Ortodontski parametri.
20. CAD/CAM/CAE - Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing / Computer Aided Engineering – U kontekstu objašnjenja tačkaka 1, 3 i 5.
21. PAR index – Peer assessment rating. Indeks ocene uspešnosti ortodontske terapije.
22. CBCT – Cone beam computed tomography. Kompjuterizovana tomografija.

## 11. BIOGRAFIJA AUTORA

Dr Nemanja Majstorović je rođen u Beogradu 18. 04. 1985. godine. Osnovnu školu "Pero Popović – Aga" i Gimnaziju "Sveti Sava", je završio u Beogradu, obe kao nosilac Vukove diplome.

Stomatološki fakultet u Beogradu upisao 2004/05. god. i diplomirao 15. 07. 2011. godine sa prosečnom ocenom 8,78.

Pripravnički staž je obavio na Klinikama Stomatološkog fakulteta u Beogradu a 2012. godine je položio stručni ispit.

2011. godine je upisao doktorske studije na Stomatološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, iz naučne oblasti Ortodoncija vilica, a sve ispite je položio do 01. 10. 2013. godine, sa prosečnom ocenom 9.24.

Objavio je 20 radova na domaćim i međunarodnim skupovima i časopisima iz oblasti ortodoncije i 3D modeliranja.

Kao autor, izlagao je na Evropskom ortodontskom Kongresu i na Balkanskom stomatološkom Kongresu.

Objavio je dva rada na SCI listi, još dva su mu na recenziji, i njihovo objavljivanje se očekuje uskoro.

Radio je na jednom međunarodnom Projektu iz oblasti 3D modeliranja u ortodonciji, a za drugi očekuje rezultate recenzije.

Lista referenci:

1. N., Majstorović, J., Mačužić, D., Radić, B., Glišić, A., Nikodijević, 3D MODELLING IN ORTHODONTICS – ONE APPROACH, 7th International Working Conference "Total Quality Management – Advanced and Intelligent Approaches", 3rd – 7th June, 2013, Belgrade, Serbia, Session 4: Young PhD researchers, Proceedings, ISBN 978-86-7083-791-1, COBISS.SR 198576396, pp: 245-252, 2013. (M33), <http://www.mas.bg.ac.rs>.

2. J., Mačužić, N., Majstorović, B., Glišić, V., Majstorović, APPLICATION AND ACCURACY OF 3D-MODELLING IN THE FIELD OF ORTHODONTIC, 35<sup>th</sup> International Conference on Production Engineering, Proceedings, ISBN 978-86-82631-69-9, COBISS.SR-ID 204080908, pp. 235-240, (M33), <http://www.mfkv.kg.ac.rs/ocs/public/site/images/bogojevic/proceedings.pdf>.

3. J., Mačužić, N., Majstorović, B., Glišić, V., Majstorović, DETERMINATION OF DENTAL ARC USING 3D MODEL, 10th Annual Conference National Academy for Quality "Current Research in Quality Field – State of the Art", Novi Sad, 19th - 21th november 2013. CD Zbornik radova, (M33), <http://www.jusk.rs>.

4. N., Majstorovic, Mačužić, J., Glisic, B., REFERENTIAL GEMETRICAL ENTITIES IN ORTHODONTICS ON 3D MODELS, Serbian Dental Journal, Vol. 61, No. 2, 2014, (M24). <http://www.stomglas.org.rs/index.htm>.

5. N., Majstorović, J., Mačužić, B., Glišić, ASSESSMENT OF TEETH NIVELATION BASED ON 3D MODEL, International Conference "Leading Enabling Technologies for Societal Challenges", Bologna - 29th September – 1st October, 2014, Poster presentation, (M34), <http://lets2014.eu>.

6. N., Majstorović, J., Mačužić, B., Glišić, USING 3D MODELING IN ASSESSMENT OF TEETH NIVELATION, 6th International ICT Conference; October 14 - 16. 2014, Niš, Serbia, Proceedings, pp. 186-200, (M33), <http://ictforum.rpknis.rs>.

7. N., Majstorović, B. Glišić, USING 3D MODELLING IN ORTHODONTICS PRACTICE, European Orthodontic Society, 91<sup>st</sup> Congress of the European Orthodontic Society, Venice, 14<sup>th</sup> -18<sup>th</sup> June, 2015, (M34), (Poster presentation). <https://www.eoseurope.org/>.

8. N., Majstorović, B. Glišić, L. Čerče, M. Soković, J. Kopač, DETERMINATION ORTODONTICS PARAMETERS BY GEOMETRICAL ENTITIES, The 8<sup>th</sup> International Working Conference Total Quality Management – Advanced and Intelligent Approaches, Belgrade, 2015 Belgrade, ISBN 978-86-7083-858-1, COBISS.SR-ID 215379468, pp. 75-82, 2015. (M33), <http://www.mas.bg.ac.rs>
9. N., Majstorović, L. Čerče, D. Kramar, M. Soković, B. Glišić, V. Majstorović, S. Živković, EXAMINATION OF SCANNER PRECISION BY ANALYSING ORTHODONTIC PARAMETERS, Original paper, Balkan Journal of Dental Medicine, 2017; 21(1):32-34, ISSN 2335-0245; (M24), DOI 10.1515/bjdm-2017-0005, <http://balkandentaljournal.com/vol-21-issue-1/>.
10. N., Majstorović, S., Živković, B., Glišić, THE ADVANCED MODEL DEFINITION AND ANALYSIS OF ORTHODONTIC PARAMETERS ON 3D DIGITAL MODELS, Original article, Srpski arhiv za celokupno lekarstvo, 2017, 145 (1-2):49.57, [wwtpps://doi.org/10.2298/SARH151207011M](https://doi.org/10.2298/SARH151207011M), (M23 – IF 0.253). <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0370-8179/2017/0370-81791700011M.pdf>.
11. N., Majstorović, B. Glišić, S. Živković, DENTAL ARCH MONITORING BY SPLINES FITTING ERROR DURING ORTHODONTIC TREATMENT USING 3D DIGITAL MODELS, Original paper, Vojnosanitetski pregled (VSP), (M23 – IF 0.367).<http://www.vma.mod.gov.rs/sr-lat/vojnosanitetski-pregled/o-nama>. Accept for publication in 3/2018.
12. N., Majstorović, 3D MODELIRANJE U ORTODONCIJI, Proceedings of 13th UASQ European Quality Week – 2016, Belgrade, SERBIA, COBSSIS 9 788689 157086. pp. 33 (M64), [www.jusk.rs](http://www.jusk.rs).
13. N., Majstorović, S. Živković, L. Čerče, D. Kramar, B. Glišić, J. Mačužić, V. Majstorović, Engineering Modeling of Orthodontics Native Geometry EMONA-G Serbia-Slovenia Bilateral Project, Proceedings of 13th UASQ European Quality Week – 2016, Belgrade, SERBIA, COBSSIS 9 788689 157086. pp 35, (M64). [www.jusk.rs](http://www.jusk.rs).
14. N., Majstorović, S. Živković, L. Čerče, D. Kramar, B. Glišić, PRIMENA 3D MODELIRANJA U ORTODONCIJI, 15. Kongres stomatologa Srbije sa međunarodnim učesćem, 17-19. novembar 2016. Godine, Sava Centar, Beograd, Zbornik radova (M64). [www.ortodontisrbije.com](http://www.ortodontisrbije.com).
15. N., Majstorović, S. Živković, L. Čerče, D. Kramar, B. Glišić, V. Majstorović, Engineering Modeling of Orthodontics Native Geometry EMONA - G State of the art / Serbia-Slovenia Bilateral Project, The 9th TQM Conference, Proceedings, pp. 124-128, COBSSIS ISBN 978-86-89157-08-6, (M33), Belgrade, Serbia. <http://cent.mas.bg.ac.rs/tqm/2017/>.
16. S., Živković, N. Majstorović, L. Čerče, D. Kramar, B. Glišić, V. Majstorović, DENTAL ARCH MONITORING BY 3D DIGITAL MODELS, The 9th TQM Conference, Proceedings, pp. 128-132, COBSSIS ISBN 978-86-89157-08-6, pp. 186-192, (M33), Belgrade, Serbia, <http://cent.mas.bg.ac.rs/tqm/2017/>.
17. N., Majstorović, S. P. Živković, B. R. Glišić, D. Kramar, L. Čerče, ADVANCED APPROACH FOR DETERMINING DATUM ON 3D DIGITAL MODELS, 3rd Congress of The Serbian Orthodontics Society, Belgrade, 2017, (M33), [www.ortodontisrbije.com](http://www.ortodontisrbije.com).
18. Lazic E, Kontopoulos K, Majstorovic N, Nedeljkovic N, Milosevic O.,CHANGES IN CERVICAL LORDOSIS AND CERVICOVERTEBRAL MORPHOLOGY IN DIFFERENT GENDER AND AGE PERIODS, 22<sup>nd</sup> BASS Society, Contemporary Challenges in Dentistry, Thessaloniki, 2017, (M34), [www.e-bass.org](http://www.e-bass.org)
19. N., Majstorović, 3D MODELIRANJE U ORTODONCIJI – REZULTATI ISTRAŽIVANJA, Proceedings of 14th UASQ EUROPEAN QUALITY WEEK – 2017, Belgrade, SERBIA, COBSSIS 9 788689 157086. pp. 21, (M64)[www.jusk.rs](http://www.jusk.rs).
20. N., Majstorović, S. Živković, L. Čerče, D. Kramar, B. Glišić, J. Mačužić, V. Majstorović, Engineering Modeling of Orthodontics Native Geometry EMONA-G Serbia-Slovenia Bilateral Project,

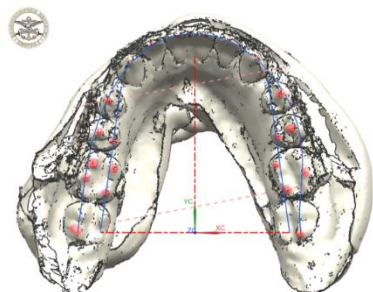


Proceedings of 14th UASQ European Quality Week – 2017, *Belgrade, SERBIA*, COBSSIS 9 788689 157086. pp 22, (M64). [www.jusk.rs](http://www.jusk.rs).

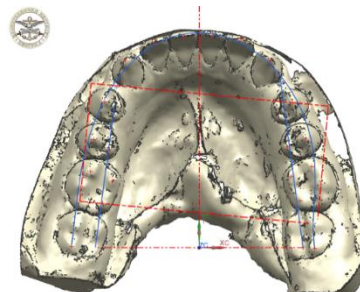
## 12. PRILOZI

### 12.1 Prilog 1. Pregled dela analiziranih modela čiji rezultati su prikazani u 6.3 i 6.4.

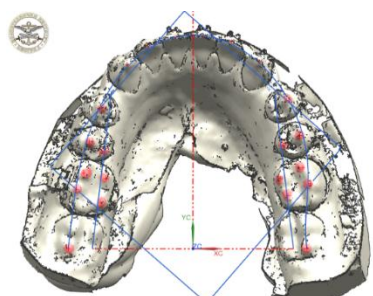
Pacijent 85397 D



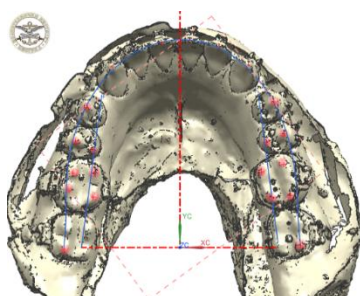
Master model



Druga kontrola

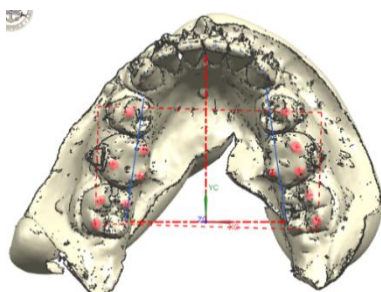


Treća kontrola

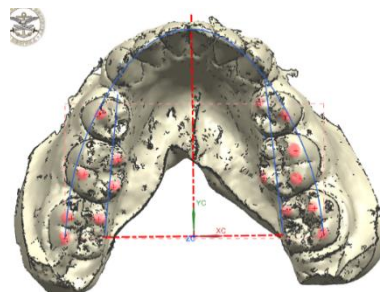


Peta kontrola

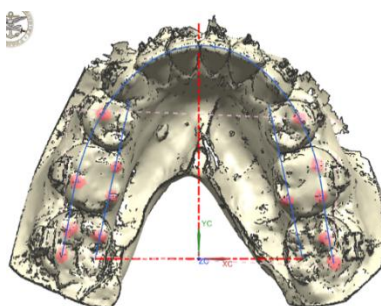
Pacijent 93171 D



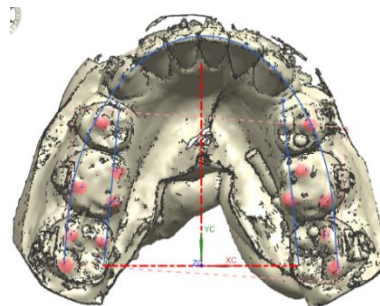
Master model



Druga kontrola

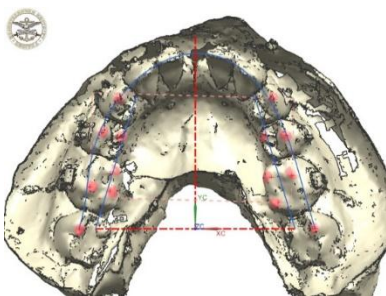


Četvrta kontrola

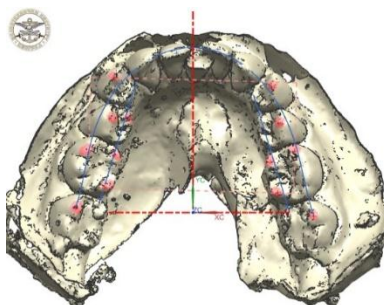


Šesta kontrola

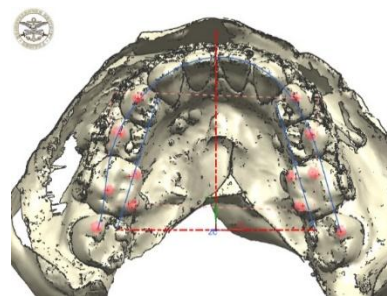
Pacijent 93713 D



Master model

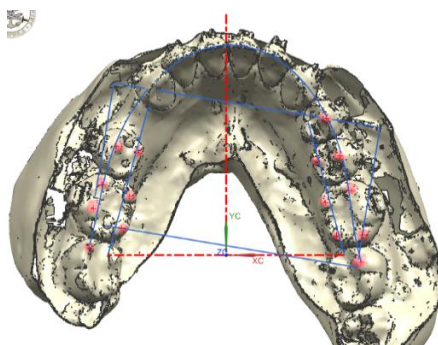


Treća kontrola

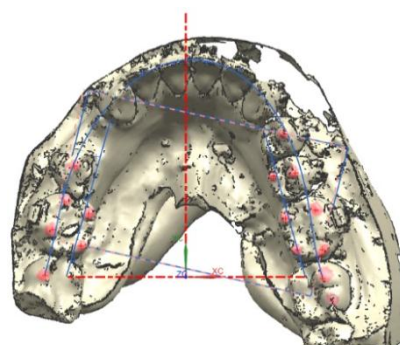


Šesta kontrola

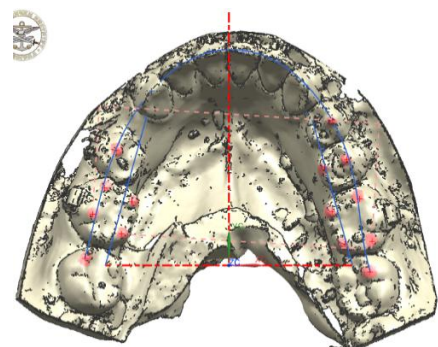
Pacijent 93832 D



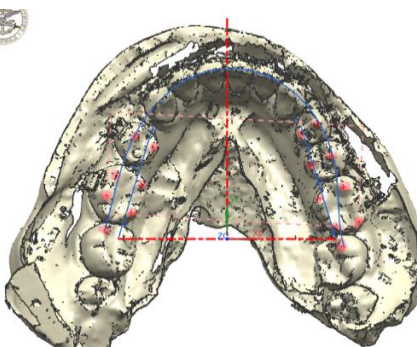
Druga kontrola



Četvrta kontrola

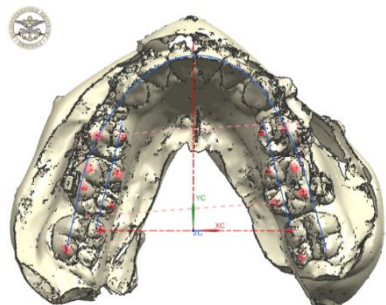


Šesta kontrola

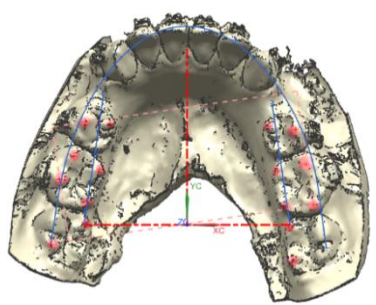


Sedma kontrola

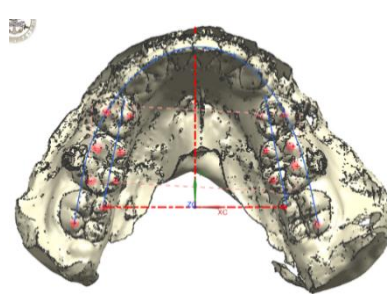
Pacijent 94252 D



Druga kontrola

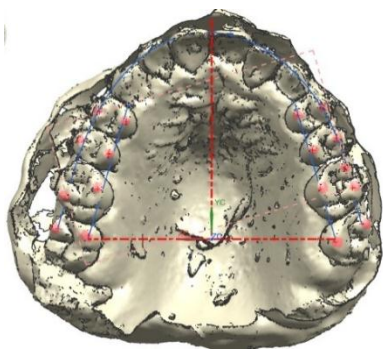


Treća kontrola

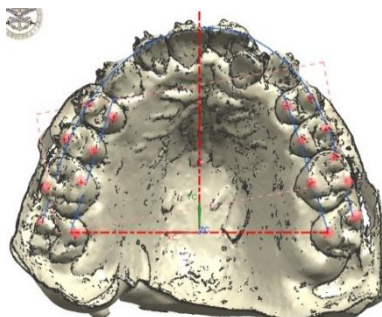


Peta kontrola

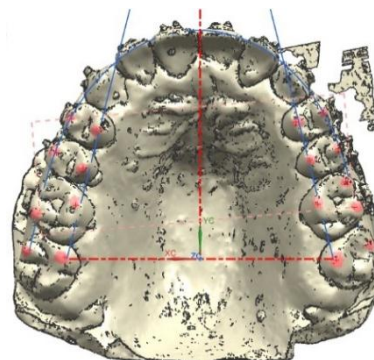
Pacijent 90249 G



Druga kontrola

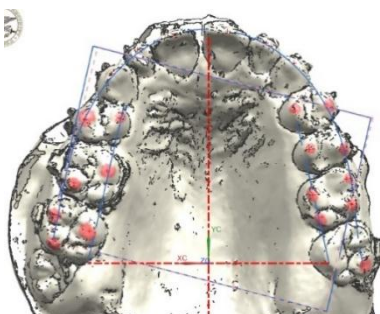


Četvrta kontrola

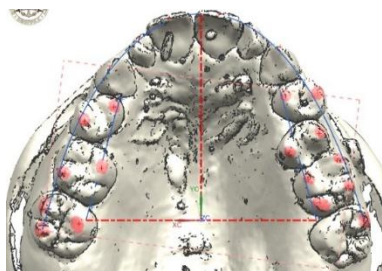


Šesta kontrola

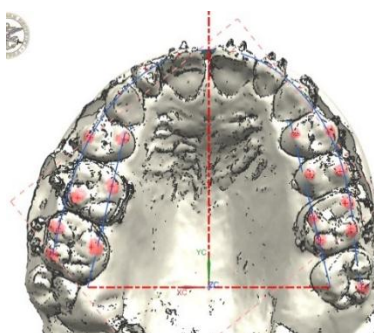
Pacijent 91089 G



Master model

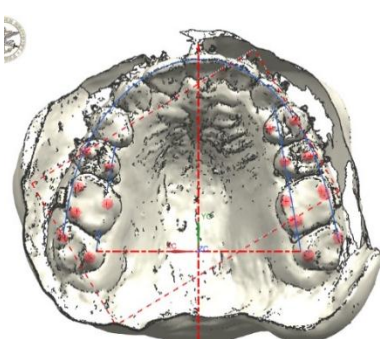


Četvrta kontrola

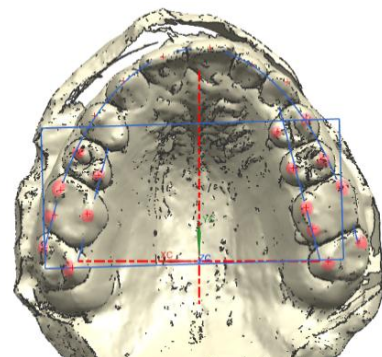


Šesta kontrola

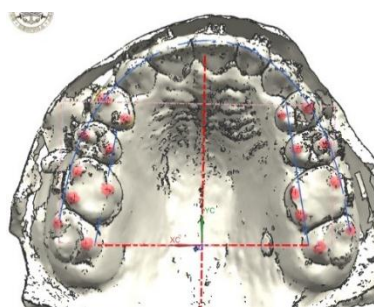
Pacijent 91697 G



Master model

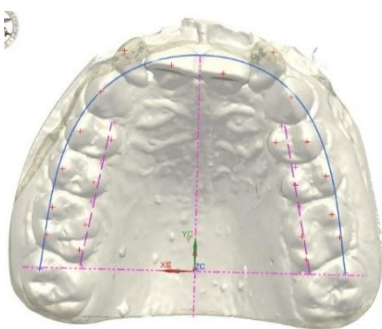


Druga kontrola

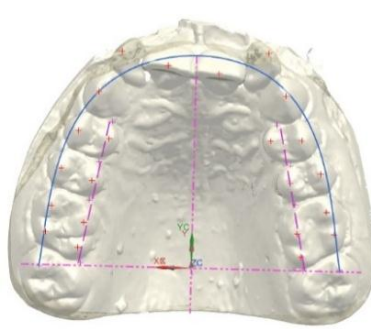


Šesta kontrola

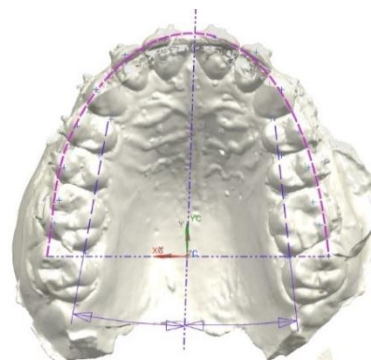
Pacijent 93789 G



Master model

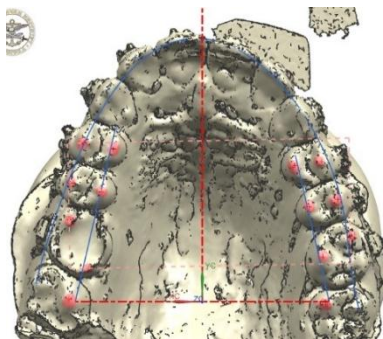


Druga kontrola

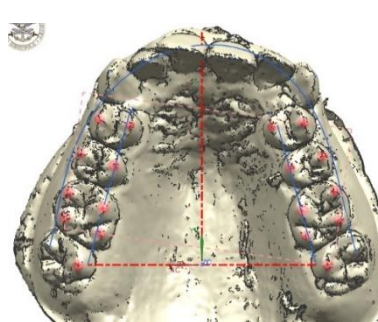


Peta kontrola

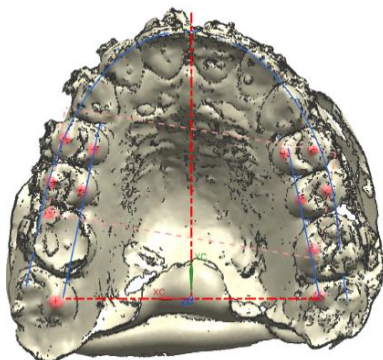
Pacijent 93832 G



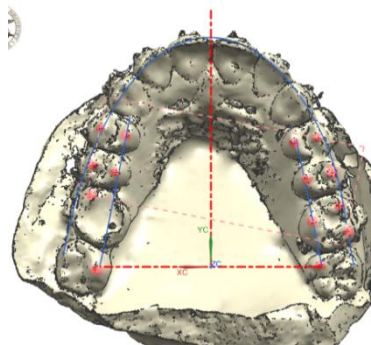
Master model



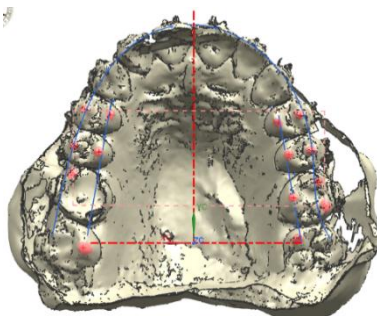
Druga kontrola



Četvrta kontrola

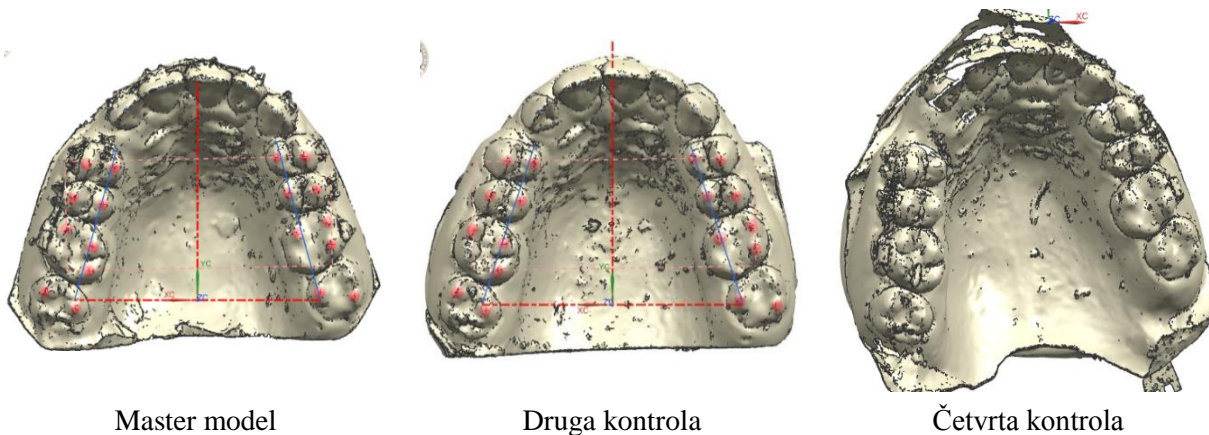


Šesta kontrola

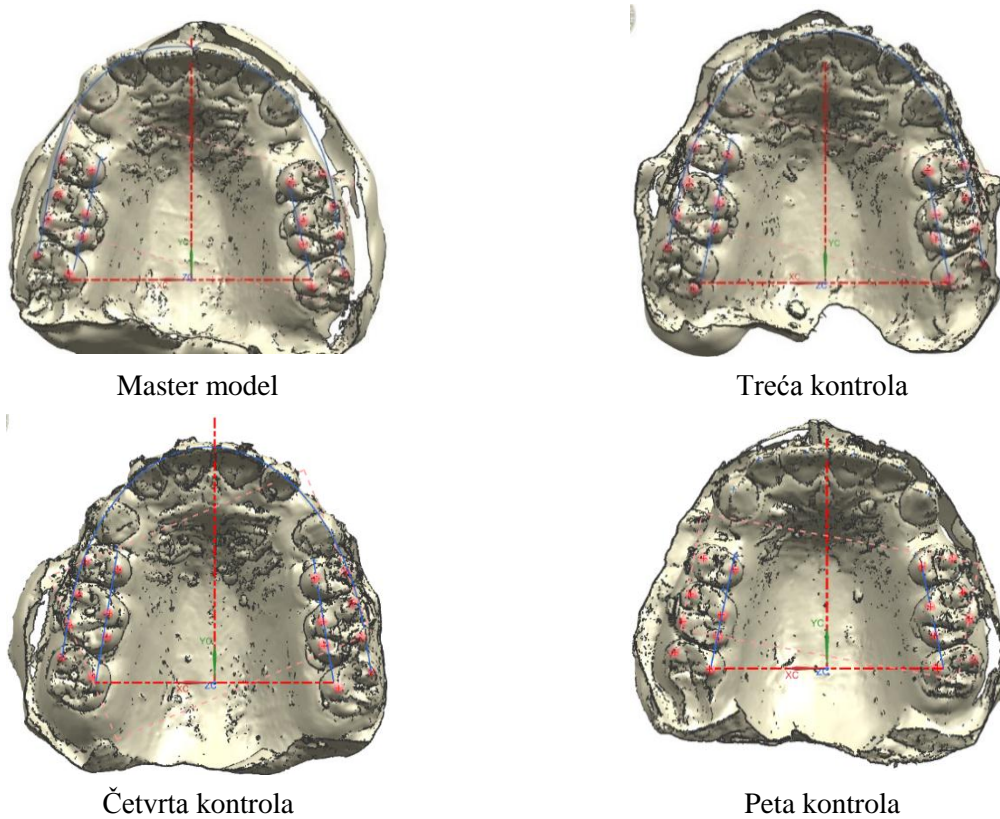


Sedma kontrola

Pacijent 93938 G



Pacijent 94252 G



## 12.2 Prilog 2. Izjava o autorstvu

### Izjava o autorstvu

Potpisani **Nemanja D. Majstorović**

4008/2011

#### Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom

#### **PRAĆENJE NIVELACIJE ZUBA POMOĆU 3D DIGITALNIH MODELA**

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- da predložena disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova,
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio autorska prava i koristio intelektualnu svojinu drugih lica.

**Potpis doktoranta**

U Beogradu, 5. 08. 2017

---

### **12.3 Prilog 3. Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada**

#### **Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada**

Ime i prezime autora **Nemanja D. Majstorović**

Broj indeksa **4008 / 2011**

Studijski program **Ortopedija vilice**

Naslov rada **PRAĆENJE NIVELACIJE ZUBA POMOĆU 3D DIGITALNIH MODELA**

Mentor **Prof. dr Branislav Glišić**

Potpisani **Nemanja D. Majstorović**

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao/la za objavljivanje na portalu **Digitalnog repozitorijuma Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog zvanja doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

**Potpis doktoranta**

U Beogradu, 5. 08. 2017

---



## 12.4 Prilog 4. Izjava o korišćenju

### Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

#### **PRAĆENJE NIVELACIJE ZUBA POMOĆU 3D DIGITALNIH MODELA**

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim prilogima predao sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio/la.

1. Autorstvo
2. Autorstvo - nekomercijalno
- 3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade**
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima
5. Autorstvo – bez prerade
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci, kratak opis licenci dat je na poleđini lista).

**Potpis doktoranta**

U Beogradu, 5. 08. 2017

---