



UNIVERZITET U BANJOJ LUCI
MEDICINSKI FAKULTET



MARIJANA ARAPOVIĆ-SAVIĆ

**PRIMJENA FOTOGRAMETRIJE ZA ANALIZU
ORTODONTSKIH MODELA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

BANJA LUKA, 2018.



UNIVERSITY OF BANJA LUKA
FACULTY OF MEDICINE



MARIJANA ARAPOVIĆ-SAVIĆ

**PHOTOGRAMMETRY IN THE ANALYSIS OF
THE ORTHODONTIC DENTAL CASTS**

DOCTORAL DISSERTATION

BANJA LUKA, 2018.

Mentor - profesor dr Branislav Glišić, redovni profesor, Stomatološki fakultet Beograd

PRIMJENA FOTOGRAMETRIJE ZA ANALIZU ORTODONTSKIH MODELA

Rezime: Brzi razvoj informacionih tehnologija doveo je do široke upotrebe digitalnih studijskih modela u ortodonciji. Najpopularniji način digitalizacije modela je korišćenje 3D skenera, a zatim i mjerena na 3D modelima, što zahtijeva dodatne i skupe hardverske i softverske resurse. U ovoj disertaciji je predstavljen alternativni pristup zasnovan na korišćenju fotogrametrije u novorazvijenom softveru OrthoPhoto4D koji izračunava i ispravlja greške nastale kao posljedice perspektivne distorzije. Na 50 studijskih modela mjerena je meziodistalna širina za 24 zuba, širina 12 segmenata od dva zuba, interkanina i intermolarna širina, te je izvršena Lundstromova i Boltonova analiza. Mjerenja su vršena u programu OrthoPhoto4D koji koristi četiri fotografije svakog mjereneog modela, koristi QR kodove za automatizaciju, računa udaljenost kamere i koriguje greške mjerena izazvane perspektivom. Mjerenja su poređena sa rezultatima dobijenim na modelima generisanim 3D skenerom, te na gipsanim studijskim modelima. Analiza rezultata snažno ukazuje na to da ne postoji statistički značajna razlika između tri metoda. Zabilježene razlike takođe nemaju klinički značaj, jer su srednje vrijednosti do 0,2 mm za pojedinačne širine zuba, do približno 0,2 mm za segmente od dva zuba i ispod 0,3 mm za interkaninu i intermolarnu širinu. Poređenja rezultata Lundstromove i Boltonove analize takođe daje odstupanja koja nisu značajna u kliničkoj praksi. Sve zabilježene razlike su unutar očekivane greške mjerena. Zaključak je da se opisani metod fotogrametrijskih mjerena u programu OrthoPhoto4D može koristiti u dijagnozi i planiranju ortodontske terapije.

Ključne riječi: ortopedija vilica, 3D skeniranje, fotogrametrija, studijski modeli, dijagnoza.

Naučna oblast: Ortopedija vilica

Naučno polje: Stomatologija

Klasifikaciona oznaka prema Cerif šifrarniku za naučnu oblast: B 730

Tip odabrane licence Kreativne zajednice: Autorstvo-nekomercijalno-bez prerada (CC BY-NC-ND)

Mentor: Professor Branislav Glišić, full professor, Faculty of Dentistry Belgrade

PHOTOGRAMMETRY IN THE ANALYSIS OF THE ORTHODONTIC DENTAL CASTS

Summary: Rapid developments in information technologies lead to wider use of digital representations of dental study models in orthodontics. Most popular way of digitizing the models is to use a 3D scanner and then perform measurements on 3D models, which requires additional and expensive hardware and software resources. This dissertation presents an alternative approach based on the use of photogrammetry in newly developed OrthoPhoto4D software that calculates and corrects perspective distortion errors. 50 orthodontic dental casts were measured for the individual tooth widths for 24 teeth, 12 two-teeth segments, inter-molar and inter-canine distances, and Lundstrom and Bolton analysis were performed. Measurements were performed in OrthoPhoto4D software that uses four photographs of each model for measurements, uses QR codes for automation, calculates the camera position and corrects for perspective distortion caused errors in measurements. Obtained measurements are compared to the ones obtained on the models generated by structured light 3D scanner as well as the measurements performed on the plaster dental casts. Statistical analysis strongly indicates that there is no significant difference between the three methods. The recorded differences also have no clinical impact as they have mean values of 0.2 mm for individual tooth widths, approximately 0.2 mm for two teeth segments, and under 0.3 mm for both inter-canine and inter-molar distances. Comparison of the results of the Lundstrom and Bolton analysis produces differences that are not significant in the clinical practice. All recorded differences fall within the expected measurement error. Conclusion is that the described photogrammetry measurements performed in OrthoPhoto4D can be used in diagnosis and therapy planning in orthodontic clinical practice.

Keywords: orthodontics, 3D scanning, photogrammetry, dental casts, diagnosis.

Scientific field: Dentofacial orthopedics

Research field: Dentistry

Classification CERIF mark: B 730

Type of Creative Commons licence: Attribution-NonComercial-NoDerivatives (CC BY-NC-ND)

ZAHVALNICA

Zahvaljujem se mentoru, prof. dr Branislavu Glišiću za razumijevanje, pomoć i savjete pri izboru teme i tokom izrade ove disertacije.

Zahvaljujem se i prof. dr Nenadu Nedeljkoviću za pomoć u brojnim aspektima izrade disertacije.

Zahvaljujem se mom suprugu Mihajlu za nesebičnu pomoć i cijeloj mojoj porodici koja mi je bila i ostala velika podrška u mom naučnoistraživačkom i stručnom radu.

Hvala mojim dragim kolegama sa Katedre za ortopediju vilica i svim mojim priateljima.

Marijana Arapović-Savić

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. PREGLED LITERATURE	2
1.1.1. ORTODONTSKI STUDIJSKI MODELI	2
1.1.2. UZIMANJE OTISAKA I IZRADA ORTODONTSKIH STUDIJSKIH MODELA	3
1.1.3. ANALIZE ORTODONTSKIH STUDIJSKIH MODELA	5
1.1.4. INSTRUMENTI ZA PREMJERAVANJA STUDIJSKIH MODELA	7
1.1.5. PREMJERAVANJE STUDIJSKIH MODELA	8
1.1.6. INFORMACIONO-KOMUNIKACIONE TEHNOLOGIJE I ORTODONCIJA	12
1.1.7. FOTOGRAFETRIJA U ORTODONCIJI	27
2. HIPOTEZA	39
3. CILJ	40
4. MATERIJAL I METOD RADA	41
4.1. PRVA FAZA	42
4.2. DRUGA FAZA	45
4.2.1. PROCES MJERENJA U PROGRAMU ORTHOPHOTO4D	48
4.2.2. OČEKIVANA REZOLUCIJA MJERENJA	49
4.2.3. SOFTVER ZA MJERENJE	50
4.3. TREĆA FAZA	50
4.3.1. PROGRAM OP4D	50
4.3.2. PROCES UPOTREBE PROGRAMA OP4D	51
4.4. ČETVRTA FAZA	54
5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA	55
5.1. ANALIZA REZULTATA DOBIJENIH MJERENJEM DIREKTNO NA GIPSANIM STUDIJSKIM MODELIMA I INDIREKTNO NA 3D SKENIRANIM MODELIMA	55

5.1.1. REZULTATI MEZIODISTALNE ŠIRINE POJEDINAČNIH ZUBA MJERENIH RUČNO NA GIPSANIM STUDIJSKIM MODELIMA I NA 3D SKENIRANIM MODELIMA	55
5.1.2. REZULTATI MJERENJA MEZIODISTALNE ŠIRINE SEGMENTATA ZUBA MJERENIH NA GIPSANIM MODELIMA I NA 3D SKENIRANIM MODELIMA	58
5.1.3. REZULTATI MJERENJA INTERKANINE I INTERMOLARNE ŠIRINE U GORNJOJ I DONJOJ VILICI NA GIPSANIM MODELIMA I NA 3D SKENIRANIM MODELIMA	59
5.1.4. REZULTATI LUNDSTROMOVE ANALIZE U GORNJOJ I DONJOJ VILICI NA GIPSANIM MODELIMA I NA 3D SKENIRANIM MODELIMA	60
5.1.5. REZULTATI BOLTONOVE ANALIZE U GORNJOJ I DONJOJ VILICI NA GIPSANIM MODELIMA I NA 3D SKENIRANIM MODELIMA	62
5.2. ANALIZA REZULTATA DOBIJENIH MJERENJEM INDIREKTNO NA 3D SKENIRANIM MODELIMA I NA FOTOGRAFIJAMA DOBIJENIM U APLIKACIJI ORTHOPHOTO4D	62
5.2.1. REZULTATI MEZIODISTALNE ŠIRINE POJEDINAČNIH ZUBA NA 3D SKENIRANIM MODELIMA I NA FOTOGRAFIJAMA ORTHOPHOTO4D	62
5.2.2. REZULTATI MEZIODISTALNE ŠIRINE SEGMENTATA ZUBA MJERENIH INDIREKTNO NA 3D SKENIRANIM MODELIMA I NA FOTOGRAFIJAMA DOBIJENIM U APLIKACIJI ORTHOPHOTO4D	65
5.2.3. REZULTATI INTERKANINE I INTERMOLARNE ŠIRINE U GORNJOJ I DONJOJ VILICI MJERENIH NA 3D SKENIRANIM MODELIMA I NA FOTOGRAFIJAMA ORTHOPHOTO4D	66
5.2.4. REZULTATI LUNDSTROMOVE ANALIZE U GORNJOJ I DONJOJ VILICI NA 3D SKENIRANIM MODELIMA I NA FOTOGRAFIJAMA ORTHOPHOTO4D	67
5.2.5. REZULTATI BOLTONOVE ANALIZE MJERENE NA 3D SKENIRANIM MODELIMA I NA FOTOGRAFIJAMA ISTIH MODELA U APLIKACIJI ORTHOPHOTO4D	69
5.3. ANALIZA REZULTATA DOBIJENIH MJERENJEM DIREKTNO NA STUDIJSKIM MODELIMA I NA FOTOGRAFIJAMA ISTIH STUDIJSKIH MODELA U APLIKACIJI ORTHOPHOTO4D	70
5.3.1. REZULTATI MEZIODISTALNE ŠIRINE POJEDINAČNIH ZUBA MJERENIH RUČNO NA STUDIJSKIM MODELIMA I NA FOTOGRAFIJAMA U APLIKACIJI ORTHOPHOTO4D	70
5.3.2. REZULTATI MEZIODISTALNE ŠIRINE SEGMENTATA ZUBA MJERENIH RUČNO NA STUDIJSKIM MODELIMA I NA FOTOGRAFIJAMA ORTHOPHOTO4D	72
5.3.3. REZULTATI INTERKANINE I INTERMOLARNE ŠIRINE U GORNJOJ I DONJOJ VILICI RUČNO NA STUDIJSKIM MODELIMA I NA FOTOGRAFIJAMA ORTHOPHOTO4D	73
5.3.4. REZULTATI LUNDSTROMOVE ANALIZE U GORNJOJ I DONJOJ VILICI MJERENIH NA STUDIJSKIM MODELIMA I NA FOTOGRAFIJAMA ISTIH MODELA U APLIKACIJI ORTHOPHOTO4D	74
5.3.5. REZULTATI BOLTONOVE ANALIZE NA STUDIJSKIM MODELIMA I NA FOTOGRAFIJAMA ISTIH MODELA U APLIKACIJI ORTHOPHOTO4D	76

5.4. POREĐENJE SUMARNIH REZULTATA MJERENJA	77
5.4.1. BLAND-ALTMAN GRAFIČKA ANALIZA	77
5.4.2. POREĐENJE RUČNIH I MJERENJA U ORTHOPHOTO4D PROGRAMU U ODNOSU NA MJERENJA NA 3D MODELIMA	80
6. DISKUSIJA	83
6.1. DISKUSIJA REZULTATA MJERENJA DOBIJENIH DIREKTNOM METODOM NA GIPSANIM MODELIMA I INDIREKTNO NA DIGITALnim 3D MODELIMA	85
6.2. DISKUSIJA REZULTATA MJERENJA DOBIJENIH NA FOTOGRAFISANIM MODELIMA U APLIKACIJI ORTHOPHOTO4D SA REZULTATIMA DOBIJENIM NA STUDIJSKIM I 3D MODELIMA	90
6.3. PROTOKOL ZA FOTOGRAFETRIJSKO SNIMANJE STUDIJSKIH MODELA	97
7. ZAKLJUČAK	103
8. LITERATURA	104
9. BIOGRAFIJA MR SC. MARIJANA ARAPOVIĆ-SAVIĆ	116

1. UVOD

Ortodotsko liječenje reflektuje se na ukupno zdravlje dentoalveolarnih struktura, kao i na opšte zdravlje pacijenata. Pravilno postavljeni zubi redukuju nastanak karijesa i parodontalnih oboljenja. Lijep izgled koji se postiže nakon završene ortodotske terapije doprinosi poboljšanju mentalnog zdravlja i vraća samopouzdanje pacijentima. Skladan izgled lica i optimalna funkcionalna okluzija najvažniji su ciljevi ortodotske terapije. Danas su dostupne mnoge metode za procjenu facialnih promjena i različitosti: antropometrija, fotogrametrija, kompjuterska simulacija i kefalometrija [1].

Digitalna fotografija ima višestruki značaj i predstavlja sinonim savremene stomatologije. Njena primjena u stomatološkoj praksi je jednostavna, brza i krajnje korisna u dokumentovanju postupaka rada, sprovođenju edukacije pacijenta i obavljanju kliničkih istraživanja, što obezbeđuje mnoge koristi stomatolozima i pacijentima. Brojni navodi u stručnoj literaturi i izvještaji iz svakodnevne prakse ukazuju na njen veliki značaj u savremenoj stomatologiji, kako s aspekta njene uloge u dokumentaciji stomatološkog tretmana, komunikaciji na relaciji stomatolog - pacijent - zubni tehničar, samoprovjeri (kontroli) sopstvenih rezultata, ilustraciji predavanja i publikacija, tako i u koncipiranju efikasnog marketinga i ostvarivanju elektronskog telestomatološkog sistema veze [2].

Ortodotske nepravilnosti po svojoj prirodi mogu biti: skeletne - nastale kao posljedica u rastu kostiju lica, dentoalveolarne - nastale zbog nesklada u položaju zuba unutar zubnog luka i alveolarnog grebena, i kombinovane, kada postoji skeletni neklad uz dentoalveolarnu malpoziciju zuba. U vrijeme stalne denticije, zubi u zubnom nizu su pravilno postavljeni, ako su poredani jedan pored drugog kontaktirajući samo u predjelu kontaktnih tačaka, bez međusobnog preklapanja i bez razmaka tj. dijastema.

Nepravilan položaj zuba unutar zubnih lukova nastaje zbog nedostatka prostora, bilo kao posljedica nesrazmjera u veličini vilica i zuba, bilo kao posljedica prijevremenog gubitka mlječnih zuba i posljedičnog pomjeranja susjednih zuba u slobodni prostor. Kako bi se procijenilo da li ima dovoljno prostora za smještaj svih zuba unutar zubnih lukova, potrebne su analize prostora na studijskim modelima. Za adekvatno postavljanje ortodotske dijagnoze

neophodni su sljedeći postupci: uzimanje anamneze, obavljanje kliničkog pregleda, uzimanje otisaka i izrada studijskih modela i uzimanje rdg snimaka (opt i telerendgen snimak) [2].

1.1. PREGLED LITERATURE

1.1.1. Ortodontski studijski modeli

Ortodontski studijski modeli imaju više namjena i predstavljaju neophodan dio ortodontske dokumentacije. Pored kliničkog ispitivanja i intraoralnih i ekstraoralnih radiografskih snimaka, studijski modeli predstavljaju nezamjenjivo dijagnostičko sredstvo u ortodontskoj dijagnostici. Koriste se za analiziranje nepravilnosti zuba i grupe zuba, zubnih lukova i nizova, međuviličnih odnosa u tri prostorne ravni (sagitalna, transverzalna i vertikalna), što omogućava postavljanje dijagnoze, izradu plana i praćenje toka ortodontske terapije. Studijski modeli služe i kao permanentan dokument stanja razvoja denticije u željenim vremenskim periodima. Zajedno sa drugom ortodontskom dokumentacijom, studijski modeli služe i za longitudinalno proučavanje normalnog i nenormalnog razvoja i rasta zuba i vilica [1, 2, 3]. Studijski modeli imaju naučnoistraživački značaj, jer služe i za publikovanje i ilustovanje stručnih i naučnih radova. Pored toga, predstavljaju važne dokumente koji imaju medicinsko-pravni značaj za svakog pacijenta i čuvaju se najmanje deset godina (slika 1).



Slika 1. Gipsani studijski model

1.1.2. Uzimanje otiska i izrada ortodontskih studijskih modela

Obavezan postupak kojim je uslovljena izrada studijskih modela je uzimanje otiska gornje i donje vilice. Samo se od dobro uzetih otisaka zuba i vilica mogu napraviti pravilni studijski modeli. Pri uzimanju otiska, najvažnije je ostvariti tačnu i potpunu reprodukciju anatomskih dijelova: postojećih zuba, alveolarnog grebena, vestibularnog i lingvalnog forniksa u donjoj vilici i palatuma u gornjoj vilici [3, 4].

Iako su otisci od gipsa najprecizniji, pri uzimanju i livenju otiska stvara se veći broj teškoća, naročito kod osoba sa nepravilnostima zuba kao što su tjeskobe. Pronalaskom otisnih masa kao što su alginati izbjegnuti su ti nedostaci i stvoreni su skoro idealni uslovi za uzimanje otiska i izradu studijskih modela. Zahvaljujući kratkom vremenu vezivanja alginatnih masa olakšano je uzimanje otiska i kod mlađih pacijenata. Otisci se uzimaju alginatnim masama, uz pomoć metalnih ili plastičnih perforiranih kašika za gornju i donju vilicu (slika 2 i slika 3). Izbor kašike za uzimanje otiska je važan. Za gornji otisak, veličina kašike treba da bude takva da odstoji od zuba i alveolarnog nastavkasa labio-bukalne i palatalne strane najmanje 3 mm. Kašika mora biti i dovoljno dugačka da obuhvati maksilarne tubere. Isti opšti principi odnose se na postupak prilikom uzimanja otiska u donjoj vilici.



Slika 2. Kašika i otisna masa za uzimanje otiska



Slika 3. Otisak gornjeg zubnog niza

Pored uzimanja otiska potrebno je odrediti i centralni ili habitualni okluzalni odnos. Za to se formira valjak od razmekšanog voska, koji je nešto širi od zubnih nizova, i postavlja se obično u predjelu premolara ili mlječnih molara i pacijentu se kaže da zagrize. Faze izrade studijskih modela koje slijede, obavljaju se u zubnoj tehnici. Izlivanjem otiska u tvrdom gipsu, dobijaju se studijski modeli. Za izradu studijskih modela koristi se kameni gips najčešće bijele boje. Gips se mora pravilno zamiješati kako bi se dobila homogena masa bez mjeđurića. Kad je gips pripremljen, otisak se ispere mlazom hladne vode i dobro ispere i stavi na vibrator. Gips se lagano uliva na površine otiska dok se ne pokriju svi anatomske dijelove. Od preostalog gipsa formira se gomilica na koju se utisne okrenuta kašika. Kada se gips veže, kašika se zajedno s otisnom masom pažljivo odvoji i pristupa se obradi i oblikovanju modela zuba i vilica.

Na studijskim modelima, razlikujemo anatomski dio (dentoalveolarne strukture) i postolje modela. Anatomski dio treba ugraditi u postolje prema griznoj površini u aparaturi koja se naziva modeloformer (sokloformer), ili se koriste gotovi kalupi. Postolje se obrađuje pomoću električnog brusača, a njime se vrše posebne obrade uz formiranje određenih površina. Osnovne površine na postolju studijskog modela su: osnovna - paralelna sa okuzalnom ravni, zadnja koja je upravna na medijalnu ravan, dvije bočne koje se prostiru od očnjaka do prvih stalnih molara i dvije retromolarne, koje povezuju bočne sa zadnjom površinom [3, 4, 5, 6]. .

Obrada studijskih modela razlikuje se u gornjoj i donjoj vilici (slika 4). Za gornji model se formiraju dvije frontalne površine, koje se susreću na medijalnoj ravni, a za donji model se u frontalnom dijelu pravi oblina koja se prostire između očnjaka i koja povezuje dvije bočne površine [3, 4]. Na osnovu individualnog zagrižaja odredi se odnos između zuba gornje i donje vilice u centralnoj okluziji i trimerom se obrade postolja. Zadnje površine gornjeg i donjeg studijskog modela se bruse istovremeno, kada se modeli postave u centralnu okluziju. Nakon dobijanja kopije gornjeg i donjeg zubnog niza, studijski modeli se detaljno obrađuju i na njima se dalje mogu raditi analize neophodne za pravilno postavljanje dijagnoze i plan ortodontske terapije [3, 4, 5].



Slika 4. Obrada gipsanog studijskog modela

1.1.3. Analize ortodontskih studijskih modela

Analiza studijskih modela jedan je od najvažnijih dijelova dijagnostičkog protokola u ortodonciji. Zbog lake pristupačnosti sa svih strana i mogućnosti mjerjenja u sva tri pravca, rezultati analiza su tačniji i potpuniji od onih dobijenih kliničkom analizom pacijenta. Detaljnim proučavanjem studijskih modela dobijamo podatke koji su od neprocjenjive koristi za dopunu kliničke analize i donošenje pravilne ortodontske dijagnoze. Posmatranjem i mjeranjem studijskih modela dobijaju se brojne informacije: tip zuba, oblik zuba, asimetrije u veličini zuba, nepravilan položaj zuba, nedostatak prostora za pojedine zube, rastresitost ili tjeskobe zubnih nizova, oblik zubnih nizova, izraženost Spee-ove krive, međusobni odnosi vilica, dubina zagrižaja [3, 4, 5, 6].

Na pripremljenim studijskim modelima rade se analize osnovnih ravni: medijalne, tuber i okluzalne ravni. Ove ravni stoje međusobno pod pravim uglom. U odnosu na medijalnu ravan određuju se nepravilnosti transverzalnog pravca. Pomoću tuber ravnih određujemo nepravilnosti sagitalnog pravca, a u odnosu na okluzalnu ravan nepravilnosti vertikalnog pravca. Da bi svi zubi u zubnom luku bili pravilno postavljeni, osnovni uslov jeste obezbjeđivanje dovoljno raspoloživog prostora. Zubi stalne denticije su pravilno postavljeni ako su u zubnom luku poredani jedan do drugog, bez preklapanja (tjeskoba) kao i bez razmaka (rastresitosti).

Prije početka premjeravanja, treba prvo utvrditi dentalni status na studijskom modelu (slika 5). U zavisnosti od uzrasta pacijenta, kao i stadijuma razvoja okluzije, notiraju se mliječni i stalni zubi, a zatim se provjeri rengenološki status (slika 6), da se ne bi predvidio nedostatak klice nekog zuba ili postojanje prekobrojnih zuba, zatim topografski odnosi izniklih i neizniklih zuba, kao i redoslijed nicanja zuba. Posmatraju se grupe zuba (frontalni, bočni zubi), i na kraju zubni niz u cijelini.

GORE DESNO								GORE LIJEVO							
18	17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27	28
48	47	46	45	44	43	42	41	31	32	33	34	35	36	37	38
DOLE DESNO								DOLE LIJEVO							

Slika 5. Određivanje statusa zuba



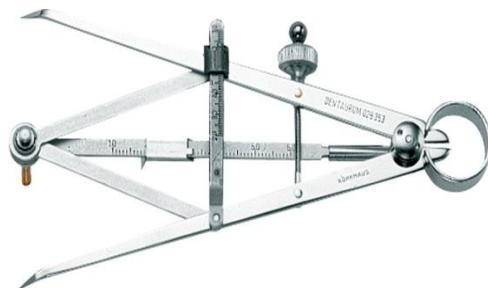
Slika 6. Opt snimak (Ortopantomograf)

1.1.4. Instrumenti za premjeravanja studijskih modela

Na pravilnom izrađenim studijskim modelima za izvođenje analiza potrebne su: oštra grafitna olovka, ortodontski šestari, ortometri i tablice prosječnih vrijednosti. Ortodontski šestari mogu biti dvokraki i trokraki (slike 7 i 8). Dvokraki ortodontski šestar ima dva oštra kraka. Radni krajevi se završavaju sa dva metalna šiljka, a na štitniku se nalazi ugravirana milimetarska skala od 35 mm za očitavanje vrijednosti izmjerena šestarom. Takođe se koriste i digitalni ortodontski šestari (slika 7). Trodimenzionalni šestar po Korkhausu je mjerni instrument pomoću kojeg se očituju vrijednosti premjeravanja u tri pravca: transverzalnom, sagitalnom i vertikalnom. Krajevi trokrakog šestara se savijaju, što omogućava bolju stabilnost. Ortometar je providna ploča od pleksiglasa na kojoj su ugravirane dvije dijagonale pod pravim uglom. Ostale linije su paralelne s njima, na odstojanju od po 1 mm ili 1 cm. Ovi instrumenti služe za određivanje sredina gornje i donje vilice, kao i za određivanje asimetrija zubnih nizova.



Slika 7. Dvokraki ortodontski šestar i digitalni šestar



Slika 8. Trokraki šestar po Korkhausu

Simetroskop po Schmuth-u je četvrtasta ploča od pleksiglasa debljine jedan centimetar. Na jednoj strani posjeduje ugravirane podioke u razmaku od 2 mm, a sa druge strane na razmaku od 1 cm. Lučni simetroskop je polukružna pločica od pleksiglasa, koja se koristi za analizu zubnih nizova u mlječnoj denticiji. Tabele prosječnih vrijednosti predstavljaju standarde sa kojima upoređujemo vrijednosti dobijene premjeravanjem studijskih modela. Postoje različite tablice po raznim autorima. Zajednička karakteristika im je zavisnost dimenzija zubih lukova od meziodistalnog promjera sjekutića [3, 4, 5].

1.1.5. Premjeravanje studijskih modela

Analizama prostora upoređujemo potrebnii i raspoloživi prostor u zubnom nizu. Poređenjem pomenutih veličina, zaključuje se da li postoji višak ili nedostatak prostora za pravilan smještaj zuba u zubni niz. Kod pacijenata sa stalnom denticijom, preciznije je mjerjenje prostornih analiza, jer se zubi direktno mjere i određuje veličina potrebnog prostora. Kod djece kod kojih još nisu iznikli svi stalni zubi, nemoguće je direktno mjeriti zuba, pa se veličina zuba mora predvidjeti analizama prostora u mješovitoj denticiji, ili na osnovu rendgenskih snimaka [5, 6].

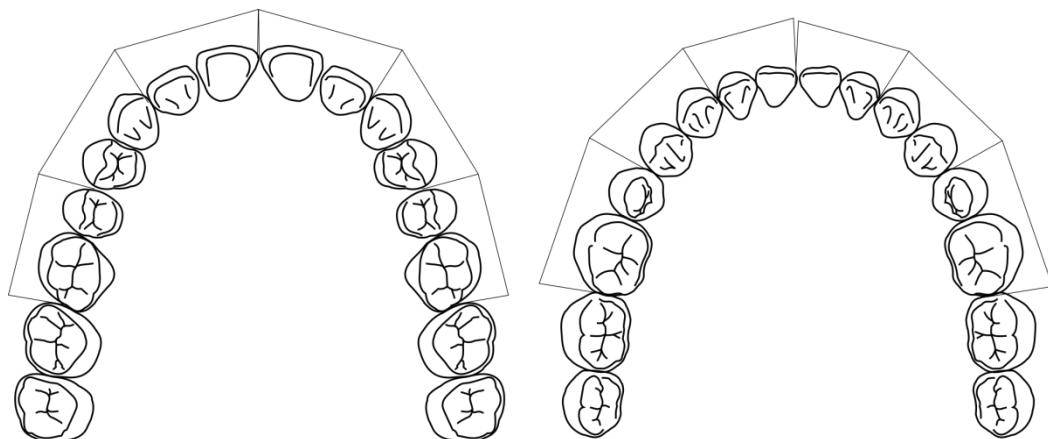
Nepravilan položaj zuba u zubnim lukovima najčešće nastaje zbog nedostatka prostora. Kada se radi o stalnoj denticiji, potreban prostor za pravilno postavljanje zuba po zubnom luku određuje se mjeranjem meziodistalnog promjera zuba. Zbir meziodistalnih promjera zuba određuje veličinu potrebnog prostora. Analize koje se najčešće koriste u stalnoj denticiji su: Segmentna analiza po Lundstromu i Analiza po Boltonu.

Lundstrom je 1948. godine definisao analizu prema kojoj se raspoloživi prostor mjeri prema segmentima (slika 9). Segmenti se definišu kao ravne linije koje spajaju zube u grupe, počevši od centralnog sjekutića do prvog stalnog molara. Analiza se izvodi tako da se mjeri meziodistalni promjeri stalnih zuba u gornjoj i donjoj vilici (sjekutići, očnjaci, premolari i prvi stalni molari). Zbir izmjerenih meziodistalnih promjera zuba je vrijednost koja je potrebna za smještaj tih zuba unutar određenih segmenata u vilicama. Mjerena segmenata se vrše pomoću šestara ili šublera i dobijene vrijednosti se upisuju u tablicu. Dobijene vrijednosti su vrijednosti raspoloživog prostora. Razlike između raspoloživog i potrebnog prostora mogu biti pozitivne,

kada se radi o višku prostora, ili negativne kada govorimo o nedostatku prostora. Prilikom izvođenja ove analize treba obraditi pažnju na izraženost Spee-ove krive i inklinaciju frontalnih zuba. Promjene oba ova parametra utiču na ukupnu dužinu zubnog luka i veličinu raspoloživog prostora. Naglašena Spee-ova kriva je obično povezana s tjeskobom zuba, a ravnanje krive za 1 mm zahtijeva produženje zubnog luka za 1 mm. Oštrina, tj. dužina Spee-ove krive označava najveće rastojanje od krivine zubnog luka do ravni koja leži na sječnim ivicama sjekutića i distalnim kvržicama posljednjih molara. Ovo rastojanje se mjeri sa obje strane posebno [2].

Inklinacija frontalnih zuba u anteroposteriornom pravcu je takođe parametar koji utiče na dužinu zubnog luka. Procjena inklinacije zuba vrši se na telerendgen snimcima. Ako je potrebno da se u terapiji mijenja nagib zuba, treba voditi računa da svako oralno nagnjanje dovodi do smanjenja prostora u zubnom luku. Ako je potrebno frontalne zube nagnuti u vestibularnom pravcu, dobija se dodatni prostor u dužini zubnog luka. Svaka promjena položaja sjekutića za 1 mm na profilnom snimku, dovodi do promjene u dužini od 1 mm sa svake strane posebno, odnosno ukupno 2 mm. Na osnovu razlike raspoloživog i potrebnog prostora, izraženosti Spee-ove krive i sagitalne inklinacije sjekutića, izračunava se izraženost nesklada u veličini zuba i zubnog luka [4, 5, 6].

Zahvaljujući ovoj prostornoj analizi određujemo odnos potrebnog i raspoloživog prostora unutar zubnih lukova. Za uspostavljanje dobre okluzije potrebno je da postoji proporcionalnost u veličini zuba gornje i donje vilice.



Slika 9. Lundstomova segmentna analiza

Postojanje intermaksilarnog neskleta u veličini zuba određuje se vrijednostima koje je dao W. Bolton 1952. godine. Bolton je svoje ispitivanje sproveo na studijskim modelima 55 osoba sa stalnom denticijom i osobinama idealne okluzije, pri čemu pol i etnička pripadnost uzorka nisu isticani. Bolton je u svojoj studiji došao do zaključka da omjer zuba gornje i donje vilice igra važnu ulogu u ostvarivanju idealne okluzije. Boltonova analiza određuje nesklad u veličini zuba gornjeg i donjeg zubnog niza, tj. procjenjuje se diskrepancija zuba [7, 8].

Postoje dva različita omjera (slika 10) i to :

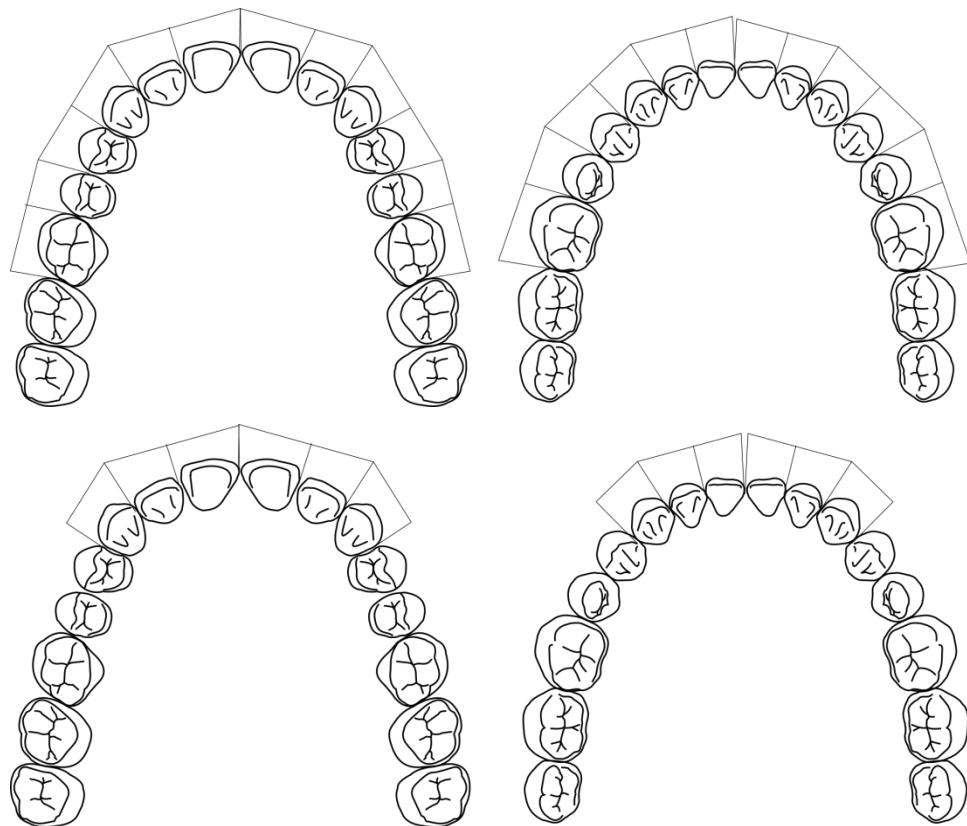
1. Prednji omjer
2. Ukupni omjer

U prvom slučaju se radi o omjeru zbiru meziodistalnih širina svih inciziva i očnjaka donjeg i istog zbiru u gornjem zubnom luku. Na taj način se dobije omjer pod nazivom prednji omjer ili tzv. „mali Bolton“. Dobijene vrijednosti upoređujemo sa Boltonovim standardom koji je za prednji omjer 77,2 (75,55-78,85).

U drugom slučaju je postupak za izvođenje ove analize sljedeći: mjere se meziodistalni promjeri zuba od centralnog sjekutića do prvog stalnog molara. Nakon toga, zbir meziodistalnih 12 mandibularnih zuba dijeli se sa zbirom 12 maksilarnih zuba i množi sa 100. Prosječan odnos od 91,3 govori o idealnom preklopu, incizalnom razmaku i pravilnoj okluziji. Ako je odnos veći od 91,3 neusklađenost nastaje zbog prevelike širine mandibularnih zuba, a odnos manji od 91,3 nastaje kao posljedica prevelike širine maksilarnih zuba [4, 5, 6].

Samo sa korektnim odnosima veličine gornjih i donjih zuba u opsegu datom Boltonovim standardima postiže se dobra interkuspidacija, pravilna dubina preklopa i incizalni stepenik.

Razlika između zubne mase i veličine alveolarnih baza iskazuje se u milimetrima i daje smjernice terapeutima o tome da li je potrebno ekstrahovati premolare ili neke druge zube, da bi se preostali zubi mogli pravilno smjestiti u zubni niz. Obično se kao granična diskrepancija uzima 6 mm, dok su veće vrijednosti smjernica za terapijsku opciju ekstrakcije. Iznos do 6 mm se može kompenzovati laganom ekspanzijom zubnog luka i selektivnim brušenjem zuba [3, 4, 5, 6].



Slika 10. Boltonovi indeksi

Zubni lukovi bi trebalo da prate relativnu simetričnost ljudskog tijela. Zubi lijeve i desne polovine, odnosno gornje i donje vilice rijetko pokazuju savršenu simetričnost. Na studijskim gipsanim modelima određuje se i simetričnost zubnih nizova u transverzalnom, sagitalnom i vertikalnom pravcu. Pod normalnom okluzijom podrazumijevamo poklapanje sredina gornje i donje vilice sa sredinama zubnih nizova, kao i njihovo međusobno poklapanje. U svakodnevnoj praksi česta su neslaganja uslijed čega je neophodno odrediti središnje linije ili ravni vilica.

Asimetričnosti u transvezalnom pravcu proučavaju se u odnosu na medijalnu ravan. Ova ravan se u gornjoj vilici određuje prema anatomskim strukturama na palatum i to pomoću dvije tačke: prednje (presjek drugog para plike transverze i rafe palatine) i zadnje (prelaz mekog u tvrdo nepce na rafe palatine ili središnja tačka između dvije foveole palatine). Spajanjem prednje i zadnje tačke dobija se medijalna ravan ili sredina gornje vilice, koja se koristi za procjenu transverzalnih asimetrija.

U donjoj vilici se određivanje medijalne ravni na studijskim modelima određuje takođe pomoću dvije tačke. Prednja tačka se određuje pomoću snimka spine mentalis, a zadnja tačka projekcijom medijalne ravni sa gornjeg modela. Asimetrije u sagitalnom pravcu se utvrđuju pomoću tuber ravnih koja stoji pod pravim uglom na medijalnu ravan, a prolazi distalno iza nizova zuba. Asimetrije u odnosu na medijalnu i tuber ravan određuju se pomoću ortometra.

Gipsani studijski modeli imaju dugu i dokazanu istoriju u ortodontskoj dijagnostici i terapiji. Oni predstavljaju tzv. zlatni standard sa brojnim prednostima kao sto su: jednostavna rutinska proizvodnja u stomatološkim tehnikama, lakoća proizvodnje, kao i jednostavan pristup modelima za mjerjenje analiza neophodnih za postavljanje pravilnih ortodontskih dijagnoza zahvaljujući mogućnosti da se studijski model postavi u artikulator i na taj način mjeri u tri dimenzije [9].

Direktno mjerjenje na studijskim modelima pored prednosti nosi sa sobom i ograničavajuće faktore kao što su: idealno postavljanje mjernih instrumenata na modele, samo mjerjenja na gipsanim studijskim modelima iziskuje dosta vremena, a bilo koji slučajni pokret rukom rezultira greškom u rezultatima. Upotreba mjernih instrumenata, npr. šestara, po Korkhausu je dosta komplikovana i naporna za oči terapeuta. Nedostaci kod upotrebe gipsanih studijskih modela su prisutni i po pogledu skladištenja, izdržljivosti i prenosivosti [10].

1.1.6. Informaciono-komunikacione tehnologije i ortodoncija

Razvoj informacionih tehnologija i sve šira upotreba generisanja dvodimenzionalnih i trodimenzionalnih modela koji vjerno opisuju realne objekte, doveli su do upotrebe navedenih tehnologija i u ortodontskoj praksi. Digitalni modeli imaju brojne prednosti, od jednostavnijeg čuvanja, preko efikasnije razmjene podataka, do automatizacije određenih procesa. Međutim, postavlja se pitanje da li tako dobijeni modeli dovoljno dobro opisuju realne studijske modele na kojima se bazira ortodontska terapija. Osim navedenog problema, realna prepreka široj upotrebi u ortodontskoj dijagnostici su i relativno visoki troškovi kvalitetnih trodimenzionalnih skenera i pratećeg softvera neophodnih za kvalitetan rad. Trenutni trend u medicinskoj dijagnostici je upotreba pristupačnih tehnologija koje, potpomognute odgovarajućim programima, omogućavaju

snižavanje troškova uz zadržavanje ranije navedenih pozitivnih aspekata upotrebe modernih informacionih tehnologija u medicinskoj praksi [11].

Upotreba digitalnih 3D modela je sve prisutnija i u ortopediji vilica. Postoje brojni načini na koje je moguće koristiti digitalne reprezente fizičkih objekata, ali su najčešće upotrebe vezane za računarski potpomognuto modeliranje (Computer Aided Design - CAD) i računarski potpomognutu proizvodnju (Computer Aided Manufacturing - CAM) ortodontskih bravica i aparata, brzo pravljenje prototipa (Rapid Prototyping - RP), računarske simulacije (Finite Element Models - FEM), te računarski potpomognutom osiguranju kvaliteta (Computer Aided Quality - CAQ). Pored upotrebe generičkih programa za rad sa 3D modelima, prisutan je porast upotrebe specijalizovanih programskih paketa namijenjenih olakšanju rada u oblasti ortodoncije, od kojih je najpoznatiji program OrthoCAD. Imajući u vidu brojne prednosti digitalnih modela i brz razvoj informaciono-komunikacionih tehnologija koji vodi snižavaju troškova hardvera neophodnog za rad sa kompleksnim digitalnim modelima, logična je sve rasprostranjenija upotreba opisanih sistema u naučnim istraživanjima i kliničkoj praksi. Mnoštvo mogućih izbora komplikuje upotrebu i razmjenu podataka, između ostalog, i jer ne postoji jedinstven pristup definiciji geometrijskih ortodontskih parametara [12].

Savremene tehnike omogućavaju skeniranje otiska i njihovu digitalizaciju, što znatno olakšava analiziranje. Čuvanje digitalnih modela može se provesti na optičkom ili nekom drugom digitalnom mediju, što smanjuje potrebe za prostorom koji zauzimaju gipsani studijski modeli. Digitalne fotografije i digitalni rendgeni su već u upotrebi, tako da upotreba digitalnih studijskih modela omogućava potpunu digitalizaciju dijagnostičkog protokola [2, 13].

Digitalizacija studijskih modela omogućava lako i efikasno skladištenje, lak pristup i trajnost zapisa, mogućnost razmjenjivanja, kao i različite dijagnostičke mogućnosti. Osim toga, postoji mogućnost lakog komuniciranja sa kolegama i pacijentima razmjenom virtuelnih slika koje mogu biti poslate elektonskom poštom i štampane na printeru. Digitalizacija omogućava superponiranje digitalnih modela pacijenta napravljenih u različitim uzrastima da bi se ispitivao uticaj rasta, ili pak superponiranje digitalnih modela prije i poslije završenog liječenja, da bi se proučavali efekti same terapije. Moguće je takođe i superponiranje digitalnih modela i digitalnih Rg snimaka ili digitalnih fotografija lica pacijenta. Prvi softver za digitalnu procjenu pacijenta pojavio se davne 2001. godine. Od tад, pojavilo se više programa na tržištu. Komercijalno

dostupni digitalni modeli mogu se proizvesti bilo indirektnom, bilo direktnom tehnikom. Direktne tehnike koriste intraoralne skenere, a indirektne lasersko skeniranje ili CT otisaka zuba ili studijskih modela [14].

1.1.6.1. Metode 3D skeniranja

Kada govorimo o metodama 3D skeniranja, principijelno ih možemo podijeliti u dvije grupe: kontaktni i beskontaktni skeneri. Kako upotreba kontaktnih skenera u ortopediji vilica nema bitnih razlika u odnosu na tradicionalne metode mjerjenja, u ovom radu ćemo pažnju posvetiti beskontaktnim metodima, prije svega upotrebi lasera, strukturisanog svjetla, te metodama zasnovanim na fotogrametriji [15].

1.1.6.2 Upotreba lasera za 3D skeniranje objekata

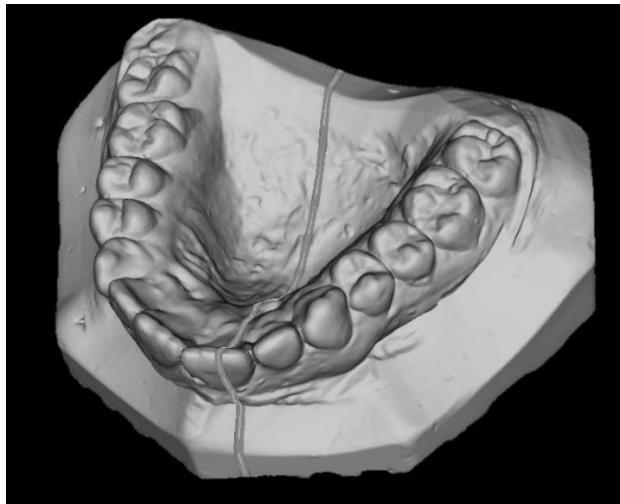
Kod upotrebe lasera za 3D skeniranje objekata, najčešće se koristi jedan od sljedećih metoda: time-of-flight, triangulacija i upotreba linijskih lasera.

Time-of-flight pristup se zasniva na činjenici da je brzina prostiranja svjetlosti konačna i da je na osnovu vremena potrebnog da svjetlost pređe put od izvora do objekta i prijemnika moguće izračunati udaljenost objekta od izvora, odnosno prijemnika. Ponavljanjem ovog postupka za veliki broj tačaka na površini objekta moguće je rekonstruisati trodimenzionalni izgled objekta. Međutim, zbog činjenice da svjetlost pređe udaljenost od 1 mm za približno $3,3 \cdot 10^{-12}$ s ovaj metod je pogodniji za mjerjenje većih udaljenosti manjom preciznošću [16].

Metod pogodniji za skeniranje manjih ili bližih objekata je triangulacija. Ovaj metod funkcioniše na sljedeći način: laserski izvor svjetla projektuje tačku na objekat, kamera snima poziciju tačke i na osnovu poznatog pomjeraja kamere i ugla koji čini u odnosu na laserski izvor izračunava udaljenost tačke. Ovaj proces se ponavlja potreban broj puta, dok se ne ispunе uslovi potrebni za zadovoljavajuću rekonstrukciju trodimenzionalnog objekta [17].

Mana oba navedena pristupa leži u činjenici da je potrebno vršiti skeniranje tačku po tačku, što čini skeniranje u visokoj rezoluciji sporim i skupim procesom. Bitan napredak se postiže upotrebom linijskih izvora svjetla koji projektuju ravnu liniju na objekat i na osnovu izgleda deformisane linije vrše triangulaciju velikog broja tačaka u kratkom roku. Ovaj pristup je

ilustrovan na slici 11. Problem kod ovog pristupa je potreba za rotiranjem objekta između svaka dva snimanja, gdje konačna rezolucija zavisi od broja koraka, što je proporcionalno vremenu potrebnom za skeniranje [18].

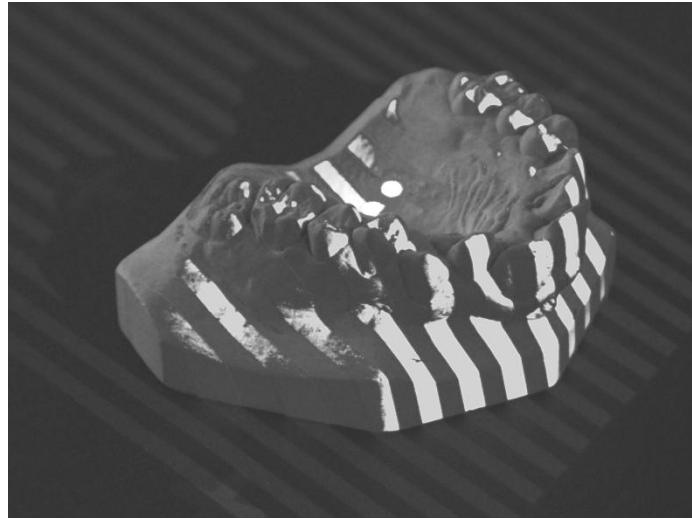


Slika 11. Prikaz skeniranja linijskim laserom

1.1.6.3 Skeneri sa strukturisanim svjetlom

Skeneri sa strukturisanim svjetlom rade na sličan način kao skeneri sa linijskim laserom, ali umjesto osvjetljavanja objekta jednom linijom, vrše sukcesivno osvjetljavanje objekta unaprijed definisanim uzorcima svjetla (npr. nizom linija, polja, itd.) i na osnovu toga mogu izračunati trodimenzionalnu površinu objekta u jednom prolazu, što u mnogome ubrzava proces skeniranja. Još jedna prednost ovog pristupa je mogućnost umanjenja određenih grešaka mjerjenja, jer je pozicija svake tačke izračunata više puta nakon upotrebe različitih uzoraka svjetla [19]. Proses ovakvog skeniranja je ilustrovan na slici 12.

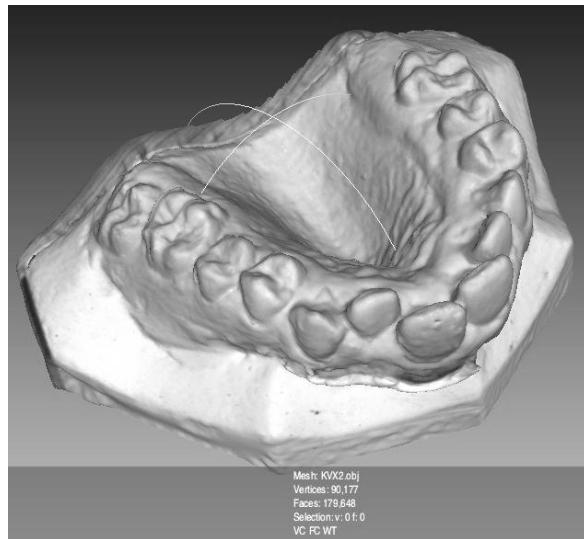
Problemi kod skenera sa strukturisanim svjetlom se javljaju pri skeniranju objekata koji su izuzetno tamni, jer kamera ne dobija dovoljno informacija za formiranje slike, te kod objekata koji su transparentni ili vrlo refleksivni, jer kamera ne vidi objekat nego deformisanu sliku njegove okoline. Ovi problemi se rješavaju upotrebom specijalizovanog praha koji se sprejem nanosi na objekat prije skeniranja, te jednostavno uklanja po završetku procesa.



Slika 12. Prikaz skeniranja skenerom sa strukturisanim svjetlom

1.1.6.4. Skeniranje zasnovano na fotogrametriji

Razvojem performansi računarskih sistema na popularnosti su dobili sistemi bazirani na fotogrametrijskoj rekonstrukciji trodimenzionalnih objekata. Ovi sistemi na osnovu većeg broja fotografija istog objekta, fotografisanih iz različitih uglova, računaju relativne pozicije kamere za svaki snimak. Nakon toga vrše određivanje i uparivanje ključnih tačaka na susjednim fotografijama, te na osnovu toga vrše izračun pozicije u prostoru svake od tačaka. Ovaj proces je izuzetno zahtjevan sa stanovišta računarskih resursa, i procesorskih i memorijskih, ali zato nije potrebna nikakva specijalizovana oprema osim digitalne kamere odgovarajuće rezolucije. Kao izlaz se dobija model koji osim informacija o obliku objekta sadrži i podatke o boji svake rekonstruisane tačke (tekstura) [19]. Osnovne mane ovog procesa su mnogo sporiji i komplikovaniji proces i akvizicije fotografija i rekonstrukcije objekata, nemogućnost skeniranja objekata bez dovoljnog broja obilježja (npr. glatke kugle i slični oblici), te nemogućnost skeniranja vrlo tamnih, providnih ili refleksivnih objekata. Poseban problem predstavlja nepostojanje referentne skale rekonstruisanog objekta. Naime, ukoliko je potrebno vršiti mjerjenja u realnim jedinicama, u okviru skeniranog objekta mora postojati i referencia na osnovu koje se vrši skaliranje veličine rekonstruisanog objekta, što dodatno komplikuje rad sa ovim sistemima.



Slika 13. Primjer fotogrametrijski skeniranog objekta

1.1.6.5. Intraoralni skeneri

Intraoralni skeneri su specijalizovani uređaji koji omogućavaju generisanje 3D modela bez prethodnog uzimanja otisaka i pravljenja studijskog modela. U radu koriste ranije opisane metode uz pozicioniranje izvora svjetla i kamere na vrh sonde kojom se vrši skeniranje. U zavisnosti od odabrane tehnologije, mogu generisati jednobojne ili modele sa punom upotrebom boja i tekstura. Iako su istraživanja pokazala postojanje statistički značajnih razlika, zaključak autora je da nisu zabilježene klinički značajne razlike za posmatrane parametre [20].

Iz razloga praktičnosti i ekonomičnosti, ortodonti koji rutinski koriste gipsane studijske modele, počinju da koriste i digitalne modele.

U istraživanju koje su radili Mezio i saradnici napravljen je presjek studija koje procjenjuju validnost i pouzdanost mjerjenja digitalnih studijskih modela realizovanih u procesu ortodontske dijagnostike, od 2003. do 2016. godine. Prema ovoj grupi autora, digitalni modeli predstavljaju validnu alternativu gipsanim modelima u ortodontskom dijagnostičkom procesu, jer su pokazali mnoge prednosti kao što su: zanemarljivi prostor za skladištenje, brzo i efikasno pronalaženje, nepostojanje fizičkih oštećenja, jednostavan prenos i upotreba kao alata za edukaciju pacijenata, ali prije svega oni pokazuju validnost i pouzdanost mjerjenja u ortodontskom dijagnostičkom procesu [21].

S. R. Mullen i saradnici su u studiji imali za cilj da utvrde tačnost i brzinu mjerena ukupne dužine luka i Boltonovog indeksa, kao i vremena potrebnog za izvođenje Boltonove analize za svakog pacijenta pomoću softvera, poredivši ga s istim mjeranjima izvedenim ručnim instrumentima na gipsanim studijskim modelima. U ovu studiju uključeni su modeli uzeti od 30 pacijenata odabralih iz dosjeva Odjeljenja za ortopediju na Univerzitetu u Zapadnoj Virdžiniji. Meziodistalna širina svakog zuba od prvog desnog molara do prvog lijevog molara izmjerena je digitalnim šestarom, a Boltonov indeks je izračunat za svakog pacijenta. Vremena koja su potrebna za mjerjenje i izvođenje analize mjerena su u sekundama pomoću štoperice. Proces mjerjenja ponovljen je i na digitalnim modelima i obrađen je pomoću odgovarajućeg softvera. Izračunata je razlika između dva metoda, a za statističku analizu je korišćen upareni t-test. Nije bilo značajne razlike između vrijednosti Boltonovog indeksa izračunatih pomoću dva metoda. Utvrđena je značajna razlika u rezultatima dužine luka između dva metoda, ali je smatrana kao klinički beznačajna. Značajne razlike su pronađene u vremenu potrebnom za mjerjenje i izračunavanje između dva metoda - vrijeme potrebno za upotrebu softvera i digitalnih modela je bilo u prosjeku 65 sekundi kraće. Mjerena su u prosjeku bila veća za 0,067 mm na digitalnim modelima u odnosu na direktna mjerjenja na gipsanim modelima (opseg od 0 do -0,16 mm). Ovi rezultati pokazuju da su prilikom izvođenja Boltonove analize digitalni modeli dovoljno tačni, ali i znatno brži od tradicionalnog načina mjerjenja pomoću digitalnih šestara i gipsnih modela. Ova grupa autora predlaže upotrebu softvera i digitalnih modela kao sigurnu i pouzdanu dijagnostičku metodu [22].

Schirmerom i Viltshireom su proveli studiju koja je pokazala da su vrijednosti dobijene digitalnim mjeranjima u prosjeku manje od direktnih mjerjenja. Autori su smatrali da su ovako dobijeni rezultati nastali uslijed poteškoća prilikom mjerjenja 3D modela u dvije dimenzije, zbog konveksne strukture zuba, Speeove krive i razlika u nagibu zuba. Ovakve razlike u mjeranjima između digitalnih i gipsanih studijskih modela mogli bi nastati kao posljedice nekoliko faktora od kojih je jedan bila poteškoća u pronalaženju najveće širine zuba na digitalnim modelima. U nekim slučajevima, interproksimalna površina između zuba nije dovoljno definisana i operator će težiti potcjenjivanju mjerjenja, što dovodi do neslaganja od oko 1,5 mm manje strukture zuba u svakom luku. Razlika do 1,5 mm može biti klinički beznačajna, jer se prema Profitu razlika u veličini zuba manje od 1,5 mm ne smatra značajnom [23].

Pouzdanost i validnost mjerenja izvedenih na digitalnim modelima sa skenerom i softverom za analizu u poređenju sa mjeranjima izvršenim ručno na konvencionalnim gipsanim studijskim modelima bio je cilj istraživanja koje su radili Czarnota i saradnici. U istraživanju je učestvovalo 20 ispitanika sa stalnom denticijom. Njihovi studijski modeli su digitalizovani pomoću trodimenzionalnog skenera. Serija definisanih parametara mjerena je i na digitalnim modelima sa softverom za analizu i na originalnim gipsanim studijskim modelima digitalnim šestarom. Obje serije mjerena su ponovljene dva puta i analizirana je pouzdanost na osnovu koeficijenta korelacije (ICC). Rezultati digitalnih modela su procijenjeni za njihovu validnost u odnosu na procijenjene vrijednosti izračunavanjem razlika srednjih vrijednosti i intervala povjerenja od 95% Bland-Altman metodom. Statistički značajne razlike su identifikovane pomoću uparenog t-testa. Ukupno gledano, srednje vrijednosti razlike između dobijenih rezultata na digitalnim modelima nasuprot gipsanim modelima pokazala su rezultate koji nisu klinički značajni, te autori zaključuju da su digitalni modeli adekvatno ponovljivi i validni za upotrebu u mjeranjima u ortodontskoj praksi [24].

Tačnost i pouzdanost međuviličnih mjerena korišćenjem digitalnih modela i konvencionalnih gipsanih studijskih modela bila je cilj istraživanja Kiviahde i saradnika. Na trideset gipsanih studijskih modela sa stalnom denticijom ručno su izmjerena međuvilična rastojanja pomoću digitalnog šestara. Digitalna mjerena su napravljena na 3D modelima od strane dva nezavisna ispitivača. Nakon dobijenih rezultata izračunat je koeficijenti korelaciјe (ICC), t-test ili Vilkoksov test, te su napravljeni Bland-Altman grafikoni za procjenu greške i za određivanje tačnosti i pouzdanosti mjerena. Nakon obrade rezultata ICC vrijednosti za ponovljivost su uglavnom bile dobre za ručna i odlične za digitalna mjerena. Bland-Altman grafikoni svih mjerena pokazali su dobru saglasnost između gipsanih i digitalnih metoda kao i između ispitanika korištenjem digitalne metode. Autori zaključuju da su međuvilična mjerena na digitalnim modelima tačna i pouzdana [25].

Svrha istraživanja koji su radili Rosenberg i saradnici bila je da se procijeni efikasnost računarskog učenja (CAL) u ortodontskom obrazovanju, davanje preporuka zasnovanih na dokazima za korišćenje CAL-a u ortodonciji, te razvijanje smjernica za sprovođenje komparativnih ispitivanja kako bi se CAL ocijenio kao način učenja u ortodontskom obrazovanju. Svaku studiju su po pitanju kvaliteta ocijenila dva nezavisna recenzenta. Ispitujući

efikasnost obrazovanja uz pomoć računara u ortodonciji, autori su zaključili da ne postoji dovoljno dokaza za zamjenu konvencionalnih načina učenja CAL programima u ortodonciji. CAL treba da se koristi kao dodatak konvencionalnoj nastavi jer može bolje motivisati studente da posvete više vremena učenju ortodoncije. Obrazovanje uz pomoć računara, osim što omogućava studentima da uče sopstvenim tempom u vrijeme kada to njima najviše odgovara, te mogućnost provjere shvatanja predstavljenog materijala, ima dodatnu prednost u mogućnosti prezentacije i čuvanju studijskih modela, radiograma i drugih vizuelnih dijagnostičkih pomagala. Programi CAL-a u ortodonciji izazivaju uglavnom pozitivne odgovore i stavove učenika prema učenju [26].

Cilj studije koju su radili Quimby i saradnici bio je da se utvrди tačnost, ponovljivost, efikasnost i efektivnost mjerjenja izvedenih na računarskim modelima. Gipsani studijski modeli poslužili su kao zlatni standard. Tačnost, ponovljivost, efikasnost i efektivnost su testirani upoređivanjem mjerjenja digitalnih modela sa mjernjima na gipsanim modelima. Pacijenti su imali kompletну stalnu denticiju, zubi su bili normalne morfologije bez vidljivih karijesa, erozija i abrazija. Otisci su uzimani dva puta svakom pacijentu. Mjerene parametre su podijelili u sedam kategorija, i to:

1. meziodistalna širina (najveće meziodistalno rastojanje od mezijalne anatomske kontaktne tačke do distalne anatomske kontaktne tačke svakog zuba);
2. dužina luka (mjerena po segmentima, gdje je segment A rastojanje od mezijalne kontaktne tačke desnog prvog stelnog molara do mezijalne kontaktne tačke desnog očnjaka, segment B rastojanje od mezijalne kontaktne tačke desnog očnjaka do mezijalne kontaktne tačke desnog centralnog sjekutića, segment C rastojanje od mezijalne kontaktne tačke lijevog centralnog sjekutića do mezijalne kontaktne tačke lijevog očnjaka, a segment D rastojanje od mezijalne kontaktne tačke lijevog očnjaka do mezijalne kontaktne tačke lijevog prvog stelnog molara);
3. širina luka (u predjelu molara rastojanje između meziobukalnih kvržica prvih stalnih molara, a u predjelu očnjaka kao rastojanje između kvržica stalnih očnjaka);

4. incizalni razmak (rastojanje od labijalne površine mandibularnih centralnih sjekutića do palatinalne površine maksilarne centralne sjekutiće);
5. preklop sjekutića (najveće rastojanje vertikalnog preklopa maksilarnih i mandibularnih sjekutića);
6. dostupan prostor (zbir dužina segmenata u maksili i mandibuli: A+B+C+D) i
7. potreban prostor (zbir širina meziodistalnih širina zuba od centralnih sjekutića do drugih stalnih premolara).

Za mjerena na gipsanim modelima korišten je digitalni šestar, a standardnim kompjuterskim mišem tačke su označene na digitalnim modelima. Mjerena su ponovljena i nakon dvije sedmice. Ponovljivost je bila visoka za mjerena izvedena i na gipsanim i na digitalnim modelima. Efikasnost je takođe bila slična, bez obzira na način mjerena. Mjerna odstupanja između digitalnih i gipsanih modela za cijelu vilicu su iznosila 0,54 mm za raspoloživi i 2,23 mm za potrebni prostor u maksili, te 2,88 mm za raspoloživi i 0,21 mm za potrebni prostor u mandibuli. Statistički značajna razlika je pronađena samo u slučaju potrebnog prostora u mandibuli. Zaključak studije je da se digitalni modeli mogu koristiti kao klinički prihvatljiva alternativa konvencionalnim gipsanim modelima [27].

U dva slična istraživanja, Zilberman i saradnici, kao i Fleming i saradnici, poredili su dvije grupe rezultata. Prvu grupu su činili rezultati mjereni direktno na gipsanim studijskim modelima, a druga grupa su bili rezultati dobijeni indirektno na skeniranim 3D modelima. Mjerili su meziodistalnu širinu svakog stalnog zuba od centralnog sjekutića do prvog stalnog molara, interkanino i intermolarno rastojanje. Između ova dva načina mjerena pronađena su manja odstupanja koja prema autorima nisu imala statistički značaj. Svojim rezultatima pokazali su da su obje metode visoko ponovljive za mjerjenje širine zuba i zubnih lukova [28, 29].

Cilj rada koji su radili Majstorović i saradnici je bio razvoj i primjena geometrijskih entiteta na 3D modelima za dijagnozu, planiranje i praćenje ortodontske terapije primjenom opštih kompjuterskih dizajniranih sistema. Analizirana su 54 ortodontska parametra (28 za gornju vilicu i 26 za donju vilicu) i njihove promjene u toku 11 mjeseci ortodontske terapije. Autori su primjetili napredak u x-y ravni, dok su najmanja pomjerenja uočena kod kliničkih

visina krunica zuba. Autori zaključuju da primjena geometrijskih entiteta na 3D modelima za definisanje ortodontskih parametra daje nove mogućnosti za tačnu i pouzdanu analizu ortodontskog stanja pacijenta [30].

Preciznost skeniranja i mjerjenja na digitalnim modelima su bile glavna tema rada Redliha i saradnika. U ovom istraživanju je mjerena meiodistalna širina zuba 30 ortodontskih studijskih modela sa mješovitom i stalnom denticijom. Digitalna kompjuterska mjerjenja meiodistalnih širina zuba stalne denticije izvedena su linearnim mjerenjem (iscrtavanjem transverzalne linije od okluzalne površine na posljednjim zubima i od prednje površine na prednjim zubima, na najvećoj širini u meiodistalnom pravcu) i mjerenjem presjeka ravni (korišćenjem dvije fiksirane paralelne presječne ravni s poprečnim presjekom). Svaka vilica je podijeljena u četiri segmenta, i to: desni i lijevi prednji (od središnje linije do sredine očnjaka), odnosno desni i lijevi zadnji (od sredine očnjaka do sredine prvog molara). Kod poređenja rezulatata, oba digitalna mjerjenja su bila statistički značajno manja od onih dobijenih ručno šublerom. Razlika između mjerjenja dvokrakim šestarom i mjerjenja na ravni presjeka su bila mala (0,38 mm do 0,74 mm) i mogu biti smatrana klinički prihvatljivim [31].

El Zanati i saradnici su istraživali tačnost trodimenzionalnih ortodontskih parametara na digitalnom, gipsanom i CT modelu mjerenjem sljedećih parametara:

1. meiodistalna širina zuba (od prvog stalnog molara sa lijeve do prvog stalnog molara sa desne strane);
2. širina luka (širina maksile u predjelu lateralnih sjekutića, širina mandibule u predjelu lateralnih sjekutića, širina maksile u predjelu očnjaka, širina mandibule u predjelu očnjaka, širina maksile u predjelu prvih molara, širina mandibule u predjelu prvih molara);
3. prednja dužina luka maksile i mandibule;
4. zadnja dužina luka maksile i mandibule;
5. maksilarni i mandibularni opseg luka i
6. visinu nepca maksile.

Dobijeni rezultati su pokazali slaganje između konvencionalne metode i indirektne metode na skeniranim modelima. I ovo istraživanje je sugerisalo skenirane studijske modele kao upotrebljivu alternativu konvencionalnom mjerenu studijskim modela [32].

Istraživanje koje su radili Keating i saradnici poredilo je mjerena udaljenosti između definisanih tačaka na gipsanim studijskim modelima i na 3D skeniranim studijskim modelima. Pronađena su odstupanja od prosječno 0,14 mm koja nisu bila statistički značajna [33].

Ireland i saradnici su izvršili pregled dostupnih tehnologija i pratećih programskih rješenja koje pokrivaju i upotrebu trodimenzionalnih skenera zasnovanih na strukturisanom izvoru svjetla u stomatologiji i zaključili da razvoj tehnologije omogućava dovoljno kvalitetnu i efikasnu akviziciju digitalnih podataka koja će zasigurno povećati upotrebu navedenih tehnologija u kliničkim primjenama u narednim godinama [34].

Barone i saradnici su sproveli istraživanje u kojem su analizirali rezultate dobijene skenerom zasnovanim na strukturisanom svjetlu i rezultate dobijene pomoću Cone-Beam Computed Tomography (CBCT) tehnologije za generisanje digitalnih modela namijenjenih za kliničku praksu i ortodontsku dijagnostiku. Skener sa strukturisanim svjetlom je korišten za skeniranje površina zuba i kao osnova za popunjavanje modela dobijenih CBCT skeniranjem. Nakon provedene analize su zaključili da navedene tehnologije omogućavaju vrlo precizan dizajn i izradu ortodontskih aparata koji mogu biti korišćeni u terapiji [35].

Istraživanje koje su radili Schwenzer-Zimmerer i saradnici poredilo je tačnost skenera baziranog na strukturisanom svjetlu i skenera baziranog na laserskom skeniranju u medicinske svrhe. Na osnovu dobijenih rezultata došli su do zaključka da skener zasnovan na strukturisanom svjetlu posjeduje veću tačnost i veću efikasnost u kliničkoj upotrebi [36].

Horton i saradnici su u istraživanju poredili vrijednosti rezultata Boltonove analize na standardnim gipsanim modelima i na istim modelima indirektno na skeniranim modelima. U istraživanju su učestvovala 32 pacijenta sa stalnom denticijom, bez predhodne ortodontske terapije i sa različitim vrstama ortodontskih nepravilnosti. Na gipsanim studijskim modelima mjerena je meziodistalna širina zuba od prvog stalnog molara sa jedne strane do prvog stalnog molara sa druge strane u sva četiri kvadranta i to po tri puta od strane iste osobe digitalnim šublerom u razmacima od sedam dana. Isti modeli su digitalizovani i na njima su izvršena

mjerenja: okluzalno (mjerena je širina svih zuba u okluzalnoj ravni); uvećano okluzalno (mjerena je širina svih zuba koji su uvećani nekoliko puta); sa strane desno (mjerena je širina svih zuba); od naprijed (mjerena je širina zuba u tri pozicije: lijevi bukalni, prednji, desni bukalni); kvalitativni (model je rotiran u prostoru i za nekoliko karakterističnih položaja vršeno je mjerjenje širine svih zuba). Sva mjerenja su izvedena i na gornjoj i na donjoj vilici. Okluzalna tehnika, mjerjenje širine mezio-distalno svakog zuba pokazala se, kroz analizu rezultata, kao najbolja kombinacija tačnosti, ponovljivosti i brzine mjerenja, te stoga i kao najbolji izbor za rutinsko digitalno mjerenja mezio-distalne širine zuba [37].

Topcuoglu i saradnici su radili slično istraživanju u kojem su poredili rezultate Boltonove analize između direktnog metoda na gipsanim studijskim modelima i indirektnog na skeniranim modelima. Poređeno je 20 modela i mjerenja su rađena dva puta. Prvi put na studijskim gipsanim modelima pomoću ortodontskog šestara, te na skeniranim modelima odgovarajućim softverskim programom, a nakon mjesec dana mjerenja je ponovio isti operater. Analizom dobijenih rezultata pokazano je da se Boltonova analiza može pouzdano koristiti na digitalnim modelima bez ikakvih ograničenja, jer su pronađene razlike bile su u rasponu od 0,27-0,30 mm i nisu imale klinički značaj [38].

U komparativnoj studiji koju su radili Rosseto i saradnici mjereno je interkanino i intermolarno rastojanje u gornjoj i donjoj vilici na gipsanim studijskim modelima pomoću ortodontskog šestara, digitalnog nonijusa i na skeniranim modelima. Izmjereno je 130 studijskih modela. Nakon statističke analize dobijenih rezultata mjerenja, sve metode su pokazale slične rezultate sa minimalnom greškom koja nije imala statistički značaj. S obzirom na potrebu za fizičkim prostorom za smještaj gipsnih studijskih modela, autori ovog istraživanja sugeriju da se digitalizovani modeli mogu koristiti kao alternativa tradicionalnim modelima [39].

Garino i saradnici su svoje istraživanje podijelili u dvije grupe i na dva načina. Na gipsanim studijskim modelima i skeniranim modelima u prvoj grupi su poređeni rezultati mjerenja interkaninog rastojanja od vrha gornjih i donjih očnjaka i intermolarno rastojanje između meziobukalnih kvržica prvih stalnih molara. U drugoj grupi mjerenja poređeni su rezultati manjih individualnih rastojanja na pojedinim zubima, kontaktne tačke na rotiranim zubima, inkliniranim i tjeskobno postavljenim centralnim i lateralnim sjekutićima gornje i donje vilice. Tačke su označene i mjerene digitalnim kaliperom. Dva ispitivača su u razmaku od dvije

sedmice izmjerili zadane tačke. Iste mjerne tačke izračunate su i na skeniranim modelima. Nakon statističke analize manje razlike između mjerena dva ispitivača pronađene su na digitalnim modelima. Zahvaljujući mogućnosti uvećanja, rotiranja skeniranih modela lakše je mjeriti meziodistalne širine kod rotiranih, inkliniranih i drugih zuba u nepravilnom položaju. Manje mjerne greške pronađene su u prvoj grupi mjerena. Pored ovih prednosti digitalnih modela, i ova grupa istraživača daje prednosti digitalnim modelima po pitanju skladištenja i čuvanja [40].

Ponovljivost i tačnost mjerena na digitalnim modelima bile su cilj i istraživanja koje su radili Asquith i saradnici. Jedanaest zadanih tačaka mjereno je na gipsanim modelima i na 3D digitalnim modelima. Nakon poređenja dobijenih rezultata, greške su pronađene kod pet od jedanaest mjerena, ali one nisu imale statistički značaj. Najveće greške bile su kod mjerena interkanine širine u donjoj vilici (srednja razlika između mjerena $0,05 \pm 0,32$ mm) i incizalnog stepenika (srednja razlika $0,07 \pm 0,33$ mm) [41].

Poređenje Boltonove analize i indeksa PAR glavna je tema rada Stevensa i saradnika. Mjerena su podrazumijevala mjerjenje veličine zuba od prvog molara s lijeve do prvog molara s desne strane u oba luka. To je iskorišćeno za Boltonovu analizu, kao i za sva druga mjerena neophodna za izračunavanje indeksa PAR. Maksimalna meziodistalna širina bilježena je za svaki Zub od očekivane kontaktne tačke, ako je Zub bio pravilno postavljen u vilici. Incizalni razmak je mjerjen od labijalne površine najisturenijeg gornjeg centralnog sekutića do labijalne površine najisturenijeg donjeg centralnog sjekutića. Incizalni preklop je takođe mjerjen kao najveći preklop u vertikali između gornjeg i donjeg centralnog sekutića. Mjerena su vršena i na gipsanom modelu digitalnim šestarom od 0,01 mm i na digitalnim modelima. Ponovljivost i koeficijenti korelacije su bili visoki [42].

U studiji koji su radili Leifert i saradnici poređena su mjerena koja su izvršila dva ortodonta na meziodistalnim širinama zuba i dužinama zubnih lukova na gipsanim modelima i trodimenzionalnim virtuelnim 3D modelima. Razlike u mjeranjima na gipsanim i digitalnim modelima za nedostatak prostora su iznosile do 0,424 mm u maksili i 0,384 mm u mandibuli. Upareni t-test je pokazao statistički značajnu razliku za mjerena u maksili. Vrijedi napomenuti da su razlike u mjeranjima između dva ortodonta iznosila do 0,408 mm i uporediva su sa razlikama između dva načina mjerena, te su zaključci studije da su ova odstupanja prihvatljiva u kliničkoj praksi [43].

Korišćenjem opšteg koordinatnog sistema, Bootvong i saradnici su mjerili sljedeće parametre: razmak sjekutića (rastojanje od labijalne površine gornjih do labijalne površine donjih sjekutića); preklop sjekutića (rastojanje između gornjih sekutića i obilježene linije na labijalnoj površini donjih sjekutića); meziodistalna širina zuba (rastojanje između mezijalne i distalne kontaktne tačke svakog zuba, paralelno s okluzalnom ravni rastojanje); intermolarno rastojanje (između meziobukalnih kvržica prvih stalnih molara); i interkaninalno (između kvržica stalnih očnjaka). Za digitalne modele kriterijumi za mjerjenje rastojanja utvrđeni su na monitoru kao i za gipsane modele. Srednja apsolutna razlika širine zuba izmjerena na gipsanim i virtuelnim modelima je bila manja od 0,3 mm [44].

3D kompjuterska analiza Chen-a i saradnika obuhvatila je ukupno 86 morfoloških tačaka na osnovu kojih je definisano 156 promjenjivih rastojanja između tačaka, odnosno rastojanje između tačaka i referentnih ravnih. Definisane morfološke tačke su obuhvatile: sredine incizalnih ivica sjekutića, vrh kvržica očnjaka, vrhove kvržica premolara, vrhove bukalnih i palatalnih kvržica molara, najdublje tačke okluzalnih površina premolara i molara, kao i kontaktne tačke između svih zuba. Mjerena su i rastojanja između kontaktnih tačaka na drugom molaru i očnjaku, rastojanja između kontaktnih tačaka na drugom premolaru sa lijeve i desne strane, širine luka u predjelu očnjaka, širine luka u predjelu premolara, širine luka u predjelu molara, dužine luka, Spee-ova kriva itd. Rezultati su pokazali da se digitalnim mjerjenjima mogu analizirati širine, dužine zubnih lukova, Spee-ova kriva, incizalni razmak i preklop, anteroposteriorni odnos gornjih i donjih zuba, jer je greška bila mala 0,23 mm u 14 odabranih varijabli za 3D sistem. Sistem obezbjeđuje postupak za snimanje 3D mjerjenja studijskih modela koji dozvoljava kompjutersku vizualizaciju položaja zuba i pokreta zuba [45].

Watanabe Kanno i saradnici su u svojoj studiji poredili digitalne modele sa standardnim gipsanim studijskim modelima na taj način da su i na jednim i na drugim radili Boltonovu analizu. U radu su koristili petnaest modela pacijenata sa stalnom denticijom. Gipsani modeli su mjereni digitalnim šublerom, a isti modeli su i digitalizovani pomocu verzije 2.5 sofvera Bibliocast Cecile 3. Dva ispitača su po tri puta mjerila širinu svih zuba i dužinu luka. Nakon statističke analize, razlika između gipsanih studijskih modela i digitalnih modela kod prvog ispitača bila je 0,34 mm, a kod drugog ispitača 0,28 mm. Iako su mjerena digitalnih modela bila manja od mjerena na gipsanim modelima ($p < 0,05$), nisu smatrani da je klinički značajna

(razlika <0.1 mm). Određivanje veličine zuba i vršenje Boltonove analize pomoću digitalnih modela i softvera Bibliocast Cécile3 su, prema nalazima autora, bili prihvatljiva alternativa za korištenje u kliničkoj praksi [46].

Yoon i saradnici su ispitivali upotrebljivost intraoralnih skenera za vršenje mjerena poredeći dobijene rezultatate sa rezultatima dobijenim ručnim mjeranjima na gipsanim studijskim modelima, te mjerenjem 3D skeniranih studijskih modela. Dobijeni rezultati su statistički obrađeni, a izvršen je i upareni t-test. Jedna od mjerjenih veličina je bila nedostatak prostora za cijelu vilicu i dobijena prosječna odstupanja između mjerena na gipsanom modelu i skeniranom modelu su za maksilu iznosila do 0,58 mm uz statistički značajnu razliku, a za mandibulu do 0,63 mm takođe uz statistički značajnu razliku. Pri poređenju mjerena na gipsanom modelu i intraoralno skeniranom modelu dobijena prosječna odstupanja su iznosila do 0,86 mm za maksilu i 0,55 mm za mandibulu uz pronađene statistički značajne razlike. Autori zaključuju da razlike u mjeranjima nisu klinički značajne i da je moguća upotreba sve tri metode u kliničkoj praksi bez obzira na stepen tjeskobe [47].

Liang i saradnici su ispitivali upotrebljivost 3ShapeTM D800 skenera u kliničkoj praksi poredeći rezultate mjerena na digitalnom modelu sa mjeranjima na gipsanim studijskim modelima. Modeli su bili podijeljeni u tri grupe prema stepenu tjeskobe. Prezentovani rezultati snažno sugerisu da je opravdana klinička upotreba 3D skeniranih modela, jer su prosječna odstupanja mjerena za dostupan i potreban prostor bila ispod 0,3 mm, bez pronađene statistički značajne razlike. Statistički značajna razlika je pronađena pri poređenju dobijenih rezultata po stepenima tjeskobe [48].

1.1.7. Fotogrametrija u ortodonciji

Upotreba fotografije u stomatologiji je poznata još od davne 1839. godine kada je Aleksander S. Volcott, stomatolog-fotograf, dizajnirao i patentirao prvu kameru iz Daguerre koncepta. Od tada, fotografija i stomatologija su partneri, jer je fotografija postala sastavni dio plana terapije pacijenta [49].

Fotografija predstavlja pomoćno dijagnostičko sredstvo u ortodontskoj dijagnostici. Ona pomaže pravilnoj dijagnostici kao i prilikom donošenja odluke o planu terapije, vrlo je pouzdana

za praćenje toka terapije i promjena koje nastaju tokom rasta i razvoja, te kao pomoć u komunikaciji sa pacijentom. Fotografija se u ortodonciji koristi i pri planiranju ortodontsko-hirurškog lečenja pacijenta. Fotografije moraju biti pravljene pod standardizovanim uslovima, što podrazumijeva određeno rastojanje pacijenta od objektiva, te standardizovan položaj glave prilikom fotografisanja. Pored ovoga, fotografije se mogu upotrebljavati u nastavne svrhe i kao temelj za dalja istraživanja. Digitalna tehnologija iz dana u dan postaje sve važniji element u kliničkim aktivnostima, tako da i u ortodonciji raste upotreba digitalne tehnologije za ortodontske dokumente [50].

Zahvaljujući razvoju digitalnih tehnika, u ortodontskoj praksi je neophodna upotreba pomoćnih dijagnostičkih sredstava koja olakšavaju i omogućavaju postavljanje pravilne dijagnoze i terapije. Fotogrametrijska procjena lica i studijskih modela predstavlja jednostavan metod koji se može koristiti upravo u te svrhe. Fotogrametrija na standardizovanim fotografijama korišćena u svakodnevnoj ortodontskoj praksi nudi jednostavno, ekonomično rješenje bez opasnosti od izlaganja zračenju. Postoji potreba za standardizacijom fotogrametrijskih tehnika i za razvojem većeg broja fotogrametrijskih analiza za različite potrebe u ortodontskoj dijagnostici [51].

Kao i kod svih modernih tehnologija, svake godine su dostupna poboljšanja najnovijih softvera i hardvera za fotogrametrijsko slikanje. Softveri koji usmeravaju upravljanje digitalnim tokovima su sve jeftiniji i pristupačniji. Lakše i brže skladištenje i senzori boljih fotoaparata potiskuju upotrebu konvencionalnih fotografija zuba u posljednjih 5 godina. Digitalna fotografija nudi mnoge prednosti u odnosu na konvencionalnu fotografiju, kao što su: komfornost i fleksibilnost za uređivanje fotografija kao i za kopiranje, eliminisana je upotreba toksičnih boja i hemikalija koje se koriste za izradu konvencionalnih fotografija i olakšano je skladištenje na memorijskim karticama [52, 53, 54].

Analiza ljudskog lica predstavlja određenu vrstu umjetnosti i nauke. Za procjenu karakteristika ljudskog lica koriste se različita mjerena kao što su: antropometrija, kefalometrija i fotogrametrija. Primjenu fotogrametrije u ortodonciji prvi put je predložio Stoner, koji je poredio profile prije i poslije ortodontskog tretmana, sa idealnim profilima [55]. Uzimajući u obzir etničke karakteristike i pol, kao i promjene koje nastaju zbog starosti, postaje jasno da ono što se smatra lijepim i prihvatljivim kao norma za neke kulture, može biti različito za druge.

Mjerenjem lica, mekih tkiva, kao i dentofacijalnih odnosa, utvrđene su normalne referentne vrijednosti u različitim populacijama [56, 57]. Najveći broj ortodontskih pacijenata zainteresovan je za ortodontsku terapiju zbog postojanja estetske disharmonije. Takvi problemi se najlakše uočavaju i analiziraju na fotografijama [58]. Fotografija predstavlja mnogo konvencionalniju dokumentaciju i vizuelnu referencu za praćenje promjena koje nastaju tokom rasta, razvoja ali i same terapije. Pacijentima su pristupačnije i puno razumljivije od radiografskih snimaka. Mjerenja na fotografijama predstavljaju jednostavniju proceduru za pacijenta, a takođe pružaju trajni zapis lica kojem se može pristupiti i kasnije [59, 60]. Mjerenja određenih antropoloških tačaka i uglova na licu neophodna su za precizno određivanje odstupanja od normalnog. Obradom vrijednosti nakon antropološke analize dobijaju se podaci koji predstavljaju vrijedne informacije o karakteristikama lica. Pravilan odabir i precizno određivanje referentnih tačaka, bilo da se analiza radi standardno ili računarski, od presudnog je značaja za tačnost dobijenih ugaonih i linearnih vrijednosti [61].

Upotreba fotogrametrije u cilju procjene analiza profila lica mekog tkiva pomaže uspostavljanju idealnog cilja ortodontskog liječenja, gdje pored funkcionalnih želimo da dobijemo i estetski prihvatljive rezultate. U literature je zabilježen veliki broj radova koji porede tačke i uglove na mekom tkivnom profilu na pacijentima i njihovim fotografijama [62, 63, 64, 65, 66]. Prosječne vrijednosti dobijene u ovim studijama uporedive su sa vrijednostima dobijenim direktno na licima pacijenata, bez statističkih značajnih razlika. Autori ovih istraživanja su istog mišljena i predlažu fotogrametiju kao preciznu dijagnostičku metodu koja daje tačne mjere i pruža podatke koje u planiranju liječenja mogu koristiti specijalisti kao što su ortodonti, protetičari, plastični hirurzi i maksilofacijalni hirurzi, koji imaju mogućnost da promijene karakteristike lica mekog tkiva.

Mogućnost upotrebe fotogrametrije i programa za automatsko određivanje linearnih veličina lica na osnovu anfasa fotografije pacijenta bio je cilj našeg prethodnog istraživanja istraživanja [67]. Mjerenja su izvršena na skupu od dvadeset frontalnih fotografija ispitanika u NHP (Natural Head Position) položaju prikupljenih iz više izvora: četiri fotografije iz FEI skupa [68], sedam fotografija studenata Univerziteta u Banjoj Luci, te devet javno dostupnih fotografija modela, od čega je na fotografijama prisutno osam žena i dvanaest muškaraca. U cilju

ostvarivanja realnih uslova za rad programa za automatsko određivanje tačaka, dimenzije fotografija, pozicija i relativna veličina lica nisu bile iste na svim fotografijama.

Tačke za mjerjenje su odabrane tako da zadovoljavaju dva kriterijuma: najčešće korišćene tačke u ortodontskoj analizi lica i tačke koje je moguće odrediti na osnovu dvodimenzionalne fotografije. Na uzorku od 20 fotografija urađene su tri vrste mjerjenja. Ortodont je na digitalnim fotografijama dva puta u razmaku od 7 dana odredio definisane tačke, a nakon toga su pozicije ovih tačaka određene automatski upotrebom namjenski razvijenog programa. Na osnovu dobijenih pozicija tačaka izračunate su vrijednosti za bizogomatično rastojanje, visinu nosnog i dentalnog sprata, kao i visinu lica. Nakon statističke analize i upoređivanjem rezultata dobijena su odstupanja mjernih veličina od 0,03 mm-0,06 mm. Rezultati ovog istraživanja sugerisali su da je moguće olakšati, ubrzati i automatizovati rad ortodonta upotrebom pogodnih fotografija i sugerise potrebu automatskih metoda mjerjenja.

Osim 3D skeniranja, u procesima mjerjenja studijskih ortodontskih modela moguće ih je analizirati i upotrebom digitalne fotografije studijskih modela pristupom koji se zove fotogrametrija. Fotogrametrija je postupak obrade fotografija kojim se dobijaju prostorne dimenzije, oblik i pozicija prostorne strukture realnog svijeta. Termin „fotogrametrija” počinje da se koristi polovinom XIX. vijeka. Danas se pod fotogrametrijom podrazumijeva modelovanje na osnovu više slika, iako je termin fotogrametrija složenica koja je izvedena iz sintagme „mjerjenje sa slike”. Modeliranje zasnovano na slikama korišćenjem fotogrametrije smatra se jednom od najboljih tehnika obrada podataka o slici, koja pruža tačne podatke i detaljne 3D informacije. Ova tehnika dozvoljava određivanje preciznosti i pouzdanosti podataka iz mjerenih tačaka vezanih za sliku i kontrolne tačke (CP), koje predstavljaju lokaciju odgovarajuće, odnosno korespondentne tačke u dvije ili više digitalnih slika i mogu se koristiti za povezivanje slika. Zbog toga su potrebne dvije slike, a zatim 3D informacije mogu biti izvedene primjenom projektivne i perspektivne geometrije [69, 70].

Da bi niz fotografija mogao da bude baza za fotogrametrijsko modelovanje, neophodno je da postoji „preklapanje fotografija”. To znači da svaki geometrijski element čiji položaj želimo da odredimo mora da bude vidljiv bar na dvije fotografije [69, 70, 71].

Fotogrametrija obično predstavlja proces obrade jedne ili više dvodimenzionalnih slika (fotografija) sa ciljem dobijanja informacija o mjerama objekata i prostora u kom se nalaze. Sam termin potiče iz sredine XIX vijeka i označava proces mjerjenja na osnovu fotografija iako se danas pod njim podrazumijeva mnogo širi spektar tehnologija i oblasti primjena [70].

Fotogrametrija predstavlja multidisciplinarni pristup jer kombinuje više oblasti, od geometrije i optike do savremenih informacionih tehnologija. Uticaj informacionih tehnologija se naročito ogleda u upotrebi digitalne fotografije i video zapisa, te računarske podrške za automatizaciju procesa vezanih za fotogrametrijska mjerjenja. Poseban oblik fotogrametrije se naziva stereofotogrametrija i obuhvata proces određivanja položaja u trodimenzionalnom prostoru za tačke koje čine posmatrani objekat. U ovom procesu se vrši analiza niza fotografija, procjenjuje se položaj kamere u trenutku pravljenja svake od fotografija, izračunavaju se parametri optičkog sistema (objektiva), te projekcija korigovanih slika i estimacija trodimenzionalnog položaja svih tačaka od interesa. Razvojem računarskih resursa i algoritama, fotogrametrija je postala najkorišćeniji vid beskontaktnog mjerjenja [70].

Razvojem fotogrametrije je rastao i broj oblasti u kojima se ona koristi, tako da je danas ona zastupljena, između ostalog, u sljedećim oblastima:

- topografsko mapiranje i rekonstrukcija terena na osnovu aero snimanja,
- očuvanje i digitalizacija kulturnog nasljeđa,
- arhitektura i urbanizam,
- proizvodni procesi i kontrola kvaliteta,
- reverzni inženjering i analiza,
- medicina i bionauke,
- računarska grafika i
- multimedijalni sistemi.

Osim upotrebe same fotogrametrije, danas se često koriste i hibridni sistemi koji kombinuju više tehnika sa ciljem poboljšanja performansi ili otklanjanja nedostataka određenih tehnika.

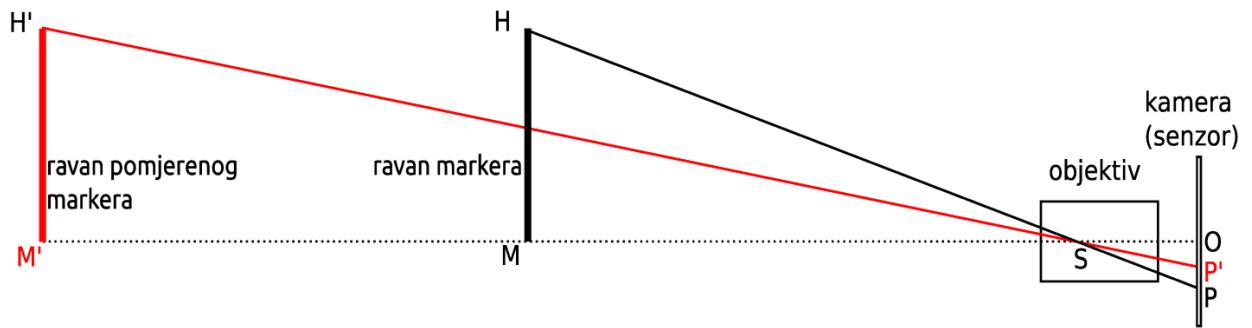
Digitalna fotografija koristi se od 1981. godine. Danas je njena upotreba rutinska i koristi se u svakodnevnoj stomatološkoj praksi. Digitalne slike se sastoje iz elemenata koje grade

„pikseli“. Pikseli sadrže crveno, zeleno i plavo svjetlo postavljeno, obično, između 0 i 255. Ako su sve tri boje postavljene na 255 rezultat je bijela boja, a ako su postavljeni na 0 rezultat je crna boja. Postoje 256 nijanse sive boje (uključujući crnu i bijelu) koje su rezultat sve tri boje postavljene na istu vrijednost. Izmjena nivoa svake od tri boje omogućava prikaz bilo koje boje iz skupa od 16,7 miliona boja.

Upotreba digitalnih fotoaparata je jednostavna i omogućava efikasno pravljenje i čuvanje digitalnih fotografija. Zahvaljujući njenoj upotrebi značajno se povećala lakoća dokumentovanja koja je važna kako u kliničkom, tako i u pravnom smislu. Za uspješno digitalno fotografisanje neophodno je poznavanje opreme i pridržavanje protokola za njenu upotrebu [71]. Takođe treba posvetiti značajnu pažnju pravnim i etičkim pitanjima prije obavljanja bilo koje kliničke fotografije.

1.1.7.1 Problem trodimenzionalnosti modela

Kako je model trodimenzionalan i mjerene tačke nisu na istoj udaljenosti od kamere niti su u ravni sa uzorkom za mjerjenje, potrebno je izvršiti minimalno još jedno fotografisanje iz drugog ugla (npr. sa prednje strane) kako bi bilo moguće izvršiti korekciju mjerjenja, ali i olakšati određivanje tačaka koje su teško vidljive iz gornje projekcije. Poželjno je izvršiti i fotografisanje sa lijeve, odnosno sa desne strane. Iako realni objektivi mogu imati izuzetno kompleksne optičke formule koje uključuju asferične elemente, sa stanovišta mjerjenja objektiv možemo posmatrati kao tačkasti otvor na udaljenosti S od ravni senzora na kojoj se formira lik posmatranog objekta (pinhole model kamere) [72]. Za sva vršena mjerena od ključne je važnosti pravilno odrediti položaj tačke S i njenu udaljenost od senzora kamere i udaljenost od ravni markera kako bi se dobilo na preglednosti i jednostavnosti rada. Na slici 14 je prikazan proces mjerjenja i izračunavanja pozicije tačke S .



Slika 14. Određivanje pozicije tačke S

Često se za udaljenost od tačke S do senzora kamere (O) uzima vrijednost žižne daljine objektiva koji se koristi (f), ali vrijedi napomenuti da u opštem slučaju jednakost $f = S$ važi samo za objekte u beskonačnosti i da navedena aproksimacija ne mora vrijediti u posmatranom slučaju. Za proračun je potrebno izvršiti dva mjerena istog objekta na dvije udaljenosti od kamere sa poznatim pomjerajem između dvije udaljenosti. Kako je moguća promjena efektivne žižne daljine sa promjenom fokusa objektiva, poželjno je da se objektiv fokusira na tačku između dva položaja na takav način da se u oba slučaja objekti i ravan markera nađu u fokusu. Za pojednostavljenje procedure moguće je izvršiti fotografisanje ravni markera na dvije različite udaljenosti sa poznatim pomjerajem.

Neka je h udaljenost markera od optičke ose (udaljenost MH i $M'H'$), m udaljenost od M do S , m' udaljenost od M' do S , p udaljenost od O do P , p' udaljenost od O do P' i d udaljenost od M do M' (pomjeraj). Na osnovu sličnosti trouglova MSH i OSP , te trouglova $M'SH'$ i OSP' moguće je izvesti sljedeće relacije:

$$m' : m = p : p', \quad m' = m + d$$

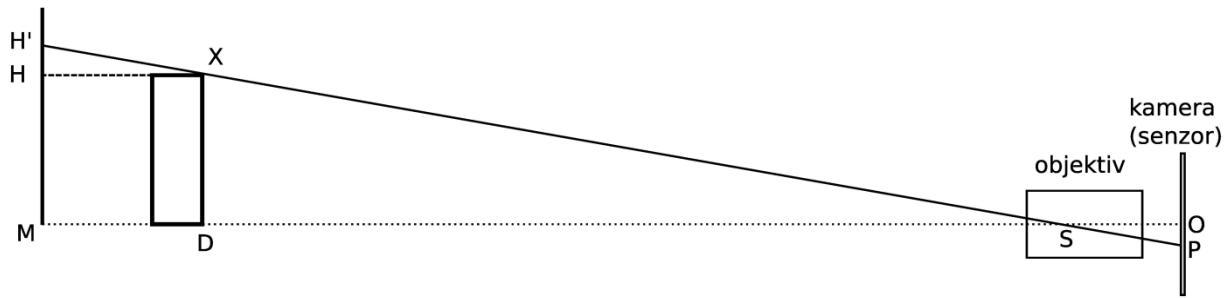
$$(m + d) : m = p : p'$$

$$m \cdot p = m \cdot p' + d \cdot p'$$

$$m \cdot (p - p') = d \cdot p'$$

$$\mathbf{m = d \cdot p' : (p - p')}$$

Na ovaj način smo odredili položaj tačke S.



Slika 15. Izračunavanje greške mjerena uslijed efekta perspektive

Kako pri fotografisanju tačke X dobijamo sliku H' u ravni markera, potrebno je izvršiti korekciju mjerene vrijednosti za vrijednost greške koja zavisi od udaljenosti tačaka X i S od ravni markera, te same vrijednosti X. Neka su h tražena vrijednost, h' mjerena vrijednost, m udaljenost ravni markera M od tačke S i d udaljenost ravni markera M od tačke D. Na osnovu sličnosti trouglova MSH' i DSX , možemo izvesti sljedeće relacije:

$$h':m = h:(m-d) \quad h = h' \cdot (m-d) / m \quad h = h' \cdot (1 - d / m)$$

Sada možemo izračunati grešku (g) za koju treba korigovati mjerenu vrijednost:

$$g = h' - h = h' - h' \cdot (1 - d / m) = h' - h' + h' \cdot d / m \quad g = h' \cdot d / m$$

$$\mathbf{g = h' \cdot d / m}$$

Iz ove relacije se vidi da je za manju grešku pri mjerenu prije korekcije potrebno umanjiti udaljenost mjerene tačke od ravni markera ili povećati udaljenost od kamere do mjereno objekta. Umanjivanje udaljenosti mjerene tačke od ravni markera moguće je postići pravilnim pozicioniranje objekta u toku mjerena, a povećanje udaljenosti kamere, uz zadržavanje iste veličine lika na fotografiji, upotrebom objektiva veće žižne daljine. Za konkretan primjer vrijednosti greške možemo uzeti primjer kamere kod koje se tačka S nalazi na 150 cm od ravni markera, mjerena tačka se nalazi na 3 cm od ravni markera i 3 cm od optičke ose. Navedeno predstavlja najgori projektovani slučaj za studijski model standardne veličine. Uvrštavanjem vrijednosti u formulu dobijamo grešku od približno 0,6 mm koju možemo korigovati.

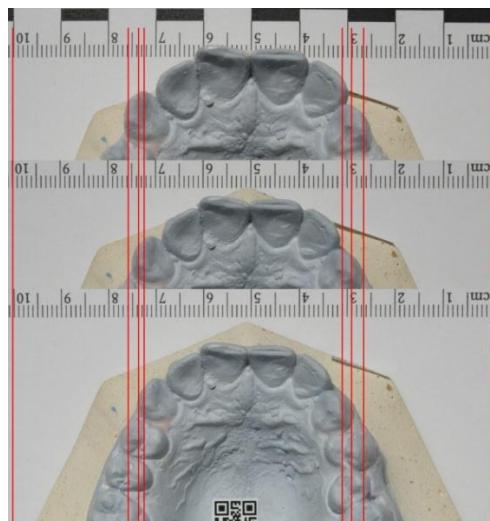
Aberacije objektiva su nedostaci optičkog sistema koje utiču na formiranje lika koji ne odgovara idealnom liku. Postoje brojne aberacije koje se posmatraju u opštem slučaju, ali su za posmatrano mjerjenje najvažnije sljedeće [73]:

1. Sferna aberacija - nastaje kao posljedica neravnomernog fokusiranja zraka paralelnih sa optičkom osom. Obično je korigovana dizajnom objektiva, a dodatno umanjenje se postiže upotrebom manje ulazne pupile. U okviru ovog mjerjenja se umanjuje uticaj sferne aberacije upotrebom male ulazne pupile (npr. f/22)
2. Hromatska aberacija - nastaje kao posljedica nemogućnosti objektiva da fokusira svjetlost različitih talasnih dužina u istu tačku. U okviru ovog mjerjenja se umanjuje uticaj hromatske aberacije upotrebom samo zelene komponente svjetla za mjerjenja - monohromatska fotografija.
3. Distorzija - nastaje kao posljedica neuniformnog faktora uvećanja objektiva. Tipično je prisutna kod širokougaonih objektiva i obično ne predstavlja problem kod objektiva većih žižnih dužina. U okviru ovog mjerjenja se umanjuje uticaj distorzije izborom odgovarajućeg optički korigovanog objektiva velike žižne daljine.

Sa stanovišta mjerjenja, osim navedenih aberacija, mora se voditi računa i o dubini polja i difrakciji. Dubina polja je opseg u kadru u kojem se objekti nalaze u fokusu i zavisi od odnosa žižne daljine i prečnika ulazne pupile (f broj), žižne daljine i udaljenosti objekta. Za zadatu udaljenost i žižnu daljinu, dubina polja se povećava smanjivanjem prečnika ulazne pupile. Difrakcija je posljedica dualne prirode svjetlosti i nije je moguće eliminisati. Efekti difrakcije su izraženiji što je manji prečnik ulazne pupile za zadatu žižnu daljinu objektiva i kao takva stoji u suprotnosti sa dubinom polja. Smanjivanjem prečnika ulazne pupile povećavamo dubinu polja, ali i povećavamo uticaj difrakcije. Moguće je provesti detaljnu analizu uticaja f broja na dubinu polja i difrakciju, ali se za dobru početnu vrijednost može uzeti vrijednost f broja f/22.

1.1.7.2 Greške mjerena uslijed perspektive i korekcije mjerena

Izobličenje perspektive uzrokovano je oblikovanjem slike na 2D ravni slike (senzor fotoaparata) 3D realnog objekta. Ovaj efekat uzrokuje da jedan te isti objekat izgleda manji kada je dalji od kamere i veći kada je bliži. Budući da fotografisanim stvarnog objekta koji nije savršeno ravan i ima tačke koje su bliže i tačke koje su dalje od kamere, one se pojavljuju deformisane s „prednjim“ dijelom objekta koji se izgleda veći od „zadnjeg“ dijela objekta. Na primjer, ako postavimo studijski model na papir s milimetarskim šablonom i fotografišemo ga s tri različite udaljenosti, doći ćemo do zaključka da ista stvarna udaljenost različito izgleda na svakoj od tri fotografije. Ovo je ilustrovano na slici 16.



Slika 16. Primjer efekta perspektivne distorzije

U ovom primjeru fotografisali smo isti model s tri udaljenosti, uz očuvanje iste relativne veličine milimetarskog šablonu na slici pomoću zumiranja. Gornja fotografija snimljena je s najmanje udaljenosti (16 mm žižne daljine), a interkaninalna udaljenost je iznosila približno 4,9 mm. Srednja fotografija snimljena je upotrebom 25 mm žižne daljine i čini se da je interkaninalna udaljenost 4,5 mm. Donja fotografija snimljena je upotrebom žižne daljine od 50 mm (maksimalna udaljenost kamere), a izmjerena vrijednost iznosi 4,1 mm. Isti efekat može se posmatrati na izmjerenim širinama 11-12 segmenta koji je imao vrijednosti od 2,4 mm za gornju sliku do 2,0 mm za donju. Drugi problem kod mjerena 3D objekata na 2D prikazima leži u činjenici da je nemoguće izmjeriti dužine koje su okomite na ravan slike. Na primjer, na

fotografijama na slici 16 ne možemo izmjeriti udaljenost između gingive i vrha zuba ni bilo koju drugu sličnu udaljenost.

U literaturi su zabilježene studije kod kojih je ispitivana upotreba i preciznost fotogrametrijskog mjerjenja na studijskim modelima, s tim da autori nisu uzimali u obzir greške nastale uslijed perspektive.

Normando, Da Silva i Mendes su u svojoj studiji poredili rezultate mjerjenja vrijednosti dobijenih ručno na 16 studijskih modela sa rezultatima dobijenim metodom fotogrametrije. U studiji su koristili samo jednu fotografiju i nisu uzimali u obzir perspektivnu distorziju. Mjerni uzorak su pozicionirali što je bliže moguće mjernoj ravni za svaku fotografiju. Zabilježene su prosječne razlike od 0,02 mm do 0,33 mm za pojedinačnu širinu zuba, razlika od 0,23 mm za gornje intermolarno, 0,19 mm za interkanino rastojanje, 0,50 mm za donje intermolarno i 0,16 mm za donju interkaninu širinu. Autori ove studije su takođe izvršili upareni t-test koji je imao p vrijednost između 0,01 i 0,8, dok se vrijednost interklasne korelacije kretala od 0,66 do 0,99. Autori zaključuju da su ovi rezultati prihvatljivi, jer su zabilježene razlike mjerjenja uporedive sa razlikama u mjerenu ponovljenih mjerjenja istog modela i nisu značajne u kliničkoj praksi, jer su bile blizu rezoluciji ljudskog oka bez pomagala [74].

Al-Katib i saradnici su koristili stereofotogrametrijski sistem za mjerjenje na studijskim modelima i upoređivali ga sa ručnim mjerenjima. Sistem se sastojao od dvije kalibrisane kamere i ploče za kalibraciju na kojima je studijski model fotografisan. Zahvaljujući korišćenju dvije kamere, mogli su da vrše mjerjenje u 3D prostoru. Prosječne zabilježene greške za pojedinačnu širinu zuba bile su ispod 0,21 mm, dok su prosječne greške za interkaninu i intermolarnu širinu bile 0,1 mm. Autori zaključuju da zbog mjerne razlike ispod 0,5 mm u većini slučajeva nije važno postojanje utvrđene statistički značajne razlike, jer su greške u očekivanom opsegu greške mjerjenja u kliničkoj praksi [75].

Malik, Abdi-Oskouie i Mandal izvršili su mjerjenje na 30 studijskih modela upoređujući ručna mjerena sa fotografskim mjerenjima. Fotografije su snimljene sa udaljenosti od 30 cm od objektiva do objekta i korištena je milimetarska mjerna traka kao referenca. Takođe su došli do zaključka da se mjerena na osnovu fotografija mogu koristiti u kliničkoj praksi i da su zabilježene razlike u mjerjenima prihvatljive [76].

Fu i saradnici su poredili mjerena na 3D skeniranim modelima i 3D modelima rekonstruisanim upotrebom strukture iz pokreta na osnovu 72 fotografije objekta. Mjerena su vršena u programu Meshlab [77]. Autori zaključuju da su odstupanja u mjeranjima do 0,4 mm i da nisu klinički značajna, iako su pronađene statistički značajne razlike.

Maki, Ferguson i Stabelberg su analizirali indekse nepravilnosti izračunate pomoću direktnog mjerena, mjerena 3D modela i upotrebe ImageJ programa [78]. Zaključili su da pronađena odstupanja nisu klinički značajna, jer je prosječna vrijednost ispod 0,5.

U brojnim studijama, uključujući one vođene Leifertom [43], Okunamijem [79] i Askvitom [41], došlo se do zaključka da su iako postoje statistički značajne razlike u mjeranjima, razlike od 0,5 mm za pojedinačne zube i do 5% za veće udaljenosti klinički prihvatljive.

2. HIPOTEZA

Analizom fotogrametrijskih snimaka ortodontskih studijskih modela dobijaju se dovoljno tačni i precizni rezultati. Ne postoje statistički značajna odstupanja za kliničku praksu rezultata analiza rađenih na gipsanim i skeniranim studijskim modelima.

U skladu sa navedenom problematikom predloženo istraživanje ima jasno definisan osnovni cilj i bliže ciljeve.

3. CILJ

Osnovni cilj istraživanja je bio:

- Ispitati mogućnost upotrebe fotogrametrijskih metoda za potrebe ortodontske dijagnostike mjerjenjem studijskih gipsanih modela.

Bliži ciljevi istraživanja su bili:

- Definisati protokol za fotogrametrijska snimanja studijskih gipsanih modela.
- Razviti program koji omogućava mjerena na osnovu prethodno napravljenog skupa fotografija studijskog gipsanog modela.
- Uporediti rezultate standardnog mjerena studijskih gipsanih modela, modela na osnovu trodimenzionalno skeniranog studijskog modela i fotogrametrijskog mjerena studijskog modela.

4. MATERIJAL I METOD RADA

Za ovo istraživanje korišteno je 50 studijskih modela. Otisci za studijske modele uzeti su na Studijskom programu stomatologije Medicinskog fakulteta Univerziteta u Banjoj Luci. Ispitanici su izabrani metodom slučajnog izbora. Kriterijum za izbor ispitanika bio je sljedeći:

- ispitanici su imali stalnu denticiju
- zubi ispitanika su bili bez vidljivih oštećenja, bijelih mrlja i karioznih lezija, sa adekvatno saniranim ispunima.

Otisci su uzeti alginatnim otisnim masama u perforiranim kašikama za gornju i donju vilicu. Prilikom uzimanja otiska, obuhvaćeni su cijeli zubni nizovi i alveolarni grebenovi. Nakon uzimanja otiska, određen je položaj centralne ili habituelne okluzije na osnovu zagrižaja u vosku. Zagrijani vosak je prstima adaptiran prema gornjem zubnom nizu i postavljen u predio molara, nakon čega je pacijent zagrizao u položaj centralne okluzije. Ostale faze izrade studijskih modela, tj. izlivanje otiska u gipsu obavljeno je u zubnoj tehnici. Izlivanjem otiska dobijeni su radni modeli koji su obrađeni na trimeru do dobijanja gotovih studijskih modela. Nakon izlivanja i pravilne izrade studijskih modela vršeni su njihovo premjeravanje i analize.

Na studijskim modelima urađene su sljedeće analize:

- Direktno na samom gipsanom studijskom modelu pomoću digitalnog ortodontskog šestara sa preciznošću mjerena od 0,01 mm.
- Upotrebom industrijskog 3D skenera (Steinbichler L3D 5M) i programa OP4D.
- Pravljenjem serija fotografija studijskog modela u pozicioneru i mjerenjem u namjenski razvijenom program OrthoPhoto4D.

Na gipsanim studijskim modelima kao i na fotografisanim i skeniranim modelima urađene su sljedeće analize:

- meziodistalni promjeri zuba (11-16, 21-26, 31-36 i 41-46),

- interkanino rastojanje u gornjoj i donjoj vilici,
- intermolarno rastojanje gornje i donje vilice,
- Boltonova analiza и
- Lundstomova analiza.

Plan rada je bio podijeljen u četiri faze.

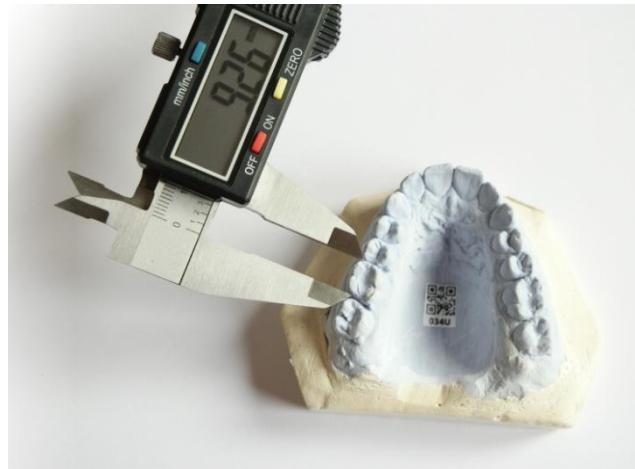
4.1. Prva faza

U prvoj fazi istraživanja, mjerena su obavljena na gipsanim studijskim modelima. Za mjerjenje je korišten digitalni šestar sa preciznošću mjerjenja od 0,01 mm (slika 17).



Slika 17. Digitalni šestar

Digitalnim ortodontskim šestarom izmjerene su meziodistalne širine zuba, odnosno najširi promjer krunice zuba u sva četiri kvadranta, kao i meziodistalna širina zubnih segmenata (slika 18). Nakon toga, digitalnim šestarom izmjerene su interkanina i intermolarna širina u gornjoj i donjoj vilici.

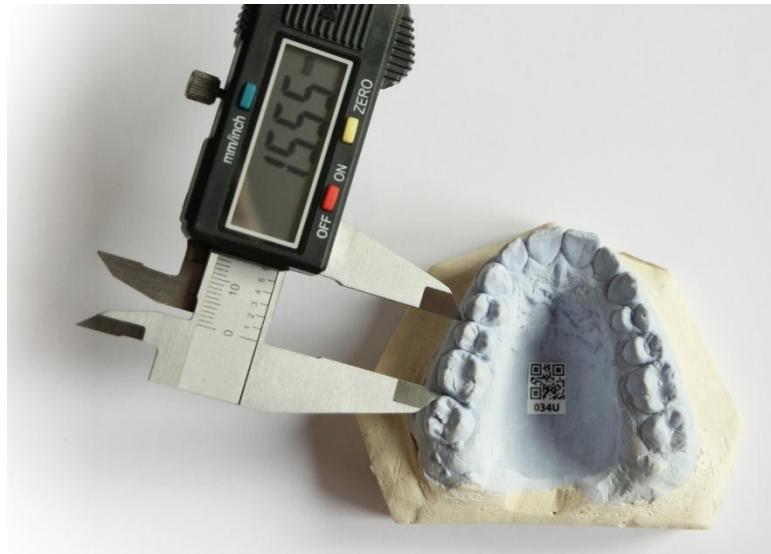


Slika 18. Mjerenje meziodistalne širine zuba dvokrakim digitalnim šestarom

Nakon toga, urađena je Boltonova analiza pomoću koje se analizira diskrepancija zuba u gornjoj i donjoj vilici. Pomoću digitalnog šestara izmjereni su meziodistalni promjeri stalnih zuba osim drugog i trećeg molara. Zbir širine 12 donjih zuba podijeljen je sa zbirom širine gornjih zuba i dobijeni rezultati su pomnoženi sa 100.

Normalan prosječni odnos iznosi 91,3%. Ovakav odnos govori o normalnoj dubini preklopa, incizalnom stepeniku i pravilnoj okluziji. Veći odnos nastaje zbog prevelike širine donjih zuba, a manji se javlja uslijed prevelike širine gornjih zuba. U prvom slučaju, redukovani su incizalni stepenik i dubina preklopa, a u drugom su povećane dubina preklopa i incizalni stepenik.

Posljedna analiza koja je rađena na gipsanim studijskim modelima je Lundstromova segmentna analiza. Lundstrom je 1948. godine definisao da se raspoloživi prostor mjeri prema segmentima. Segmenti se definišu kao ravne linije koje spajaju zube u grupe, počevši od prvog stalnog molara do centralnog sjekutića (slika 19).



Slika 19. Mjerenje meziodistalne širine segmenata zuba

Postupak analize je bio sljedeći:

1. Izmjerena je meziodistalan promjera stalnih zuba u gornjoj vilici (sjekutići, očnjaci, pretkutnjaci i prvi stalni molar). Zbir izmjerenih vrijednosti predstavlja je vrijednost prostora koji je potreban za smještaj tih zuba u određeni segment u gornjoj vilici.
2. Segmenti su mjereni pomoću digitalnog šestara i dobijene vrijednosti su upisane u tablicu i predstavljale su vrijednosti raspoloživog prostora segmenta.
3. Na isti način izvršeno je mjerjenje međio-distalnih promjera stalnih zuba u donjoj vilici, kao i mjerjenje segmenata i dobiveni su podaci o raspoloživom prostoru u segmentima donje vilice.
4. Razlika između vrijednosti raspoloživog i potrebnog prostora može biti pozitivna kada se radi o višku prostora, ili negativna kada se radi o nedostatku prostora za smještaj zuba u određenom segmentu.

4.2. Druga faza

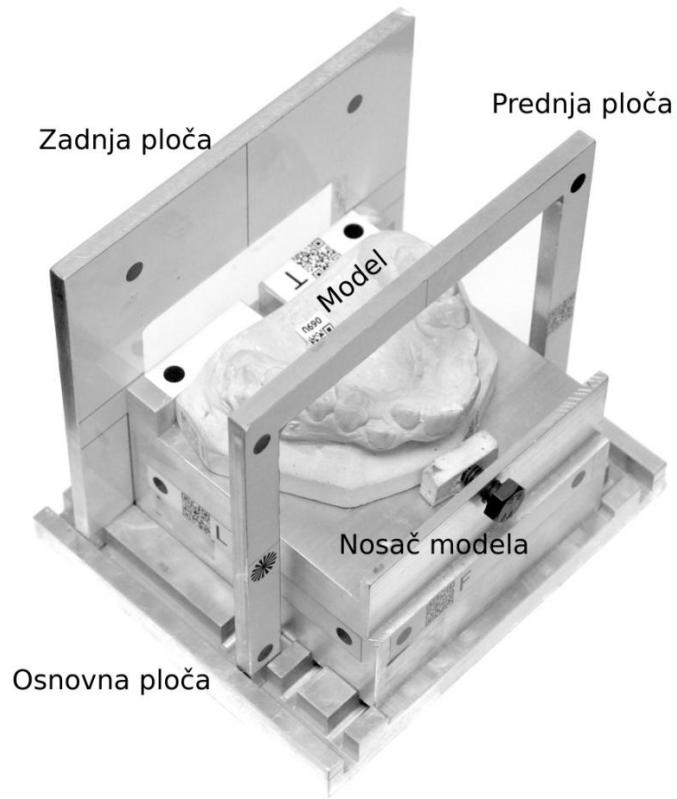
U drugoj fazi istraživanja studijski modeli su fotografisani za fotogrametrijsko mjerjenje. Gipsani studijski modeli su fotografisani sa anteriorne, lijeve i desne bukalne strane, te gornje, odnosno donje okluzalne strane. Modeli su fotografisani u pozicioneru koji je omogućavao jednostavno fiksiranje modela u potrebnim položajima. Pozicioner je sadržavao skup markera za određivanje neophodnih parametara za računanje stvarnih vrijednosti mjereneh veličina.

Program je na osnovu skupa od četiri fotografije omogućavao vršenje niza predefinisanih mjerena na izlazu, dajući vrijednosti u milimetrima. Program je u obzir uzimao i efekat perspektive koji je prisutan pri transformaciji trodimenzionalnog objekta u dvodimenzionalnu fotografiju, a koji je pri tome uticao na tačnost mjerena. Za automatizaciju rada korišteni su QR kodovi za označavanje strana pozicionera, identifikaciju fotografisanog modela, te za parametre sistema [80].

Fotografisanje je vršeno upotrebom digitalnog aparata na koji je bio postavljen objektiv odgovarajuće žižne daljine. Fotografisanje je vršeno sa udaljenosti od približno 120 cm. Aparat je precizno pozicioniran upotrebom makro šina pod pravim uglom na ravan markera, dok je za izvor svjetla korišteno blago osvjetljenje definisano na takav način da je ravnomjerno osvjetljavalo model i pozicioner, ali da je bila prisutna i dovoljna količina sjenki i kontrasta na fotografijama da bi bilo moguće jednostavno lokalizovati željene tačke. Da bi mjerjenje bilo prihvatljivo i tačno, napravljen je mjerni uređaj koji se sastojao od postolja i nosača modela, a mjerena su vršena na osnovu skupa od četiri fotografije za svaki model. Postolje je fiksirano na stabilnu površinu i nije se kretalo u odnosu na aparat tokom fotografisanja. Sastojalo se od osnovne ploče (koja je povezana na površinu pomoću dva zavrtnja), zadnje ploče i prednje ploče. Na osnovnoj ploči se nalazio niz ureza i vodilja koji je omogućavao fleksibilno pozicioniranje zadnje i prednje ploče, kao i stabilno pozicioniranje držača modela. I zadnja i prednja ploča sadrže i linije vodilje koje su omogućavale pravilno pozicioniranje kamere. Modeli su bili fiksirani na nosač modela pomoću jednog zavrtnja sa mekanom gumenom podlogom kako bi se izbjeglo oštećenje modela.

Model nosača je imao QR kod i oznaku slova na svakoj od četiri strane namijenjene fotografisanju: T-gornja, F-frontalna, R-desna i L-ljeva. Svaki model je sadržavao i QR marker

pomoću kojeg je model identifikovan i koji je omogućavao jednostavnu i automatsku proceduru analize i klasifikacije u procesu obrade fotografije (slika 20).



Slika 20. Model nosača za fotografisanje studijskih modela

Nakon fotografisanja studijskih modela, što je prikazano na slici 21, fotografije su obrađene i parametri fotoaparata su izračunati pomoću namjenski razvijenog softvera.



Slika 21. Fotografisanje studijskog modela u nosaču

Obrada fotografija uključivala je nekoliko koraka:

1. Pretvaranje boje u sivu u cilju eliminisanja hromatskih aberacija [81].
2. Identifikovanje QR markera i tumačenje njihovog sadržaja korištenjem ZBar biblioteke [82].
3. Pronalaženje mjernih markera korišćenjem OpenCV biblioteke [83].
4. Izračunavanje rastojanja fotoaparata i perspektivnih parametara od detektovanih lokacija markera na zadnjoj i prednjoj ploči.
5. Slika se isjeca na upotrebljivu površinu koja je bila definisana centrima markera prednje ploče i koja je snimljena pod definisanim imenom u odgovarajući direktorijum slučaja. Svi izračunati parametri čuvani su kao JSON kodirani dokumenti unutar datoteke u EXIF polju. Na ovaj način je omogućena jednostavna i efikasnija razmjena i prenos dokumenata.

Jedan primjer potpuno obrađene slike prikazan je na slici 22.



Slika 22. Obradena slika fotografisanog studijskog modela

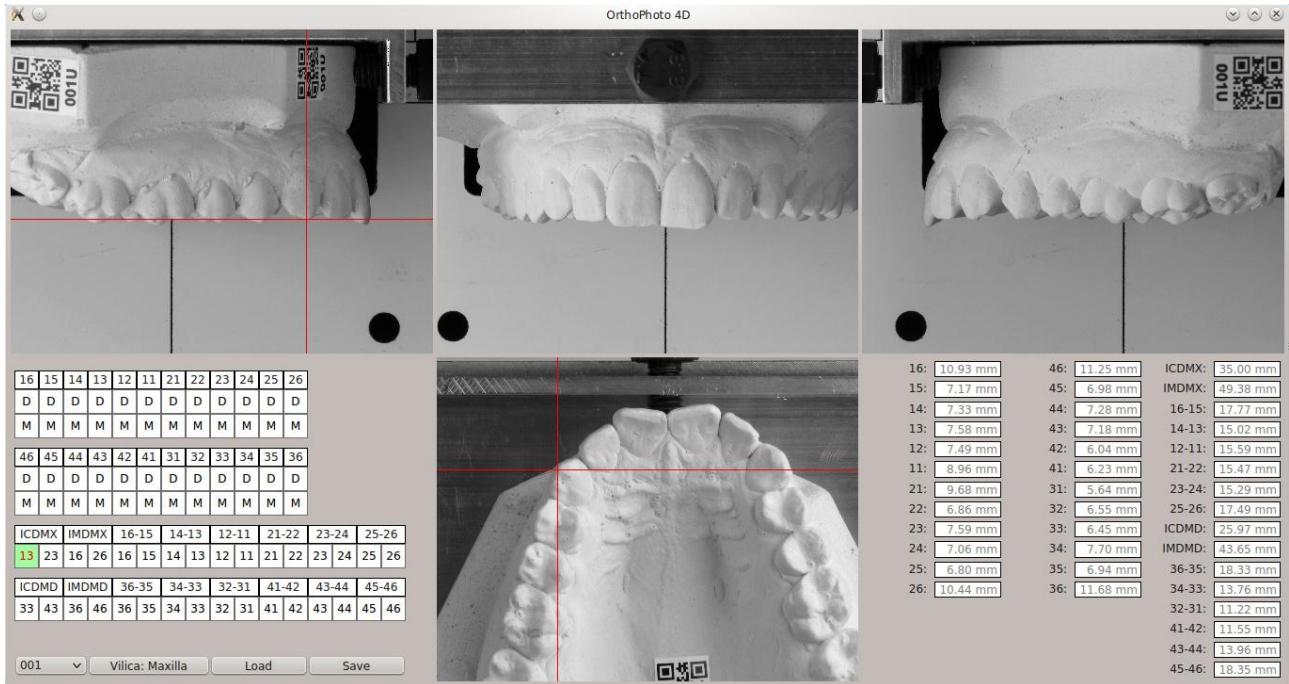
4.2.1. Proces mjerjenja u programu OrthoPhoto4D

Glavni ekran OrthoPhoto4D je bio podijeljen na šest glavnih komponenti postavljenih u mrežu sa tri kolone i dva reda. Prvi red sadržavao je slike koje prikazuju prednji i bočne prikaze, dok je gornji prikaz u srednjem dijelu drugog reda. Donja lijeva sekcija sadržavala je listu mogućih mjernih veličina omogućavajući operateru odabir mjerena individualne širine pojedinog zuba, širine segmenata od dva zuba, kao i interkanine i intermolarne širinu. Pošto se u jednom trenutku prikazivala samo maksila ili mandibula, slike modela su bile ažurirane kao odgovarajuće tek kada je korisnik izabrao željeno mjerjenje. U ovom odjeljku nalazila se i padajuća lista koja je omogućavala odabir modela koji se mjeri, kao i dugmad za snimanje ili ponovno učitavanje podataka mjerena. U donjem desnom dijelu nalazile su se izračunate mjerne vrijednosti.

Za svaku izmjerenu dužinu odabrane su veličina za mjerjenje i jedan od dva kraja, na primjer 16 i M. Prikazi su pomjerani i uvećavani sinhronizoavno, dok željene tačke nisu bile vidljive u bar dva prikaza. Odabir u bar dva prikaza je neophodan jer program zahtijeva 3D poziciju tačke, a izbor u samo jednoj slici ne bi dao dovoljno podataka.

Prva odabrana tačka je korištena kao osnova za izračunavanje, tako da je bilo potrebno odabrati i odgovarajuću poziciju na nedostajućoj osi na drugoj slici (u ovom slučaju samo vertikalni položaj). Po završetku procesa na oba kraja linije, softver izračunava rastojanje u 3D

prostoru i popunjava odgovarajuće polje u odjeljku mjereneh veličina. Sve završene mjere imale su pozadinu zelene boje, dok su trenutno izabrane tačke crvene ili narandžaste boje u zavisnosti od faze mjerjenja (slika 23).



Slika 23. Glavni ekran programa OrthoPhoto4D

4.2.2. Očekivana rezolucija mjerena

U slučaju korektno izvršenog fotografisanja na ranije opisan način, uz upotrebu fotoaparata sa senzorom od 20 megapiksela, dužina od 1 piksela predstavlja približno 0,033 mm i može se uzeti kao rastojanje između dvije susjedne tačke u idealnim uslovima. Kako u realnim uslovima postoje ograničenja i optičkog sistema i tehnike fotografisanja, realno je očekivati rezoluciju mjerena u granicama od 0,05 mm do 0,1 mm.

4.2.3. Softver za mjerjenje

Programska podrška radu operatera je predviđena u vidu namjenski razvijenog softvera koji je realizovan na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Banjoj Luci. Za osnovu je korištena Open CV (Open Source Computer Vision) biblioteka namijenjena za računarski vid i naprednu obradu slika.

Razvijeni softver omogućava sljedeće opcije:

- Uvoz serije fotografija studijskog modela.
- Određivanje pozicije tačaka u trodimenzionalnom prostoru i izračunavanje veličina uz korekciju mjerjenja.
- Pohranjivanje i učitavanje podataka generisanih mjerjenjem.

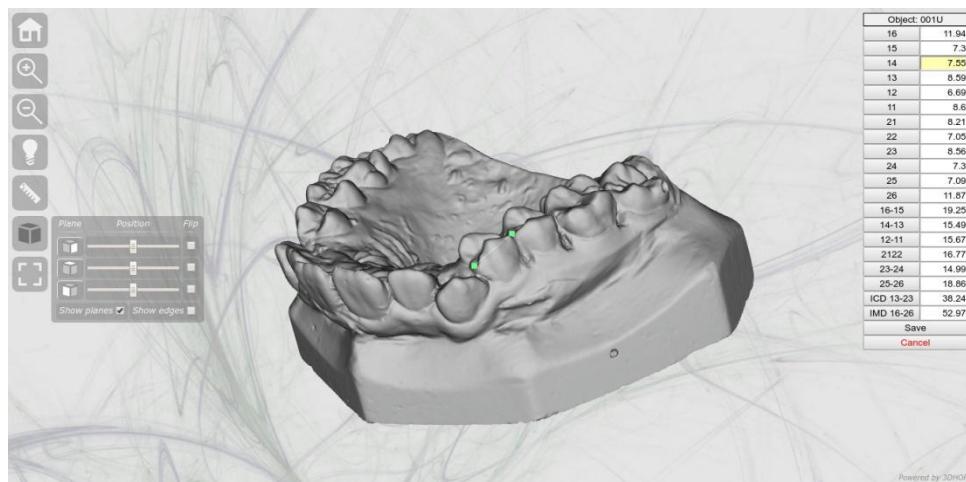
4.3. Treća faza

U trećoj fazi mjerjenja skenirani su studijski modeli i na njima su urađena ista mjerjenja kao i u prvoj i drugoj fazi istraživanja. Trodimenzionalno skeniranje studijskih modela urađeno je pomoću Steinbichler L3D 5M skenera (slika 24) i namjenski razvijenog OP4D softvera za veb bazirana mjerjenja 3D objekata. Riječ je o industrijskom 3D skeneru koji koristi plavi izvor strukturisanog svjetla: obasjava model svjetлом različitih uzoraka i snima sliku drugim pomjerenim objektivom te na osnovu pomjeranja (paralakse) računa trodimenzionalni model. Skener posjeduje računarski kontrolisano rotirajuće postolje. Za 75 mm objektive koji su postavljeni na skener ograničenja su skeniranje modela do 74 mm x 62 mm x 45 mm uz rezoluciju između skeniranih tačaka od 0,03 mm. Ova ograničenja omogućavaju vrlo kvalitetno skeniranje ortodontskih studijskih modela.

4.3.1. Program OP4D

Programski paket OP4D je kreiran sa ciljem da se ortodontima olakša proces mjerjenja digitalnih 3D modela. Osnovna karakteristika ovog sistema je da je veb baziran i da nije potrebna instalacija nikakvog posebnog softvera na računaru ortodonta, osim jednog od savremenih

programa za pristup vebu (Google Chrome, Mozilla Firefox, Apple Safari i slični). Imajući ovo u vidu, moguća je upotreba programa i sa mobilnih ili tablet uređaja uz napomenu da takav pristup nije pogodan za pravljenje preciznih mjerena, jer postoji velika razlika u preciznosti pri odabiru tačke upotrebom miša i ekrana osjetljivog na dodir. Program omogućava višekorisnički rad pri čemu svaki korisnik ima izolovane kopije podataka kojima drugi korisnici ne mogu pristupiti. Podržan je rad sa digitalnim modelima u PLY (Polygon File Format / Stanford Triangle Format) [84] i NXS (Nexus) [85] formatima. Osnovni korisnički interfejs je prikazan na slici 24.



Slika 24. Korisnički interfejs programa OP4D

4.3.2. Proces upotrebe programa OP4D

Prvi korak u praktičnoj upotrebi sistema je unošenje podataka o modelima u sistem, što je moguće na dva načina. Prvi način pri unosu podataka o modelu omogućava i postavljanje odgovarajućeg fajla koji će biti sačuvan na računaru koji servira veb aplikaciju. Na ovaj način je omogućen budući pristup i sa drugih uređaja, te izolacija podataka između korisnika.

Drugi način podrazumijeva da su digitalne reprezentacije objekata već prisutne na nekom eksternom serveru koji je podešen na takav način da nam omogući pristup iz ove veb aplikacije (CORS postavke [86]). Na ovaj način je omogućena upotreba programa i za mjerjenje modela za koje korisnici ne žele da se nalaze pod direktnom kontrolom programa iz nekog razloga (povjerljivost podataka, upotreba internet servera, dijeljeni pristup iz više različitih programa, itd.).

Korisnički interfejs za upravljanje objektima je prikazan na slici 25.

#	Name	Size	Url	Status	Description
1	001L	17883136	/OP4D2/mobject/get-file?id=5bf401ef90dc11e7a64c782bcbeb70ae&file=001Lnxs	Active	001L
2	001U	18250752	/OP4D2/mobject/get-file?id=5c02b11490dc11e7a64c782bcbeb70ae&file=001U.nxs	Active	001U
3	002L	15819520	/OP4D2/mobject/get-file?id=5c10c21990dc11e7a64c782bcbeb70ae&file=002Lnxs	Active	002L
4	002U	17793792	/OP4D2/mobject/get-file?id=5c30046090dc11e7a64c782bcbeb70ae&file=002U.nxs	Active	002U
5	003L	0	/op3d/models/003Lnxs	Active	003L
6	003U	0	/op3d/models/003U.nxs	Active	003U

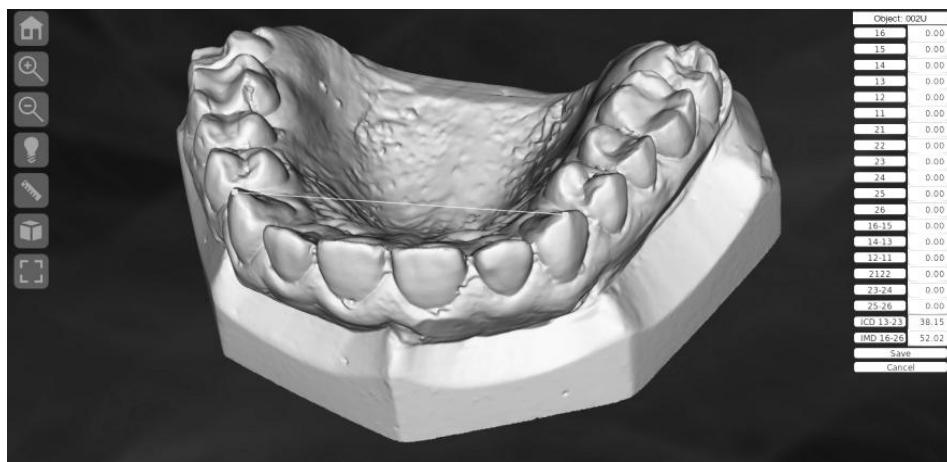
Slika 25. OP4D - Upravljanje objektima za mjerena

Sam proces mjerena podrazumijeva odabir objekta na kojem želimo da vršimo mjerena, kao i odgovarajuće vrste mjerena. Sistem je napravljen na takav način da je moguće izvršiti proizvoljan broj mjerena na svakom od objekata, bilo da su iste vrste ili različitih vrsta. Vršenje različitih vrsta mjerena omogućava da se na istom modelu vrši više analiza, dok višestruka mjerena iste vrste omogućavaju buduću obradu rezultata, bilo u vidu usrednjavanja dobijenih vrijednosti (npr. ukoliko mjerena vrši isti korisnik) ili analizu mjerena izvršenih od strane različitih operatera.

Osnovni dio aplikacije predstavlja sam podsistem za vršenje mjerena. Zasnovan je na upotrebi 3DHOP [87] sistema i koristi SpiderGL [88] biblioteku za ekranski prikaz. Kao što je ranije navedeno, sistem podržava PLY i NXS formate. Osnovna razlika je u činjenici da se PLY objekti učitavaju u jednom koraku, što znači da korisnik mora da čeka da se model kompletno učita prije nego što je moguć ikakav prikaz. Imajući u vidu da veličina fajlova koji predstavljaju 3D objekte može biti značajna, očigledno je da ovo može predstavljati problem u praktičnom radu u slučaju neadekvatne internet veze prema serveru. NXS format omogućava smještanje više verzija istog modela u isti fajl. Ove verzije predstavljaju kvalitativno sukcesivne iteracije modela koje se kreću od vrlo grubog modela, koji je moguće vrlo brzo prikazati korisniku, do modela pune rezolucije koji sadrži podatke istovjetne izvornom modelu.

Korisnički interfejs, koji je prikazan na slici 26, je podijeljen u tri osnovna dijela:

- Traka sa alatima za upravljenje 3D prikazom
 - Omogućava vraćanje na početnu poziciju, uvećavanje i umanjivanje prikaza objekta, pomijeranje izvora svjetla u sceni, alata za nezavisno mjerjenje udaljenosti, alata za prikaz poprečnih presjeka objekta, te povećanje prikaza na cijeli ekran.
- Prikaz 3D objekta
 - Osnovni dio interfejsa koji sadrži trenutno aktivni prikaz objekta
- Traka sa vrijednostima za mjerjenje
 - Generisana je na osnovu odabrane vrste mjerjenja i omogućava korisniku da odabere vrijednost za mjerjenje, da prikaže ranije izvršeno mjerjenje, te da izvrši snimanje izmјerenih vrijednosti ili da odustane od mjerjenja.



Slika 26. OP4D - Korisnički interfejs za mjerjenje objekta

Nakon izvršenog mjerjenja modela, podaci se čuvaju u bazi podataka i kodirani su upotreboom JSON formata [89]. Ovaj format omogućava veliku fleksibilnost jer ima dinamičnu

strukturu i podržava predstavljanje podataka u obliku, između ostalog, skalara, vektora, mapa, te drugih hijerarhijski organizovanih struktura. Za potrebe programa se, osim generičkih podataka o modelu, čuvaju podaci o svakoj mjerenoj veličini koji uključuju mjerenu udaljenost kao i pozicije tačaka na krajevima mjerene udaljenosti. Ovakav način čuvanja i predstavljanja podataka omogućava jednostavnu upotrebu u drugim programima za naprednu analizu ili integraciju sa drugim izvorima podataka.

4.4. Četvrta faza

U okviru ove faze će biti izvršena statistička analiza dobijenih rezultata mjerjenja, kao i provođenje uparenog t-testa. Rezultati analize će biti prikazani tabelarno i grafički, a na osnovu njih će biti izvedeni odgovarajući zaključci. U okviru ove faze će biti izvršena statistička analiza dobijenih rezultata mjerjenja, kao i provođenje uparenog t-testa. Rezultati analize će biti prikazani tabelarno i grafički, a na osnovu njih će biti izvedeni odgovarajući zaključci.

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Statističkom analizom obrađeni su rezultati svih mjerena izvedenih na gipsanim studijskim modelima, na 3D skeniranim modelima u OP4D veb aplikaciji i fotogrametrijskim mjerjenjima na fotografijama u aplikaciji OrthoPhoto4D. Ova analiza uključuje odstupanja za svaku mjerenu vrijednost, kao i srednju grešku i standartnu devijaciju za svaku mjerenu veličinu. Takođe smo izračunali Pirsonov koeficijent korelacije i izvršili upareni t-test. Rezultati ovih analiza prikazani su u tabelama i pratećem tekstu.

5.1. Analiza rezultata dobijenih mjerenjem direktno na gipsanim studijskim modelima i indirektno na 3D skeniranim modelima

U prvoj fazi ovog istraživanja mjerili smo i poredili rezultate dobijene ručno, tj. direktno na gipsanim studijskim modelima i indirektno na 3D skeniranim modelima. Dobijeni rezultati ove grupe istraživanja prikazani su u tabelama 1-12.

5.1.1. Rezultati meziodistalne širine pojedinačnih zuba mjerenih ručno na gipsanim studijskim modelima i na 3D skeniranim modelima

Tabela 1. Analiza rezultata meziodistalne širine zuba (ŠZ) gornjeg desnog kvadranta mjerenih direktno na gipsanim studijskim modelima i indirektno na 3D modelima

3D-Ručno	ŠZ 16	ŠZ 15	ŠZ 14	ŠZ 13	ŠZ 12	ŠZ 11	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	0,3172	0,3852	0,2974	0,1454	0,3404	0,3724	0,3097
St. devijacija	0,1989	0,1696	0,1656	0,1736	0,1166	0,2182	0,1737
Korelacija	0,9799	0,9412	0,9315	0,9581	0,9845	0,9513	0,9578
T	11,1635	15,9006	12,5740	5,8617	20,4325	11,9490	
p	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	

U tabeli 1 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima meziodistalne širine zuba gornjeg desnog kvadranta mjerenih direktno na gipsanim studijskim modelima i indirektno na skeniranim 3D modelima. Srednja vrijednost greške je između 0,1454 mm i 0,3852 mm, dok je srednja vrijednost odstupanja za sve širine bila 0,3097 mm. Standarna devijacija je iznosila od

0,1166 mm do 0,2182 mm i u ovoj grupi mjerena je imala prosječnu vrijednost od 0,1737 mm. Koeficijent korelacije je u svim posmatranim slučajevima bio manji od 1 i srednja vrijednost je iznosila 0,9578. Rezultati uparenog t-testa daju vrijednosti p ispod 0,05.

Tabela 2. Analiza rezultata meziostalne širine zuba (ŠZ) gornjeg lijevog kvadranta mjerene direktno na modelima i indirektno na 3D modelima

3D-Ručno	ŠZ 21	ŠZ 22	ŠZ 23	ŠZ 24	ŠZ 25	ŠZ 26	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	-0,0204	0,2164	0,3198	0,2836	0,2752	0,2218	0,2161
St. devijacija	0,1409	0,1441	0,1693	0,2046	0,1572	0,2602	0,1794
Korelacija	0,9794	0,9601	0,9437	0,9146	0,9447	0,9587	0,9502
T	1,0135	10,5085	13,2265	9,7012	12,2572	5,9663	
p	0,3158	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	

U tabeli 2 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima meziostalne širine zuba gornjeg lijevog kvadranta mjerene direktno na gipsanim studijskim modelima i indirektno na skeniranim 3D modelima. Srednja vrijednost odstupanja bila je 0,2161 mm. Standarna devijacija iznosila je od 0,1409 mm do 0,2602 mm i prosječna vrijednost je bila 0,1794 mm. Koeficijent korelacije je bio manji od 1 za sve slučajeve, i srednja vrijednost je iznosila 0,9502. Rezultati upranoj t-testa daju vrijednosti p ispod 0,05, osim u slučaju širine zuba 21 kod kojeg je zabilježeno i najmanje mjerno odstupanje od 0,3158.

Tabela 3. Analiza rezultata meziostalne širine zuba (ŠZ) donjeg lijevog kvadranta mjerene direktno na gipsanim studijskim modelima i indirektno na 3D modelima

3D-Ručno	ŠZ 36	ŠZ 35	ŠZ 34	ŠZ 33	ŠZ 32	ŠZ 31	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	0,4466	0,3058	0,1120	0,4694	0,0602	0,2990	0,2822
St. devijacija	0,1839	0,1879	0,1856	0,2299	0,1791	0,1660	0,1887
Korelacija	0,9686	0,9430	0,9303	0,9503	0,9453	0,9350	0,9454
T	17,0037	11,3906	4,2248	14,2907	2,3525	12,6100	
p	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0227	0,0000	

U tabeli 3 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima meziostalne širine zuba donjeg lijevog kvadranta mjerene direktno na gipsanim studijskim modelima i indirektno na skeniranim 3D modelima. Srednje vrijednosti greške iznosile su između 0,0602 mm i 0,4694 mm, i srednja vrijednost odstupanja za sve zube iznosila je 0,2822 mm. Standardna devijacija je bila između 0,1660 mm i 0,1879 mm, dok je prosječna vrijednost za sve mjerene vrijednosti

iznosila 0,1887 mm. Koeficijent korelacije je bio manji od 1 u svim posmatranim slučajevima, a srednja vrijednost je iznosila 0,9454. Rezultati t-testa daju vrijednosti p ispod 0,05 za sve mjerene vrijednosti.

Tabela 4. Analiza rezultata meziostalne širine zuba (ŠZ) donjeg desnog kvadranta mjerene direktno na gipsanim studijskim modelima i indirektno na 3D modelima

3D-Ručno	ŠZ 41	ŠZ 42	ŠZ 43	ŠZ 44	ŠZ 45	ŠZ 46	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	0,2444	0,1878	0,1570	0,1786	0,4402	0,2146	0,2371
St. devijacija	0,1965	0,1795	0,2099	0,2231	0,1336	0,1729	0,1859
Korelacija	0,9182	0,9510	0,9501	0,8972	0,9774	0,9714	0,9442
T	8,7077	7,3227	5,2364	5,6045	23,0663	8,6862	
p	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	

U tabeli 4 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima meziostalne širine zuba donjeg desnog kvadranta mjerene direktno na gipsanim studijskim modelima i indirektno na skeniranim 3D modelima. Srednje vrijednosti greške u ovoj grupi mjerena iznosile su između 0,1570 mm i 0,4402 mm sa srednjom vrijednosti odstupanja od 0,2371 mm. Standardna devijacija iznosila je od 0,1336 mm do 0,2231 mm i njena prosječna vrijednost je bila 0,1859 mm. Koeficijent korelacije bio je manji od 1, a u prosjeku je iznosio 0,9442. Rezultati uparenog t-testa daju vrijednosti p ispod 0,05 za sve posmatrane vrijednosti.

Kao što se vidi iz dobijenih podataka, srednja vrijednost greške po kvadrantima u ovoj grupi mjerena je ispod 0,31 mm. Standardna devijacija greške je do 0,22 mm, a korelacija je bila blizu 1 u svim slučajevima. Rezultati t-testa pokazuju da je vrijednost p bila ispod 0,005 u svim slučajevima osim kod mjerena širine jednog zuba kod kojeg je zabilježeno prosječno odstupanje mjerena od 0,3158 mm.

5.1.2. Rezultati mjerjenja meziodistalne širine segmenata zuba mjerene na gipsanim modelima i na 3D skeniranim modelima

Tabela 5. Analiza rezultata meziodistalne širine zuba gornjeg desnog i lijevog kvadranta mjerene direktno na modelima i indirektno na 3D modelima

3D-Ručno	ŠS 16 15	ŠS 14 13	ŠS 12 11	ŠS 21 22	ŠS 23 24	ŠS 25 26	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	0.3738	0.1096	0.3346	0.1486	0.1966	0.3192	0.2471
St. devijacija	0.0953	0.1477	0.1204	0.2135	0.0824	0.1760	0.1392
Korelacija	0.9971	0.9910	0.9940	0.9886	0.9971	0.9907	0.9931
T	27.4542	5.1938	19.4584	4.8716	16.7055	12.6964	
p	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

U tabeli 5 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima meziodistalne širine segmenata zuba gornjeg desnog i lijevog kvadranta mjerene direktno na gipsanim studijskim modelima i indirektno na skeniranim 3D modelima. Srednje vrijednosti greške iznosile su između 0,1096 mm i 0,3738 mm, dok je srednja vrijednost odstupanja za sve posmatrane širine bila 0,2471 mm. Srednja vrijednost standarde devijacije iznosila je između 0,0824 mm i 0,2135 mm, i prosječna vrijednost je bila 0,1392 mm. Koeficijent korelacije je bio manji od 1 za sve slučajeve, sa srednjom vrijednošću 0,9931. Rezultati upravnog t-testa daju vrijednosti p ispod 0,05 za sve mjerene širine.

Tabela 6. Analiza rezultata meziodistalne širine zuba donjeg desnog i lijevog kvadranta mjerene direktno na modelima i indirektno na 3D modelima

3D-Ručno	ŠS 36 35	ŠS 34 33	ŠS 32 31	ŠS 41 42	ŠS 43 44	ŠS 45 46	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	0.2442	0.3712	0.3648	0.2458	0.4580	0.3104	0.3324
St. devijacija	0.1008	0.0865	0.2140	0.2113	0.1197	0.1937	0.1543
Korelacija	0.9971	0.9959	0.9723	0.9757	0.9935	0.9850	0.9866
T	16.9652	30.0548	11.9331	8.1425	26.7725	11.2197	
p	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

U tabeli 6 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima meziodistalne širine segmenata zuba donjeg desnog i lijevog kvadranta mjerene direktno na gipsanim studijskim modelima i indirektno na skeniranim 3D modelima. Srednje vrijednosti greške iznosile su između 0,2442 mm i 0,4580 mm, dok je srednja vrijednost odstupanja za sve posmatrane širine bila 0,3324 mm. Standardna devijacija iznosila je između 0,0865 mm i 0,2140 mm sa

prosječnom vrijednošću od 0,1543 mm. Koeficijent korelaciјe bio je manji od 1 za sve slučajeve i srednja vrijednost je iznosila 0,9866. Rezultati upranoг t-testa daju vrijednosti p ispod 0,05 za sve širine.

Iako su mjere u drugoj grupi bile približno dvostruko veće od širine pojedinačnih zuba, srednja odstupanja u mjerjenjima su bila i dalje oko 0,3 mm. Standardna devijacija je ispod 0,2 mm. Korelacija je bila vrlo blizu 1 sa najmanjom vrijednošću od 0,9723. Rezultati uparenog t-testa su davali vrijednosti ispod 0,05 u svim posmatranim slučajevima.

5.1.3. Rezultati mjerena interkanine i intermolarne širine u gornjoj i donjoj vilici na gipsanim modelima i na 3D skeniranim modelima

Tabela 7. Analiza rezultata mjerena interkanine (ICD) i intermolarne (IMD) širine u gornjoj i donjoj vilici mjerene direktno na modelima i indirektno na 3D modelima

3D-Ručno	ICD 13 23	ICD 33 43	IMD 16 26	IMD 36 46	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	0,4096	0,2836	0,3110	0,5362	0,3851
St. devijacija	0,2434	0,1542	0,1830	0,1642	0,1862
Korelacija	0,9952	0,9971	0,9989	0,9985	0,9974
T	11,7794	12,8738	11,8948	22,8562	
p	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	

U tabeli 7 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima interkanine i intermolarne širine u gornjoj i donjoj vilici mjerene direktno na gipsanim studijskim modelima i indirektno na skeniranim 3D modelima. Srednje vrijednosti greške za mjerena u ovoj grupi iznosile su između 0,2836 mm i 0,5362 mm, a prosječna vrijednost odstupanja je iznosila 0,3851 mm. Standardna devijacija kretala se između 0,1542 mm i 0,2434 mm, a prosječna vrijednost je bila od 0,1862 mm. Koeficijent korelaciјe je bio manji od 1 sa srednjom vrijednošću od 0,9974. Za sve posmatrane parametre upareni t-test je dao vrijednost p manju od zadanih 0,05.

5.1.4. Rezultati Lundstromove analize u gornjoj i donjoj vilici na gipsanim modelima i na 3D skeniranim modelima

Tabela 8. Analiza rezultata Lundstromove analize po segmentima u gornjoj vilici direktno na modelima i indirektno na 3D modelima

3D-Ručno	Lund. 16 15	Lund. 14 13	Lund. 12 11	Lund. 21 22	Lund. 23 24	Lund. 25 26	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	-0,3286	-0,3332	-0,3782	-0,0474	-0,4068	-0,1778	-0,2787
St. devijacija	0,2777	0,3261	0,2946	0,2975	0,2968	0,3822	0,3125
Korelacija	0,9481	0,9366	0,9590	0,9685	0,9621	0,9429	0,9529
T	8,2829	7,1535	8,9868	1,1151	9,5959	3,2563	
p	0,0000	0,0000	0,0000	0,2702	0,0000	0,0021	

U tabeli 8 prikazana je srednja vrijednost odstupanja u rezultatima Lundstromove analize po segmentima u gornjoj vilici mjerene direktno na gipsanim studijskim modelima i indirektno na skeniranim 3D modelima. Srednje vrijednosti greške po segmentima iznosile su između 0,0474 mm i 0,3782 mm, a srednja vrijednost odstupanja je bila 0,2787 mm. Vrijednost standardne devijacije za ovu vrstu mjerjenja iznosila je između 0,2777 mm i 0,3822 mm i prosječna vrijednost je bila 0,3125 mm. Koeficijent korelacije ima vrijednosti manje od 1 sa prosječnom vrijednošću od 0,9529. Upareni t-test pokazao je vrijednosti p manje od 0,05, osim u slučaju segmenta 21 22.

Tabela 9. Analiza rezultata Lundstromove analize po segmentima u donjoj vilici direktno na modelima i indirektno na 3D modelima

3D-Ručno	Lund. 36 35	Lund. 34 33	Lund. 32 31	Lund. 41 42	Lund. 43 44	Lund. 45 46	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	-0,5082	-0,2102	0,0056	-0,1864	0,1224	-0,3444	-0,1869
St. devijacija	0,2748	0,3139	0,3259	0,3572	0,3257	0,2894	0,3145
Korelacija	0,9682	0,9596	0,9321	0,9337	0,9641	0,9404	0,9497
T	12,9451	4,6880	0,1203	3,6530	2,6309	8,3299	
p	0,0000	0,0000	0,9048	0,0006	0,0114	0,0000	

U tabeli 9 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima Lundstromove analize po segmentima u donjoj vilici mjerene direktno na gipsanim studijskim modelima i indirektno na skeniranim 3D modelima. U donjoj vilici je srednja vrijednost greške po segmentima iznosila između 0,0056 mm i 0,5082 mm, sa srednjom vrijednošću odstupanja od 0,1869 mm. Vrijednosti

standardne devijacije iznosile su između 0,2748 mm i 0,3572 mm, sa prosječnom vrijednošću od 0,3145 mm. Koeficijent korelacijske za donju vilicu po segmentima imao je vrijednost manju od 1 i prosječna vrijednost bila je 0,9497. Upareni t-test pokazao je vrijednosti p manje od 0,05, osim u slučaju segmenta 32 31.

Tabela 10. Analiza rezultata Lundstromove analize za cijelu gornju vilicu mjerenu direktno na modelima i indirektno na 3D modelima

3D-Ručno	Lund. Maksila
Sr. odstupanje	-1,6720
St. devijacija	0,7247
Korelacija	0,9807
T	16,1510
p	0,0000

Posmatrajući vrijednosti u tabeli 10 za Lundstromovu analizu u kompletnoj gornjoj vilici, možemo vidjeti da nisu pronađene statistički značajna razlike, jer su vrijednosti srednjeg odstupanja i standardne devijacije iznosile 1,6720 mm i 0,7247 mm, dok je koeficijent korelacijski bio manji od 1 i iznosi je 0,9807. Upareni t-test je pokazao vrijednost p manju od 0,05.

Tabela 11. Analiza rezultata Lundstromove analize za cijelu donju vilicu mjerenu direktno na modelima i indirektno na 3D modelima

3D-Ručno	Lund. Mandibula
Sr. odstupanje	-1,1212
St. devijacija	0,7740
Korelacija	0,9832
T	10,1395
p	0,0000

U tabeli 11 prikazane su vrijednosti Lundstromove analize za cijelu donju vilicu. Ni u ovoj grupi nisu pronađene statistički značajne razlike, jer je srednje odstupanje na nivou donje vilice iznosilo 1,1212 mm uz standardnu devijaciju od 0,7740 mm. Koeficijent korelacijski je manji od 1 i iznosio je 0,9832. Upareni t-test je pokazao p vrijednost manju od 0,05.

5.1.5. Rezultati Boltonove analize u gornjoj i donjoj vilici na gipsanim modelima i na 3D skeniranim modelima

Tabela 12. Analiza rezultata u donjoj vilici Boltonove analize direktno na modelima i indirektno na 3D modelima

3D-Ručno	Bolton
Sr. odstupanje	0,2024
St. devijacija	0,9192
Korelacija	0,9581
T	1,5416
p	0,1296

U tabeli 12 prikazane su vrijednosti Boltonove analize mjerene direktno na gipsanim studijskim modelima i indirektno na 3D modelima. Srednja vrijednost odstupanja u ovoj grupi mjerjenja iznosila je 0,2024 mm uz standardnu devijaciju od 0,9192 mm. Korelacija je bila blizu 1 i iznosila je 0,9581. U ovoj grupi mjerjenja, upareni t-test pokazao je p vrijednost od 0,1296.

5.2. Analiza rezultata dobijenih mjeranjem indirektno na 3D skeniranim modelima i na fotografijama dobijenim u aplikaciji OrthoPhoto4D

U drugoj fazi ovog istraživanja mjerili smo i poredili rezultate dobijene indirektno na 3D skeniranim modelima i na fotografijama studijskih modela u aplikaciji OrthoPhoto. Dobijeni rezultati ove grupe istraživanja prikazani su u tabelama 13-24.

5.2.1. Rezultati meziostalne širine pojedinačnih zuba na 3D skeniranim modelima i na fotografijama OrthoPhoto4D

I u ovoj grupi istraživanja, prvo smo izvršili statističku analizu na mjerjenjima meziostalnih širina pojedinačnih zuba, mjeranjem prvih šest zuba u svakom kvadrantu. Rezultati ovih mjerjenja su prikazani u tabelama 13-16.

Tabela 13. Analiza rezultata meziodistalne širine zuba gornjeg desnog kvadranta mjereneh indirektno na 3D skeniranim modelima i na fotografijama dobijenim u aplikaciji OrthoPhoto4D

3D-OP4D	ŠZ 16	ŠZ 15	ŠZ 14	ŠZ 13	ŠZ 12	ŠZ 11	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	0.1786	0.1742	0.1764	0.1718	0.2034	0.2056	0.1850
St. devijacija	0.0846	0.0536	0.0782	0.0712	0.0738	0.0812	0.0738
Korelacija	0.9959	0.9934	0.9852	0.9926	0.9927	0.9919	0.9919
T	14.7748	22.7682	15.7957	16.8816	19.2856	17.7198	
p	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

U tabeli 13 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima meziodistalne širine zuba gornjeg desnog kvadranta na skeniranim 3D modelima i na fotografijama istih studijskih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D. Iz tabele se vidi da su srednje vrijednosti greške iznosile između 0,1718 mm i 0,2056 mm, a srednja vrijednost odstupanja je bila 0,1850 mm. Standarna devijacija greške je imala vrijednosti od 0,0536 mm do 0,0846 mm, sa prosječnom vrijednošću od 0,0738 mm. Korelacija je blizu 1 i u ovoj grupi mjerena njena srednja vrijednost je bila 0,9919. Rezultati uparenog t-testa su davali vrijednosti p ispod 0,05 u svim posmatrаниm slučajevima.

Tabela 14. Analiza rezultata meziodistalne širine zuba gornjeg lijevog kvadranta mjereneh indirektno na 3D skeniranim modelima i na fotografijama dobijenim u aplikaciji OrthoPhoto4D

3D-OP4D	ŠZ 21	ŠZ 22	ŠZ 23	ŠZ 24	ŠZ 25	ŠZ 26	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	0.1778	0.1548	0.1998	0.1006	0.1314	0.2110	0.1626
St. devijacija	0.0633	0.0457	0.0930	0.1050	0.0816	0.0830	0.0786
Korelacija	0.9959	0.9963	0.9838	0.9737	0.9859	0.9956	0.9885
T	19.6662	23.7085	15.0309	6.7040	11.2742	17.8003	
p	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

U tabeli 14 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima meziodistalne širine zuba gornjeg lijevog kvadranta na skeniranim 3D modelima i na fotografijama istih studijskih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D. Iz tabele se vidi da su srednje vrijednosti greške iznosile između 0,1006 mm i 0,2110 mm, a srednja vrijednost odstupanja je bila 0,1626 mm. Standarna devijacija greške je imala vrijednosti od 0,0457 mm do 0,1050 mm, sa prosječnom vrijednošću od 0,0786 mm. Korelacija je bila blizu 1 sa srednjom vrijednošću 0,9885. Rezultati uparenog t-testa su davali p vrijednosti ispod 0,05 u svim posmatranim slučajevima.

Tabela 15. Analiza rezultata meziostalne širine zuba donjeg lijevog kvadranta mjerene indirektno na 3D skeniranim modelima i na fotografijama dobijenim u aplikaciji OrthoPhoto4D

3D-OP4D	ŠZ 36	ŠZ 35	ŠZ 34	ŠZ 33	ŠZ 32	ŠZ 31	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	0.1954	0.1960	0.1848	0.2090	0.1284	0.0984	0.1687
St. devijacija	0.0954	0.0689	0.0782	0.0867	0.0749	0.0606	0.0775
Korelacija	0.9918	0.9902	0.9871	0.9930	0.9900	0.9915	0.9906
T	14.3315	19.9113	16.5345	16.8786	12.0049	11.3709	
p	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

U tabeli 15 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima meziostalne širine zuba donjeg lijevog kvadranta na skeniranim 3D modelima i na fotografijama istih studijskih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D. Iz tabele se vidi da su srednje vrijednosti greške iznosile između 0,0984 mm i 0,2090 mm, a srednja vrijednost odstupanja je bila 0,1687 mm. Standarna devijacija greške je imala vrijednosti od 0,0606 mm do 0,0954 mm, sa prosječnom vrijednošću od 0,0775 mm. Korelacija je bila blizu 1 za sva mjerena i srednja vrijednost je bila 0,9906. Rezultati uparenog t-testa su davali p vrijednosti ispod 0,05 u svim posmatranim slučajevima.

Tabela 16. Analiza rezultata meziostalne širine zuba donjeg desnog kvadranta mjerene indirektno na 3D skeniranim modelima i na fotografijama dobijenim u aplikaciji OrthoPhoto4D

3D-OP4D	ŠZ 41	ŠZ 42	ŠZ 43	ŠZ 44	ŠZ 45	ŠZ 46	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	0.0978	0.1478	0.1222	0.1256	0.2566	0.2204	0.1617
St. devijacija	0.0734	0.0800	0.0896	0.0995	0.0682	0.0597	0.0784
Korelacija	0.9887	0.9902	0.9908	0.9743	0.9938	0.9962	0.9890
T	9.3221	12.9313	9.5487	8.8396	26.3282	25.8435	
p	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

U tabeli 16 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima meziostalne širine zuba donjeg desnog kvadranta na skeniranim 3D modelima i na fotografijama istih studijskih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D. Iz tabele se vidi da su srednje vrijednosti greške iznosile između 0,0978 mm i 0,2566 mm, i srednja vrijednost odstupanja je bila 0,1617 mm. Standarna devijacija greške je imala vrijednosti od 0,0597 mm do 0,0995 mm, sa prosječnom vrijednošću od 0,0784 mm. Korelacija je bila blizu 1 i srednja vrijednost iznosila je 0,9890 mm. Rezultati uparenog t-testa su davali p vrijednosti ispod 0,05 u svim posmatranim slučajevima.

5.2.2. Rezultati meziodistalne širine segmenata zuba mjereneh indirektno na 3D skeniranim modelima i na fotografijama dobijenim u aplikaciji OrthoPhoto4D

Tabela 17. Analiza rezultata meziodistalne širine segmenata zuba gornjeg desnog i lijevog kvadranta mjereneh indirektno na 3D skeniranim modelima i na fotografijama dobijenim u aplikaciji OrthoPhoto4D

3D-OP4D	ŠS 16 15	ŠS 14 13	ŠS 12 11	ŠS 21 22	ŠS 23 24	ŠS 25 26	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	0.2234	0.2688	0.1748	0.1542	0.2324	0.2108	0.2107
St. devijacija	0.0622	0.0781	0.0487	0.0601	0.0563	0.0914	0.0661
Korelacija	0.9987	0.9974	0.9990	0.9991	0.9986	0.9976	0.9984
T	25.1493	24.0864	25.1397	17.9592	28.8927	16.1431	
p	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

U tabeli 17 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima mezdostalne širine segmenata zuba gornjeg desnog i lijevog kvadranta mjereneh na skeniranim 3D modelima i na fotografijama istih studijskih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D. Iz tabele se vidi da su srednje vrijednosti greške iznosile između 0,1542 mm i 0,2688 mm, i srednja vrijednost odstupanja je iznosila 0,2170 mm. Standarna devijacija greške je imala vrijednosti od 0,0487 mm do 0,0914 mm, sa prosječnom vrijednošću 0,0661 mm. Srednja vrijednost korelacija za mjerena u ovoj grupi je bila blizu 1 sa srednjom vrijednošću od 0,9984. Rezultati uparenog t-testa su davali vrijednosti ispod 0,05 u svim posmatranim slučajevima.

Tabela 18. Analiza rezultata mezdostalne širine segmenata zuba donjeg desnog i lijevog kvadranta zuba mjereneh indirektno na 3D skeniranim modelima i na fotografijama dobijenim u aplikaciji Orthophoto4D

3D-OP4D	ŠS 36 35	ŠS 34 33	ŠS 32 31	ŠS 41 42	ŠS 43 44	ŠS 45 46	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	0.1544	0.2174	0.1782	0.1772	0.2390	0.2116	0.1963
St. devijacija	0.0615	0.0455	0.0775	0.0586	0.0578	0.0801	0.0635
Korelacija	0.9990	0.9989	0.9964	0.9980	0.9985	0.9972	0.9980
T	17.5870	33.4382	16.1055	21.1851	28.9613	18.4898	
p	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

U tabeli 18 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima mezdostalne širine segmenata zuba donjeg desnog i lijevog kvadranta mjereneh na skeniranim 3D modelima i na fotografijama istih studijskih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D. Iz tabele se vidi da su srednje vrijednosti greške bila između 0,1544 mm i 0,2390 mm, i srednja vrijednost odstupanja je iznosila 0,1963 mm. Standarna devijacija greške je imala vrijednosti od 0,0455 mm do 0,0801

mm, sa prosječnom vrijednošću 0,0635 mm. Korelacija za mjerena u ovoj grupi je bila blizu 1 sa srednjom vrijednošću od 0,9980. Rezultati uparenog t-testa pokazali su p vrijednosti ispod 0,05 u svim posmatranim slučajevima.

5.2.3. Rezultati interkanine i intermolarne širine u gornjoj i donjoj vilici mjerene na 3D skeniranim modelima i na fotografijama OrthoPhoto4D

Tabela 19. Analiza rezultata interkanine i intermolarne širine u gornjoj i donjoj vilici mjerene na 3D skeniranim modelima i na fotografijama OrthoPhoto4D

3D-OP4D	ICD 13 23	ICD 33 43	IMD 16 26	IMD 36 46	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	0.2804	0.2904	0.2556	0.2700	0.2741
St. devijacija	0.0915	0.0936	0.0764	0.0857	0.0868
Korelacija	0.9993	0.9990	0.9998	0.9996	0.9994
T	21.4416	21.7094	23.4115	22.0544	
p	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

U tabeli 19 prikazani su rezultati analize rezultata mjerena interkanine i intermolarne širine na 3D skeniranim modelima i na fotografijama istih modela dobijenih u aplikaciji OrthoPhoto4D. Iz tabele se vidi da su srednje vrijednosti greške iznosile između 0,2556 mm i 0,2904 mm, a srednja vrijednost odstupanja je bila 0,2741 mm. Standarna devijacija greške je imala vrijednosti od 0,0764 mm do 0,0936 mm, sa prosječnom vrijednošću 0,0868 mm. Korelacija za sva mjerena u ovoj grupi je bila blizu 1 sa srednjom vrijednošću od 0,9994. Rezultati uparenog t-testa su davali p vrijednosti ispod 0,05 u svim posmatranim slučajevima.

5.2.4. Rezultati Lundstromove analize u gornjoj i donjoj vilici na 3D skeniranim modelima i na fotografijama OrthoPhoto4D

Tabela 20. Analiza rezultata Lundstromove analize u gornjoj vilici za pojedinačne segmente mjerene na 3D skeniranim modelima i na fotografijama OrthoPhoto4D

3D-OP4D	Lund. 16 15	Lund. 14 13	Lund. 12 11	Lund. 21 22	Lund. 23 24	Lund. 25 26	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	-0.1294	-0.0794	-0.2342	-0.1784	-0.0680	-0.1316	-0.1368
St. devijacija	0.1211	0.1331	0.1275	0.0975	0.1580	0.1636	0.1335
Korelacija	0.9892	0.9879	0.9910	0.9967	0.9888	0.9864	0.9900
T	7.4776	4.1760	12.8548	12.8141	3.0131	5.6295	
p	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0041	0.0000	

U tabeli 20 prikazani su rezultati analize mjerena Lundstromove analize za segmente u gornjoj vilici mjerene na 3D skeniranim modelima i na fotografijama istih modela dobijenih u aplikaciji OrthoPhoto4D. Iz tabele se vidi da su srednje vrijednosti greške iznosile između 0,0680 mm i 0,2342 mm, a srednja vrijednost odstupanja je bila 0,1368 mm. Standarna devijacija greške je iznosila od 0,0975 mm do 0,1636 mm, sa prosječnom vrijednošću 0,1335 mm. Korelacija za sva mjerena u ovoj grupi je bila blizu 1, sa srednjom vrijednošću od 0,9900. Rezultati uparenog t-testa su pokazali p vrijednosti ispod 0,05 u svim posmatrаниm slučajevima.

Tabela 21. Analiza rezultata Lundstromove analize za cijelu gornju vilicu mjerene na 3D skeniranim modelima i na fotografijama OrthoPhoto4D

3D-OP4D	Lund. Maksila
Sr. odstupanje	-0.8210
St. devijacija	0.3588
Korelacija	0.9952
T	16.0153
p	0.0000

U tabeli 21 prikazani su rezultati analize mjerena Lundstromove analize za cijelu gornju vilicu mjerene na 3D skeniranim modelima i na fotografijama istih modela dobijenih u aplikaciji OrthoPhoto. Iz tabele se vidi da su vrijednosti srednjih odstupanja iznosila 0,8210 mm. Standarna devijacija greške je imala vrijednosti od 0,3588 mm. Srednja vrijednost korelacija u

ovoј grupi je bila blizu 1 i iznosila je 0,9952. Rezultati uparenog t-testa su pokazali p vrijednost ispod 0,05.

Tabela 22. Analiza rezultata Lundstromove analize u donjoj vilici za pojedinačne segmente mjerene na 3D skeniranim modelima i na fotografijama istih modela OrthoPhoto4D

3D-OP4D	Lund. 36 35	Lund. 34 33	Lund. 32 31	Lund. 41 42	Lund. 43 44	Lund. 45 46	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	-0.2370	-0.1764	-0.0486	-0.0684	-0.0088	-0.2654	-0.1341
St. devijacija	0.1473	0.1292	0.1123	0.1142	0.1436	0.1274	0.1290
Korelacija	0.9880	0.9926	0.9905	0.9929	0.9924	0.9872	0.9906
T	11.2638	9.5600	3.0298	4.1914	0.4291	14.5833	
p	0.0000	0.0000	0.0039	0.0001	0.6697	0.0000	

U tabeli 22 prikazani su rezultati analize rezultata mjerjenja Lundstromove analize za pojedinačne segmente u donjoj vilici na 3D skeniranim modelima i na fotografijama istih modela dobijenih u aplikaciji OrthoPhoto4D. Iz tabele se vidi da su srednje vrijednosti greške iznosile između 0,00088 mm i 0,2654 mm, a srednja vrijednost odstupanja je bila 0,1341 mm. Standarna devijacija greške je imala vrijednosti od 0,1123 mm do 0,1473 mm, sa prosječnom vrijednošću 0,1290 mm. Vrijednost korelacija za sva mjerena u ovoj grupi je bila blizu 1, sa srednjom vrijednošću od 0,9906. Rezultati uparenog t-testa su davali p vrijednosti ispod 0,05 u svim posmatranim slučajevima, osim kod mjerena segmenata 43 44.

Tabela 23. Analiza rezultata Lundstromove analize za cijelu donju vilicu na 3D skeniranim modelima i na fotografijama istih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D

3D-OP4D	Lund. Mandibula
Sr. odstupanje	-0.8046
St. devijacija	0.2603
Korelacija	0.9977
T	21.6366
p	0.0000

U tabeli 23 prikazani su rezultati analize mjerena Lundstromove analize za cijelu donju vilicu mjerena na 3D skeniranim modelima i na fotografijama istih modela dobijenih u aplikaciji OrthoPhoto. Iz tabele se vidi da su vrijednosti srednjih odstupanja iznosila 0,8046 mm. Standarna devijacija greške je imala vrijednosti od 0,2603 mm. Srednja vrijednost korelacija u

ovoj grupi je bila blizu 1 i iznosila je 0,9977. Rezultati uparenog t-testa su davali p vrijednosti ispod 0,05.

5.2.5. Rezultati Boltonove analize mjerene na 3D skeniranim modelima i na fotografijama istih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D

Tabela 24. Analiza rezultata Boltonove analize mjerene na 3D skeniranim modelima i na fotografijama istih modela OrthoPhoto4D

3D-OP4D	Bolton
Sr. odstupanje	0.0446
St. devijacija	0.4043
Korelacija	0.9904
T	0.7723
p	0.4436

U tabeli 24 prikazani su rezultati za Boltonovu analizu dobijenih poređenjem rezultata mjerjenja na skeniranim 3D modelima i na fotografijama istih studijskih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D. Srednja vrijednost odstupanja iznosila je 0,0446 mm sa standardnom devijacijom od 0,4043 mm. Koeficijent korelacije je bio manji od 1 i iznosio je 0,9904. U ovoj grupi mjerjenja upareni t-test je pokazao p vrijednosti od 0,4436.

5.3. Analiza rezultata dobijenih mjerjenjem direktno na studijskim modelima i na fotografijama istih studijskih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D

U trećoj fazi istraživanja mjerili smo i poredili rezultate dobijene direktno na gipsanim studijskim modelima i na fotografijama u aplikaciji OrthoPhoto4D. Dobijeni rezultati ove grupe istraživanja prikazani su u tabelama 25-36.

5.3.1. Rezultati meziostalne širine pojedinačnih zuba mjerjenih ručno na studijskim modelima i na fotografijama u aplikaciji Orthophoto4D

Tabela 25. Analiza rezultata meziostalne širine zuba gornjeg desnog kvadranta mjerenih na studijskim modelima i na fotografijama istih u aplikaciji OrthoPhoto4D.

Ručno-OP4D	ŠZ 16	ŠZ 15	ŠZ 14	ŠZ 13	ŠZ 12	ŠZ 11	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	-0.1386	-0.2110	-0.1210	0.0264	-0.1370	-0.1668	-0.1247
St. devijacija	0.2249	0.1787	0.1902	0.2084	0.1423	0.2161	0.1934
Korelacija	0.9744	0.9340	0.9107	0.9394	0.9748	0.9531	0.9478
T	4.3146	8.2669	4.4529	0.8866	6.7380	5.4036	
p	0.0001	0.0000	0.0000	0.3796	0.0000	0.0000	

U tabeli 25 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima meziostalne širine zuba gornjeg desnog kvadranta mjerenih na studijskim modelima i na fotografijama istih u aplikaciji OrthoPhoto4D. Iz tabele se vidi da su srednje vrijednosti greške iznosile između 0,0264 mm do 0,2110 mm, a srednja vrijednost odstupanja je bila 0,1247 mm. Standarna devijacija greške je iznosila između 0,1423 mm do 0,2249 mm, sa prosječnom vrijednošću od 0,1934 mm. Korelacija je bila manja od 1 i srednja vrijednost iznosila je 0,9478. Rezultati t-testa pokazuju da je p vrijednosti manja od 0,05, osim kod mjerjenja meziostalne širine zuba 13 gdje je zabilježena vrijednost od 0,3796.

Tabela 26. Analiza rezultata meziostalne širine zuba gornjeg lijevog kvadranta mjerenih ručno na studijskim modelima i na fotografijama u aplikaciji OrthoPhoto4D

Ručno-OP4D	ŠZ 21	ŠZ 22	ŠZ 23	ŠZ 24	ŠZ 25	ŠZ 26	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	0.1982	-0.0616	-0.1200	-0.1830	-0.1438	-0.0108	-0.0535
St. devijacija	0.1592	0.1547	0.2037	0.2299	0.1557	0.2765	0.1966
Korelacija	0.9740	0.9553	0.9210	0.8901	0.9476	0.9531	0.9402
T	8.7165	2.7877	4.1228	5.5710	6.4633	0.2734	
p	0.0000	0.0075	0.0001	0.0000	0.0000	0.7857	

U tabeli 26 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima meziodistalne širine zuba gornjeg lijevog kvadranta mjerениh na studijskim modelima i na fotografijama istih u aplikaciji OrthoPhoto4D. Iz tabele se vidi da su srednje vrijednosti greške iznosile između 0,0108 mm do 0,1982 mm, a srednja vrijednost odstupanja je bila 0,0535 mm. Standarna devijacija greške je iznosila između 0,1547 mm i 0,2765 mm, a prosječna vrijednost bila je 0,1966 mm. Korelacija je za sva mjerena bila manja od 1 i njena prosječna vrijednost u ovoj grupi mjerena iznosila je 0,9402. Rezultati t-testa pokazuju da je p vrijednosti manje od 0,05, osim kod mjerena meziodistalne širine zuba 26.

Tabela 27. Analiza rezultata meziodistalne širine zuba donjeg lijevog kvadranta mjerenih ručno na studijskim modelima i na fotografijama u aplikaciji OrthoPhoto4D

Ručno-OP4D	ŠZ 36	ŠZ 35	ŠZ 34	ŠZ 33	ŠZ 32	ŠZ 31	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	-0.2512	-0.1098	0.0728	-0.2604	0.0682	-0.2006	-0.1135
St. devijacija	0.1694	0.1965	0.2046	0.2356	0.2025	0.1849	0.1989
Korelacija	0.9720	0.9379	0.9157	0.9485	0.9301	0.9203	0.9374
T	10.3819	3.9114	2.4906	7.7379	2.3574	7.5933	
p	0.0000	0.0003	0.0162	0.0000	0.0224	0.0000	

U tabeli 27 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima meziodistalne širine zuba donjeg lijevog kvadranta mjerениh na studijskim modelima i na fotografijama istih u aplikaciji OrthoPhoto4D. Iz tabele se vidi da su srednje vrijednosti greške iznosile od 0,0682 mm do 0,2604 mm, sa srednjom vrijednošću odstupanja od 0,1135. Standarna devijacija greške iznosila je između 0,1694 mm i 0,2356 mm, a prosječna vrijednosti je bila 0,1989. Korelacija je manja od 1 za sva mjerena i iznosila je u prosjeku 0,9374. Rezultati t-testa pokazuju vrijednosti p manje od 0,05, osim u slučajevima meziodistalne širine zuba 34 i 32.

Tabela 28. Analiza rezultata meziodistalne širine zuba donjeg desnog kvadranta mjerenih ručno na studijskim modelima i na fotografijama u aplikaciji OrthoPhoto4D

Ručno-OP4D	ŠZ 41	ŠZ 42	ŠZ 43	ŠZ 44	ŠZ 45	ŠZ 46	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	-0.1466	-0.0400	-0.0348	-0.0530	-0.1836	0.0058	-0.0754
St. devijacija	0.2017	0.2024	0.2474	0.2440	0.1588	0.1779	0.2053
Korelacija	0.9148	0.9375	0.9308	0.8754	0.9679	0.9695	0.9326
T	5.0885	1.3835	0.9845	1.5208	8.0942	0.2283	
P	0.0000	0.1728	0.3297	0.1347	0.0000	0.8204	

U tabeli 28 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima meziodistalne širine zuba donjeg desnog kvadranta mjerjenih na gipsanim studijskim modelima i na fotografijama istih u aplikaciji OrthoPhoto4D. Iz tabele se vidi da su srednje vrijednosti greške iznosile od 0,0348 mm do 0,1836 mm, i srednja vrijednosti odstupanja bila je 0,0754 mm. Standarna devijacija greške iznosila je između 0,1588 mm i 0,2474 mm, a prosječna vrijednost devijacije je bila 0,2053 mm. Korelacija je blizu 1 kod svih mjerjenih širina sa srednjom vrijednošću od 0,9326. Rezultati t-testa pokazuju p vrijednosti veće od 0,05 u slučajevima 42, 43, 44 i 46.

5.3.2. Rezultati meziodistalne širine segmenata zuba mjerjenih ručno na studijskim modelima i na fotografijama OrthoPhoto4D

Tabela 29. Analiza rezultata meziodistalne širine segmenata zuba u gornjoj vilici mjerjenih ručno na studijskim modelima i na fotografijama OrthoPhoto4D

Ručno-OP4D	ŠS 16 15	ŠS 14 13	ŠS 12 11	ŠS 21 22	ŠS 23 24	ŠS 25 26	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	-0.1504	0.1592	-0.1598	0.0056	0.0358	-0.1084	-0.0363
St. devijacija	0.1245	0.1494	0.1386	0.2175	0.1061	0.2015	0.1563
Korelacija	0.9950	0.9906	0.9922	0.9876	0.9952	0.9880	0.9914
T	8.4574	7.4600	8.0699	0.1803	2.3629	3.7649	
p	0.0000	0.0000	0.0000	0.8577	0.0221	0.0004	

U tabeli 29 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima meziodistalne širine segmenata zuba u gornjoj vilici na gipsanim studijskim modelima i na fotografijama istih u aplikaciji OrthoPhoto4D. Iz tabele se vidi da su srednje vrijednosti greške iznosile između 0,0056 mm i 0,1598 mm, sa srednjom vrijednošću odstupanja od 0,0363 mm. Standarna devijacija greške iznosila je između 0,1061 mm i 0,2175 mm, i prosječna vrijednost bila je 0,1563 mm. Korelacija je za sva mjerjenja širina u ovoj grupi bila blizu 1 i njena srednja vrijednost iznosila je 0,9914. Rezultati t-testa pokazuju vrijednosti p manje od 0,05, osim u slučaju mjerjenja meziodistalne širine segmenta 21-22.

Tabela 30. Analiza rezultata meziodistalne širine segmenata zuba u donjoj vilici mjerene ručno na studijskim modelima i na fotografijama OrthoPhoto4D

Ručno-OP4D	ŠS 36 35	ŠS 34 33	ŠS 32 31	ŠS 41 42	ŠS 43 44	ŠS 45 46	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	-0.0898	-0.1538	-0.1866	-0.0686	-0.2190	-0.0988	-0.1361
St. devijacija	0.1067	0.0983	0.2267	0.2187	0.1427	0.2149	0.1680
Korelacija	0.9967	0.9947	0.9690	0.9740	0.9909	0.9814	0.9844
T	5.8889	10.9563	5.7626	2.1953	10.7413	3.2186	
p	0.0000	0.0000	0.0000	0.0329	0.0000	0.0023	

U tabeli 30 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima meziodistalne širine segmenata zuba u donjoj vilici mjerene na gipsanim studijskim modelima i na fotografijama istih u aplikaciji OrthoPhoto4D. Iz tabele se vidi da su srednje vrijednosti greške iznosile između 0,0686 mm i 0,1866 mm, srednja vrijednost odstupanja je bila 0,1361 mm. Standarna devijacija greške iznosila je između 0,0983 mm i 0,2267 mm, i prosječna vrijednost je bila 0,1680 mm. Korelacija je za sva mjerena širina u ovoj grupi bila blizu 1 i njena srednja vrijednost iznosila je 0,9844. Rezultati t-testa pokazuju vrijednosti p manje od 0,05.

5.3.3. Rezultati interkanine i intermolarne širine u gornjoj i donjoj vilici ručno na studijskim modelima i na fotografijama OrthoPhoto4D

Tabela 31. Analiza rezultata interkanine i intermolarne širine u gornjoj i donjoj vilici mjerene na studijskim modelima i na fotografijama istih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D

Ručno-OP4D	ICD 13 23	ICD 33 43	IMD 16 26	IMD 36 46	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	-0.1292	0.0068	-0.0554	-0.2662	-0.1110
St. devijacija	0.2588	0.1692	0.1976	0.1911	0.2042
Korelacija	0.9946	0.9966	0.9987	0.9980	0.9970
T	3.4950	0.2813	1.9621	9.7498	
p	0.0010	0.7797	0.0554	0.0000	

U tabeli 31 prikazana je srednja vrijednost greške u rezultatima interkanine i intermolarne širine u gornjoj i donjoj vilici mjerene na studijskim modelima i na fotografijama istih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D. Iz tabele se vidi da je srednja vrijednost greške iznosila od 0,0068 mm do 0,2662 mm, sa srednjom vrijednošću odstupanja 0,1110 mm. Standarna devijacija greške iznosila je od 0,1692 mm do 0,2588 mm, a njena prosječna vrijednost bila je 0,2042 mm.

Korelacija je blizu 1 za sva mjerena i u ovoj grupi, i srednja vrijednost je iznosila 0,9970. Rezultati t-testa pokazuju da je vrijednost p veće od 0,05 u slučajevima mjerena ICD 33 34 i IMD 16 26.

5.3.4. Rezultati Lundstromove analize u gornjoj i donjoj vilici mjerene na studijskim modelima i na fotografijama istih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D

Tabela 32. Analiza rezultata Lundstromove analize u gornjoj vilici za pojedinačne segmente mjerene na studijskim modelima i na fotografijama istih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D

Ručno-OP4D	Lund. 16 15	Lund. 14 13	Lund. 12 11	Lund. 21 22	Lund. 23 24	Lund. 25 26	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	0.1992	0.2538	0.1440	-0.1310	0.3388	0.0462	0.1418
St. devijacija	0.3201	0.3560	0.3341	0.2901	0.3566	0.4124	0.3449
Korelacija	0.9305	0.9228	0.9464	0.9695	0.9449	0.9328	0.9412
T	4.3566	4.9901	3.0168	3.1611	6.6504	0.7842	
p	0.0001	0.0000	0.0040	0.0027	0.0000	0.4367	

U tabeli 32 prikazani su rezultati analize rezultata mjerena Lundstromove analize za segmente u gornjoj vilici na studijskim modelima i na fotografijama istih modela dobijenih u aplikaciji OrthoPhoto4D. Iz tabele se vidi da su srednje vrijednosti greške iznosile između 0,0462 mm, i 0,3388 mm, i srednja vrijednost odstupanja bila je 0,1418 mm. Standarna devijacija greške u ovoj grupi mjerena je imala vrijednosti od 0,2901 mm do 0,4124 mm, sa prosječnom vrijednošću od 0,3449 mm. Korelacija za sva mjerena u ovoj grupi je bila blizu 1 sa srednjom vrijednošću od 0,9412. Rezultati uparenog t-testa su davali vrijednosti p ispod 0,05 osim u slučaju mjerena širine segmenta 25- 26.

Tabela 33. Analiza rezultata Lundstromove analize za cijelu gornju vilicu mjerene na studijskim modelima i na fotografijama istih modela u aplikaciji Orthophoto4D

	Lund. Maksila
Sr. odstupanje	0.8510
St. devijacija	0.8431
Korelacija	0.9737
T	7.0655
p	0.0000

U tabeli 33 prikazani su rezultati mjerena Lundstromove analize za cijelu gornju vilicu mjerene na studijskim modelima i na fotografijama istih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D. Srednja greška odstupanja za cijelu vilicu iznosila je 0,8510 mm sa standardnom devijacijom od 0,8431 mm. Koeficijent korelacije bio je 0,9737 za cijelu vilicu, dok je p vrijednost t-testa bila ispod 0,05.

Tabela 34. Analiza rezultata Lundstromove analize u donjoj vilici za pojedinačne segmente mjerene na studijskim modelima i na fotografijama OrthoPhoto4D

Ručno-OP4D	Lund. 36 35	Lund. 34 33	Lund. 32 31	Lund. 41 42	Lund. 43 44	Lund. 45 46	Sr. vrijednost
Sr. odstupanje	0.2712	0.0338	-0.0542	0.1180	-0.1312	0.0790	0.0528
St. devijacija	0.2703	0.3257	0.3580	0.3823	0.3515	0.3159	0.3339
Korelacija	0.9664	0.9561	0.9170	0.9239	0.9582	0.9286	0.9417
T	7.0241	0.7263	1.0599	2.1606	2.6126	1.7508	
P	0.0000	0.4711	0.2944	0.0356	0.0119	0.0862	

U tabeli 34 prikazani su rezultati analize rezultata mjerena Lundstromove analize u donjoj vilici mjerene na gipsanim studijskim modelima i na fotografijama istih modela dobijenih u aplikaciji OrthoPhoto4D. Iz tabele se vidi da su srednje vrijednosti greške iznosile između 0,0338 mm i 0,2712 mm, i srednja vrijednost odstupanja je iznosila 0,0528 mm. Standarna devijacija greške je imala vrijednosti od 0,2703 mm do 0,3823 mm, a prosječna vrijednost je bila 0,3339 mm. Korelacija za sva mjerena u ovoj grupi je bila manja od 1 sa srednjom vrijednošću od 0,9417. Rezultati uparenog t-testa su davali vrijednosti p ispod 0,05 osim u slučajevima 34-33, 32-31 i 45-46.

Tabela 35. Analiza rezultata Lundstromove analize za cijelu donju vilicu mjerenu na studijskim modelima i na fotografijama istih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D

Ručno-OP4D	Lund. Mandibula
Sr. odstupanje	0.3166
St. devijacija	0.8262
Korelacija	0.9806
T	2.6825
p	0.0099

U tabeli 35 prikazani su rezultati mjerena Lundstromove analize za cijelu donju vilicu dobijenih na studijskim modelima i na fotografijama istih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D.

Srednja greška odstupanja za cijelu vilicu iznosila je 0,3166 mm sa standardnom devijacijom od 0,8262 mm. Koeficijent korelaciјe je 0,9806 za cijelu vilicu, dok je p vrijednost t-testa pokazala vrijednosti manje od 0,05.

5.3.5. Rezultati Boltonove analize na studijskim modelima i na fotografijama istih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D

Tabela 36. Analiza rezultata Boltonove analize mjerene na studijskim modelima i na fotografijama istih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D

Ručno-OP4D	Bolton
Sr. odstupanje	-0.1578
St. devijacija	1.0109
Korelacija	0.9531
T	1.0930
p	0.2797

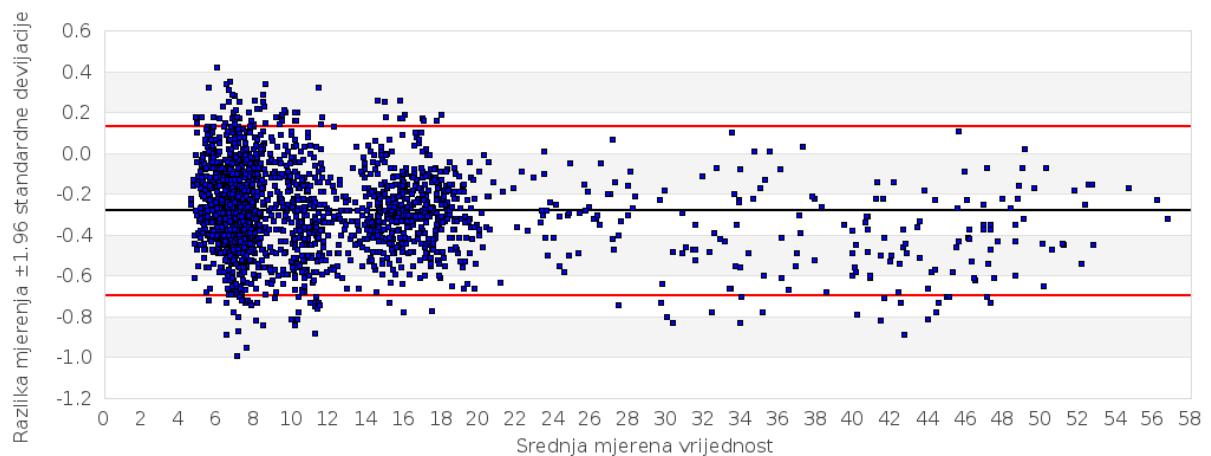
U tabeli 36 prikazani su rezultati za Boltonovu analizu dobijenih na gipsanim studijskim modelima i na fotografijama istih modela u aplikaciji OrthoPhoto4D. Srednja greška odstupanja je iznosila 0,1578 mm sa standardnom devijacijom od 1,0109 mm. Koeficijent korelaciјe je bio manji od 1 i iznosio je 0,9531, dok vrijednost t-testa pokazala p iznosila 0,2797.

5.4. Poređenje sumarnih rezultata mjerena

U ovom poglavlju su prikazani rezultati analize izvršene na svim mjeranjima upotrebom Bland-Altman grafika, kao i prikazi srednjih odstupanja i standardnih devijacija dobijenih poređenjem sa mjeranjima dobijenim na 3D modelima kao referentnim vrijednostima.

5.4.1. Bland-Altman grafička analiza

Rezultati Bland-Altman analize za sve mjerene vrijednosti na gipsanim modelima i na 3D skeniranim modelima su prikazani su na slici 27.

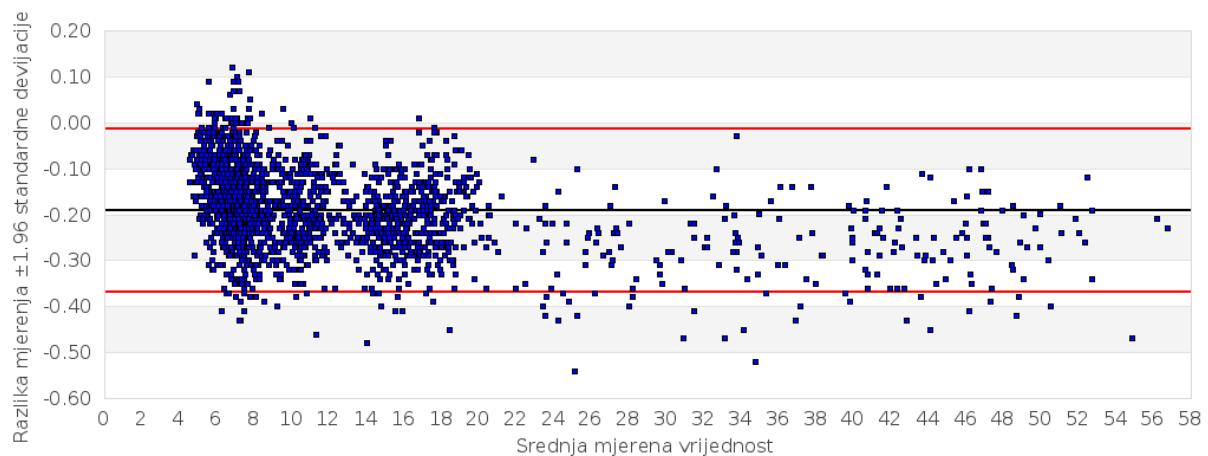


Slika 27. Bland-Altman grafik za sve mjerene vrijednosti na gipsanim modelima i na 3D skeniranim modelima

Na x osi su prikazane srednje vrijednosti mjereneh vrijednosti za oba načina mjerena, dok su na y osi prikazana odstupanja za svako pojedinačno mjereno, crna linija koja predstavlja srednju vrijednost odstupanja za sva mjerena, te dvije crvene linije koje predstavljaju otklon od te vrijednosti za 1,96 standardnih devijacija za data odstupanja mjerena.

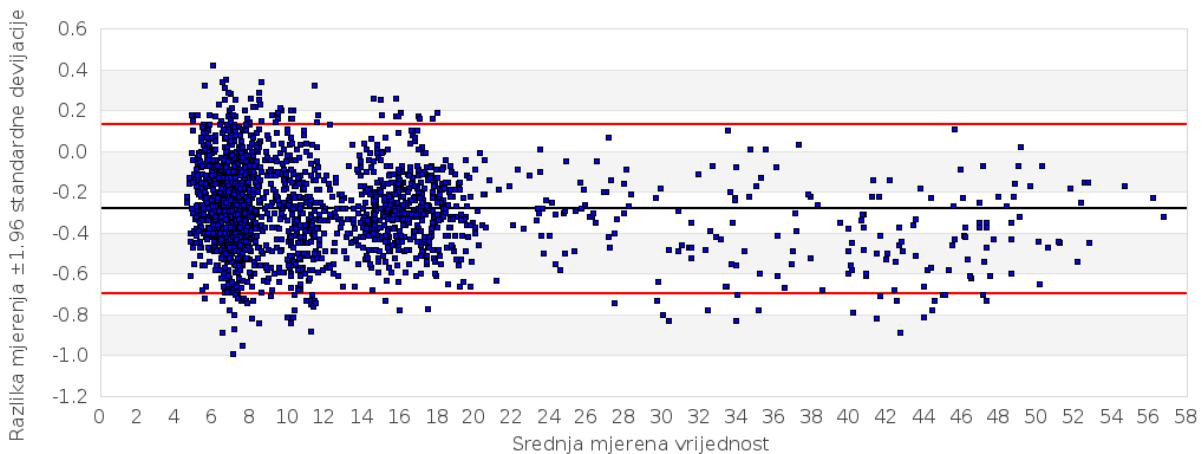
Sa slike 28 je vidljivo da su mjerena grupisana oko srednjih vrijednosti i da se velikom većinom nalaze unutar crvenih linija, bez obzira na vrijednost mjerene veličine, snažno sugerijući da se dva opisana metoda mogu koristiti jedan umjesto drugog. U slučaju da postoje značajni problemi sa validnošću mjerena, na grafiku bi postojala drugačija raspodjela, na

primjer, tačke bi bile znatno raspšenije kod većih vrijednosti ili ne bi postojalo grupisanje oko srednje vrijednosti.



Slika 28. Blant-Altman grafikon za sva mjerena na 3D modelima i na fotografijama u aplikaciji OrthoPhoto4D

Kao što se vidi na Blant-Altman grafikonu, i u drugoj grupi mjerena najveći broj dobijenih rezultata grupisan je između crvenih linija standardnih devijacija, te su vrijednosti mjerena grupisane oko srednje vrijednosti odstupanja, bez obzira na iznos mjerene veličine. Prikazani podaci snažno sugerisu da je softver OrthoPhoto4D uporediv sa mjeranjem 3D skeniranih modela u dijagnostičkoj i kliničkoj upotrebi u ortodonciji. Nisu utvrđene statistički značajne razlike u izmjerenim vrijednostima meziodistalne širine pojedinačnih zuba, segmenata zuba, interkanine i intermolarne širine, kao i vrijednosti Lundstromove i Boltonove analize. Rezultati dobijeni na oba načina mjerena snažno korelišu, a izmjerene razlike su približno 0,2 mm i kao takve su irelevantne i prihvatljive u praksi.



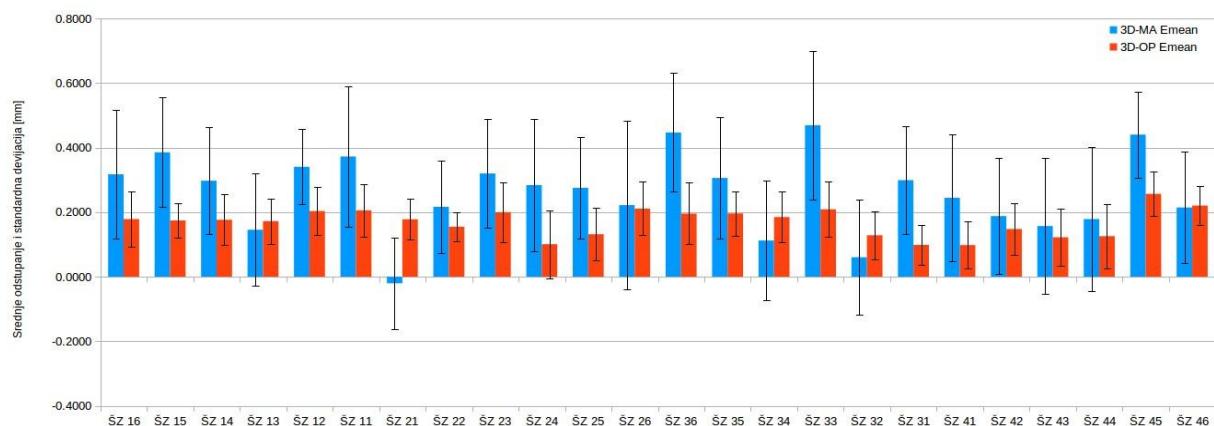
Slika 29. Bland-Altman grafik za sve vrijednosti iz treće grupe mjerena poređenja između rezultata dobijenih ručno na gipsanim studijskim modelima i indirektno na fotografijama modela iz aplikacije OrthoPhoto4D

Na slici 29 prikazan je Bland-Altman grafik za sve vrijednosti iz treće grupe mjerena poređenja između rezultata dobijenih ručno na gipsanim studijskim modelima i indirektno na fotografijama modela iz aplikacije OrthoPhoto4D. Visok stepen saglasnosti između ova dva načina mjerena potvrđen je i na ovim grafikonima, jer je najveći dio dobijenih vrijednosti između crvenih linija standardnih devijacija, te su vrijednosti mjerena grupisane oko srednje vrijednosti odstupanja, bez obzira na iznos mjerene veličine.

Rezultati dobijeni i u ovoj grupi istraživanja snažno sugerisu da je softver OrthoPhoto4D uporediv i sa ručnim mjeranjem na gipsanim studijskim modelima u dijagnostičkoj i kliničkoj upotrebi u ortodonciji. Nisu utvrđene statistički značajne razlike u izmernim vrijednostima meziostalne širine pojedinačnih zuba, segmenata zuba, interkanine i intermolarne širine kao i vrijednosti Lundstromove i Boltonove analize. Rezultati dobijeni na oba načina mjerena snažno korelišu, a izmjerene razlike su približno 0,2 mm i kao takve su irelevantne i prihvatljive u praksi.

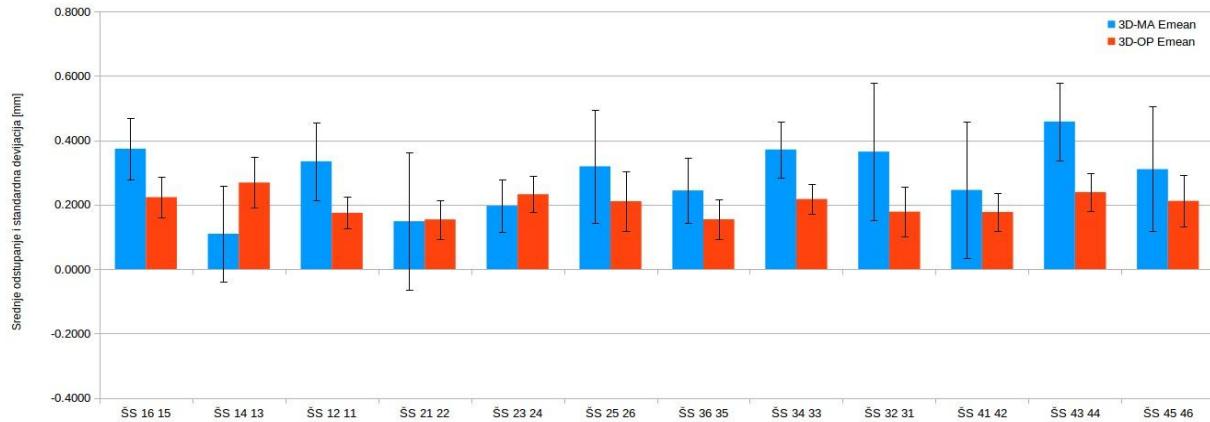
5.4.2. Poređenje ručnih i mjerena u OrthoPhoto4D programu u odnosu na mjerena na 3D modelima

Na slici 30 je prikazano grafičko poređenje srednjih vrijednosti odstupanja i standardnih devijacija između mjerena dobijenih ručno na gipsanim studijskim modelima i u programu OrthoPhoto4D u odnosu na mjerena dobijena na 3D modelima koja su uzeta za referentnu vrijednost. Na osnovu prikazanih vrijednosti vidljivo je da su srednja odstupanja za OrthoPhoto4D program uporediva ili manja u odnosu na ručnu metodu. Standardne devijacije su manje u svim slučajevima. Primjetno je i da su odstupanja u OrthoPhoto4D programu uravnoteženija i kreću se između 0,1 mm i 0,2 mm za sve posmatrane slučajeve, dok se odstupanja za ručna mjerena kreću u znatno većem intervalu.



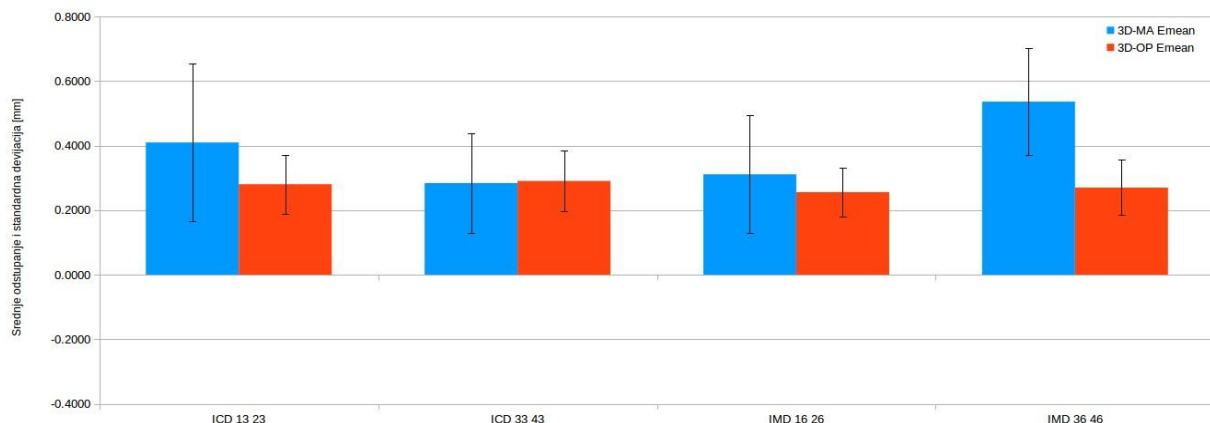
Slika 30. Poređenje mjerena meiodistalnih širina zuba dobijenih ručno i u OrthoPhoto4D programu u odnosu na mjerena na 3D modelima

Grafički prikaz poređenja mjerena za širine segmenata je dat na slici 31. Sa slike je vidljivo da su odstupanja pri upotrebi OrthoPhoto4D programa uporediva ili manja u odnosu na manuelna mjerena na gipsanim studijskim modelima uz manje standardne devijacije. I na ovom prikazu je primjetno da se srednja odstupanja pri upotrebi OrthoPhoto4D programa nalaze u užem intervalu u odnosu na ručna mjerena.



Slika 31. Poređenje mjerena meziodistalnih širina segenata dobijenih ručno i u OrthoPhoto4D programu u odnosu na mjerena na 3D modelima

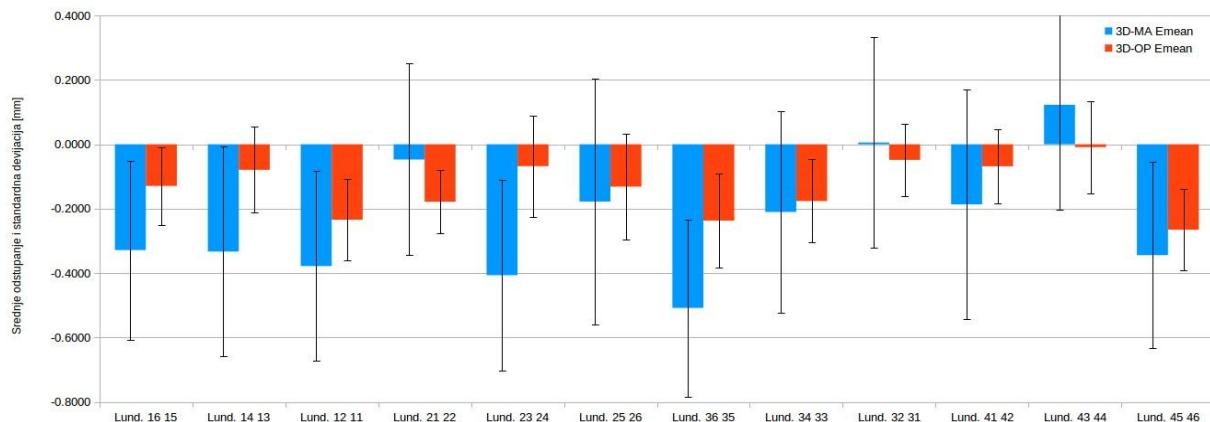
Rezultati poređenja za mjerena interkaninalnih i intermolarnih širina u odnosu na mjerena na 3D modelima dati su na slici 32. Sa slike je vidljivo da su rezultati dobijeni upotreborom OrthoPhoto4D programa uporedivi ili bliži rezultatima dobijenim mjeranjem 3D modela, što je naročito izraženo kod mjerena intermolarnih širina u mandibuli kod kojih je izraženo veće srednje odstupanje kod ručnog mjerena. I u ovom slučaju su standardne devijacije manje kod upotrebe OrthoPhoto4D programa.



Slika 32. Poredenje mjerena interkaninalnih i intermolarnih širina dobijenih ručno i u OrthoPhoto4D programu u odnosu na mjerena na 3D modelima

Kao primjer poređenja indirektno izračunatih vrijednosti na osnovu mjerena dat je prikaz poređenja Lundstromove prostorne analize po segmentima. I na ovom grafiku je primjetno da

mjerenja izvršena upotrebom OrthoPhoto4D programa imaju uporediva ili manja srednja odstupanja uz primjetno manje standardne devijacije (slika 33).



Slika 33. Poređenje rezultata Lundstromove analize po segmentima dobijenih na osnovu ručnih mjerena i mjerena u OrthoPhoto4D programu u odnosu na mjerena na 3D modelima

Na osnovu analize sva četiri grafika možemo zaključiti da su u svim posmatranim klasama mjerena srednja odstupanja između mjerena u OrthoPhoto4D programu i na 3D modelima uporediva ili značajno manja u odnosu na odstupanja između ručnih mjerena i mjerena na 3D modelima, uz konstantno manju standardnu devijaciju.

6. DISKUSIJA

Ortodontske analize su jedan od glavnih dijelova dijagnostike u ortodontskoj terapiji. Pravilno urađene analize studijskih modela i njihova evidencija, neophodne su ne samo za dijagnozu i planiranje liječenja, već i za praćenje slučaja, komuniciranje sa kolegama i procjenjivanje ishoda ortodontske terapije. Mjerenje meziodistalnih širina zuba i segmenata zuba kao i analize na studijskim modelima predstavljaju uobičajeni dio dijagnostičkog protokola u ortodonciji. Postoje različiti instrumenti i metode pomoću kojih se rade analize, međutim sa mnoštvom dostupnih izbora postoji i konfuzija oko odabira vrste instumenata i načina mjerenja. Tradicionalno se mjerenja vrše na gipsanim studijskim modelima pomoću dvokrakog šestara tzv. Vernier šestara, kojeg je i Bolton koristio u svom prvobitnom radu [7]. Tradicionalni metod korišćenja Vernierovih šestara na gipsanim studijskim modelima se i dalje smatra „zlatnim standardom“. Ranije tehnike poput fotokopiranja i jednostavne digitalizacije pokazale su greške u mjeranjima. Međutim, savremene metode kao što su korištenje digitalnih fotografija, laserskog skeniranja i stereofotogrametrija pokazale su veću kliničku tačnost [90,91].

Dvodimenzionalna (2D) tehnologija za snimanje (profilni kefalometrijski i panoramski radiografski snimci), fotografije kao i gipsani studijski modeli rutinski se koriste prilikom svakog ortodontskog dijagnostičkog protokola. Upotreba 2D sistema za snimanje ima određena organičenja kao što su: značajna količina radiografske projekcijske greške, proširenja, izobličenja, izloženost radijaciji, slabosti identifikacije orijentira, netačno dupliranje mjerjenja, značajna varijacija u poziciji referentnih tačaka, kao što je sella turcica, kao i ograničenja u procjeni bilansa mekih tkiva [92,93].

U novoj digitalnoj eri, različita tehnološka dostignuća napravila su upliv u stomatološku praksu. Uvođenje digitalnih modela nudi ortodontu upotrebljivu alternativu gipsanim studijskim modelima, što je potvrđeno i u mnogim studijama gdje su rezultati mjerena na digitalnim modelima pokazivali dobre rezultate u poređenju sa rezultatima dobijenim na standardnim gipsanim modelima. Nije bilo statistički značajnih razlika između ispitivnih metoda [94, 95, 96, 97]. Digitalni modeli prevazilaze mnoge nedostatke koje imaju gipsani studijski modeli. Oni nisu podložni fizičkim oštećenjima i ne sakupljaju prašinu i prljavštinu. Takođe zahtijevaju zanemarljiv prostor za skladištenje jer je riječ o digitalnim podacima. Digitalne informacije se za

svaki slučaj mogu čuvati na hard disk uredjaju računara ili na eksternom mediju za potrebe pravljenja sigurnosne kopije. Pretraživanje je brzo i efikasno jer modeli sadrže metapodatke o na primjer imenu ili identifikaciji pacijenta. Moguće je i pregledati digitalne modele na više lokacija sa bilo kojeg računara povezanog sa centralnim skladišnim serverom. Elektronske datoteke se mogu jednostavno prenositi kolegama, drugim specijalističkim ili osiguravajućim društvima i tako smanjiti vrijeme i troškove dupliranja modela, te isporuke. Osim svih nabrojanih prednosti, digitalni modeli su takođe i odličan alat za edukaciju pacijenata i poboljšanje komunikacije između kliničara i pacijenata, poboljšavajući informisanu saglasnost. Na kraju, digitalni unosi mogu biti virtualno manipulisani, mogu se stvoriti precizni prikazi poprečnog presjeka i oni se mogu uvećati i prikazivati na željeni način. Glavni nedostatak je vezan za troškove: digitalni modeli su u pravilu skuplji za izradu nego gipsani i zahtijevaju specifične alate i softver. Trenutno postoje tri osnovna metoda za izradu digitalnih 3D modela: lasersko i skeniranje strukturanim svjetлом studijskih gipsanih modela i alginatnih otisaka, CBTC skeniranje studijskih modela i alginatnih otisaka, te direktno intraoralno skeniranje.

Upotreba 3D tehnika skeniranja poboljšava mogućnost ortodontskog liječenja, jer pomoću njih dobijamo detaljnije dijagnostičke informacije o specifičnim slučajevima, kao što su pacijenti sa kraniofacijalnim anomalijama [98]. 3D skeniranje je neinvazivna tehnika koja ima široko polje upotrebe i može se koristiti za sljedeće namjene: 3D analizu morfologije lica, procjenu simetrije, praćenja promjena u poprečnom presjeku, procjenu ishoda tretmana, procjenu kliničkih rezultata za hirurske slučajeve, analiziranje pacijenata sa rascjepima, promjene mekih tkiva, te skeniranje gipsanih studijskih modela [99, 100, 101, 102]. Još jedna od prednosti predstavlja mogućnost superpozicije digitalnih modela vilica napravljenih u različitim trenucima u toku terapije, što omogućava kvantitativnu trodimenzionalnu analizu pokreta ortodontsko tretiranih zuba [103].

U ovom istraživanju je korišteno 50 kompletnih studijskih modela, odnosno 50 otisaka maksile i 50 otisaka mandibule. Pacijenti su imali stalnu denticiju bez vidljivih oštećenja i sa adekvatno saniranim karijesnim lezijama. U prvoj fazi istraživanja poredili smo rezultate dobijene ručno na gipsanim studijskim modelima i indirektno na 3D skeniranim digitalnim modelima.

6.1. Diskusija rezultata mjerena dobijenih direktnom metodom na gipsanim modelima i indirektno na digitalnim 3D modelima

U literaturi je prisutan veliki broj istraživanja u kojima su poređene vrijednosti dobijene mjeranjem na gipsanim i na digitalnim 3D modelima. Iako u literaturi postoje poređenja i analize direktnih mjerena vršenih na gipsanim studijskim modelima i njihovim digitalnim replikama, primjetan je manjak poređenja i analiza vršenih na indirektnim vrijednostima računatim na osnovu direktnih mjerena. Dvije od takvih analiza su i Lundstromova prostorna analiza, te Boltonova analiza koje su obrađene u ovoj disertaciji. Usljed upotrebe, na primjer, tri pojedinačna mjerena za svaki segment od dva zuba, širine segmenta i dvije zasebne meziodistalne širine zuba kod Lundstromove analize, neophodno je pored analiza pojedinačnih mjerena izvršiti i analize na indirektno računatim vrijednostima. Ovaj značaj je naročito izražen kod računanja nedostatka prostora za pravilan smještaj zuba za cijelu vilicu, jer u tom slučaju koristimo 18 pojedinačnih mjerena.

Cilj studije koju su radili Quimby i saradnici bio je da se utvrdi tačnost, ponovljivost i efikasnost mjerena izvedenih na digitalnim modelima. Studija je izvršena na 50 pacijenata sa kompletnom stalmom denticijom i bez značajnih morfoloških abnormalnosti. Tačnost, ponovljivost i efikasnost su testirani upoređivanjem mjerena izvršenih na digitalnim modelima sa mjerjenjima na gipsanim modelima. Mjerene vrijednosti su podijelili u sedam grupa: meziodistalne širine pojedinačnih zuba, dužina zubnog luka, širina zubnog luka, incizalni stepenik i dubina preklopa, te indirektno izračunate vrijednosti za raspoloživu i potrebnu širinu zubnog segmenta. Za mjerena na gipsanim modelima korišten je digitalni šestar, dok je za mjerjenje digitalnih modela korišten softverski paket OrthoCad. Mjerena izvršena na dentoformu su izvršena dva puta i srednja vrijednost mjerena je uzeta kao zlatni standard. Mjerena su izvršena dva puta, na početku istraživanja i nakon dvije sedmice. Ponovljivost je bila visoka za mjerena izvedena i na gipsanim i na digitalnim modelima. Efikasnost je takođe bila slična bez obzira na način mjerena. Mjerna odstupanja između digitalnih i gipsanih modela za cijelu vilicu su iznosila 0,54 mm za raspoloživi i 2,23 mm za potrebnii prostor u maksili, te 2,88 mm za raspoloživi i 0,21 mm za potrebnii prostor u mandibuli. Statistički značajna razlika je pronađena samo u slučaju potrebnog prostora u mandibuli. Zaključak studije je da se digitalni modeli mogu

koristiti kao klinički prihvatljiva alternativa konvencionalnim gipsanim modelima [22]. Iako autori nisu proveli analize na razlici potrebne i dostupne širine, iz objavljenih vrijednosti je vidljivo da metod mjerena predstavljen u ovoj disertaciji ima uporediva ili bitno manja mjerna odstupanja, te da nisu pronađena statistički značajne razlike na nivou cijelih vilica.

Yoon i saradnici su ispitivali upotrebljivost intraoralnih skenera za vršenje mjerena poredeći dobijene rezultate sa rezultatima dobijenim ručnim mjeranjima na gipsanim studijskim modelima, te mjerenjem 3D skeniranih studijskih modela. Ispitivanje je vršeno na 46 pacijenata koji su bili podijeljeni u dvije grupe prema inicijalno procijenjenom stepenu tjeskobe. Pacijentima su uzeti otisci i izliveni su gipsani studijski modeli koji su i 3D skenirani Orapix 3D sistemom, dok je intraoralno skeniranje izvršeno upotrebom TRIOS 3 sistema. Dobijeni rezultati su statistički obrađeni, a izvršen je i upareni t-test. Jedna od mjereneh veličina je bila nedostatak prostora za cijelu vilicu i dobijena prosječna odstupanja između mjerena na gipsanom modelu i skeniranom modelu su za maksilu iznosila do 0,58 mm uz statistički značajnu razliku, a za mandibulu do 0,63 mm, takođe uz statistički značajnu razliku. Pri poređenju mjerena na gipsanom modelu i intraoralno skeniranom modelu dobijena prosječna odstupanja su iznosila do 0,86 mm za maksilu i 0,55 mm za mandibulu uz pronađene statistički značajne razlike. Autori zaključuju da razlike u mjeranjima nisu klinički značajne i da je moguća upotreba sva tri metoda u kliničkoj praksi bez obzira na stepen tjeskobe [42]. Poredeći navedene rezultate sa rezultatima prezentovanim u ovom radu, vidljivo je da su odstupanja približno istih vrijednosti uz razliku da u našem slučaju nije pronađena statistički značajna razlika za cijele vilice.

U studiji koji su radili Leifert i saradnici poređena su mjerena koja su izvršila dva ortodonta na meziodistalnim širinama zuba i dužinama zubnih lukova na gipsanim modelima i trodimenzionalnim virtuelnim 3D modelima. Ispitivanje je vršeno na 25 pacijenata koji nisu prošli prethodni ortodontski tretman, a koji su imali prvu klasu u sagitalnoj ravni. Mjerena na gipsanim modelima su vršena pomoću digitalnog ortodontskog šestara, a mjerena na digitalnim 3D modelima su vršena u programskom paketu OrthoCad 2.17. Razlike u mjeranjima na gipsanim i digitalnim modelima za nedostatak prostora su iznosile do 0,424 mm u maksili i do 0,384 mm u mandibuli. Upareni t-test je pokazao statistički značajnu razliku za mjerena u maksili. Vrijedi napomenuti da su razlike u mjeranjima između dva ortodonta iznosila do 0,408 mm i uporediva su sa razlikama između dva načina mjerena, te su zaključci studije da su ova

odstupanja prihvatljiva u kliničkoj praksi [43]. I u ovom slučaju naš metod mjerena ima uporediva ili manja odstupanja uz odsustvo statistički značajnih razlika na analiziranim vrijednostima. Pronađene razlike po segmentima su manje od 0,3 mm i nisu klinički značajne, dok odstupanje na nivou cijele vilice od 0,8 mm takođe nije značajno u praksi.

Murad i saradnici su u svom istraživanju mjerili meiodistalnu širinu zuba od prvog gornjeg desnog do prvog gornjeg lijevog molara i od prvog donjeg desnog do prvog lijevog donjeg molara, dužinu zubnih lukova, te interkaninu i intermolarnu širinu. Istraživanje je vršeno na 20 pacijenata bez ortodontskih nepravilnosti. Zube su mjerili direktno na gipsanim studijskim modelima digitalnim ortodontskim šestarom, dok su mjerena na 3D skeniranim modelima vršena u programskom paketu OrthoCad. Nakon mjerena, obrade rezultata i sprovedene statističke analize, upareni t-test nije pokazao statistički značajnu razliku, dok je koeficijent korelacije bio visok između dva metoda ($r = 0,92$, p -vrednost $<0,01$) [104]. Kako u većini slučajeva u našem istraživanju upareni t-test nije pokazivao statistički značajnu razliku i koficijent korelacije je u svim slučajevima bio blizak 1, rezultati i ove studije su saglasni sa rezultatima predstavljenim u ovoj disertaciji.

Cilj studije koju su radili Jiménez-Gayosso sa saradnicima bio je upoređivanje razlika između mjerena koja su izvršena ručno i onih dobijenih korištenjem digitalnog skeniranog modela pacijenata sa ortodontskim tretmanom. Istraživanje je izvedeno na uzorku od 30 studijskih modela kod pacijenata sa stalnom denticijom. Mjereni su modeli prije i poslije ortodontskog tretmana. Za mjerjenje 3D modela korišćen je skener Maestro 3D Ortho Studio, a za ručno mjerjenje Mitutoyo digitalni šestar. Mjereni su sljedeći parametri: interkanina i intermolarna širina u gornjoj i donjoj vilici, incizalni razmak, dubina preklopa, dužina gornjeg i donjeg zubnog luka, te visina nepca. Za analizu su korišćeni t-test, upareni t-test i Pearsonova korelacija. Dva od devet mjerena za predtretman i šest od devet mjerena za posttretman pokazala su razliku. Varijable koje su pokazale odstupanja između ručnih i digitalnih mjerena u predtretmanu bile su maksilarne intermolarna širina i visina nepca, ali razlike nisu imale statistički značaj. Kod modela nakon ortodontskog tretmana, razlike su pronađene u mandibularnoj interkaninoj širini, visini nepca, incizalnom preklopu i razmaku, kao i dužini maksilarnog i mandibularnog luka. Pronađene razlike nisu imale statistički značaj. Ova grupa autora sugerira upotrebu digitalnih modela prije i poslije ortodontskog tretmana. Autori

zaključuju da upotreba digitalnih modela ortodontima nudi mnogo prednosti, kao što je lako skladištenje, uštede na vremenu i prostoru, olakšavanje reprodukcije informacija, te obezbjeđuje čuvanje modela bez rizika od fizičkih oštećenja [105]. Navedeni nalazi autora su u skladu sa rezultatima prezentovanim u ovom radu.

Koretsi i saradnici su ispitivali tačnost i preciznost mjerena na gipsanim modelima digitalnim šestarom i na 3D skeniranim modelima dobijenih pomoću Dentaurum OrthoX scan 3D skenera, dok su mjerena vršena u Ivoris analize3D softverskom paketu. Na 48 otisaka ispitivači su po pet puta ponavljali mjerena na istim mjernim tačkama koristeći oba metoda. Na osnovu tih pet mjerena je izračunata srednja vrijednost. Za izvršena mjerena je izvršena statistička analiza koja je uključivala intraklasni koeficijent korelacije (ICC) i Linov koeficijent korelacije (CCC). Za prihvatljivo odstupanje je uzeto odstupanje od 0,5 mm kao klinički zanemarivo. ICC je iznosio preko 0,7 za 87,2% slučajeva, dok je pouzdanost kod mjerena digitalnih modela bila znatno veća. Sistemska greška je bila manja od 0,5 mm takođe za 87,2 % slučajeva. Pri poređenju dva metoda mjerena, kod 66,7% slučajeva CCC vrijednost je bila iznad 0,7. Autori zaključuju da su oba metoda upotrebljiva uz bolju ponovljivost mjerena na digitalnim modelima, da je digitalni metod mjerena proizveo veće mjerne vrijednosti za širine zuba, te da su oba metoda saglasna u granicama od 0,5 mm za većinu mjerena [106].

Reproducibilnost i tačnost mjerena na digitalnim modelima bili su cilj i istraživanja koje su radili Asquith i saradnici. Jedanaest zadanih tačaka mjereno je na gipsanim modelima i na 3D digitalnim modelima gipsnih otisaka uzetih od deset pacijenata sa kompletnom stalmom denticijom. Referentne tačke za mjerena su označene na modelima za potrebe istraživanja. Skeniranje je izvršeno ARIUS3D skenerom i Pointstream softverom. Dva ispitivača su izvršila dva skupa mjerena sa vremenskim razmakom ne manjim od mjesec dana upotrebom digitalnog šestara i Pointstream 3D Viewer programa. Nakon poređenja dobijenih rezultata, odstupanja su pronađena kod pet od jedanaest mjerena, ali ona nisu imale statistički značaj. Važno je napomenuti da je srednje odstupanje pri mjerenu udaljenosti između referentnih tačaka iznosilo do 0,31 mm za digitalni model pri ponovljenom mjerenu od strane istog ispitivača. Srednja odstupanja pri poređenju dva metoda mjerena su iznosila $0,05 \text{ mm} \pm 0,32 \text{ mm}$ za interkaninalnu širinu, $0,62 \text{ mm} \pm 0,38 \text{ mm}$ za intermolarnu širinu, do 0,38 mm sa maksimalnom standardnom devijacijom od 0,40 mm za meziostalne širine zuba, te $4,78 \text{ mm} \pm 2,48 \text{ mm}$ za dužinu zubnog

luka. Kod mjerena udaljenosti između referentnih tačaka koje eliminišu uticaj odabira tačaka na površini modela za mjerena, dobijena su odstupanja od $0,37 \text{ mm} \pm 0,70 \text{ mm}$ i $0,39 \text{ mm} \pm 0,39 \text{ mm}$. Autori zaključuju da razlike u mjerjenjima manje od $0,5 \text{ mm}$ ili 5% dužine nisu klinički značajne i da se oba metoda mjerena mogu korisiti u kliničkoj praksi [41]. Navedeni zaključci su u skladu sa rezultatima prezentovanim u ovom radu.

Liang i saradnici su ispitivali upotrebljivost 3Shape D800 skenera u kliničkoj praksi poredeći rezultate mjerena na digitalnom modelu sa mjerjenjima na gipsanim studijskim modelima. Ispitivanje je izvršeno na modelima uzetim od 29 pacijenata sa kompletnom stalnom denticijom normalne morfologije prije ortodontske terapije. Modeli su prema stepenu tjeskobe bili podijeljeni u tri grupe: blaga, umjerena i izražena tjeskoba. Mjerena na gipsanim modelima su vršena pomoću digitalnog šestara, a na digitalnim modelima pomoću 3Shape Ortho Analyzer softverskog paketa. Mjerenje 14 parametara je izvršeno od strane dva ortodonta. Podaci su statistički obrađeni i izračunati su intraklasni koeficijenti korelacije (ICC), kao i upareni Studentov t-test. Prezentovani rezultati snažno sugerisu da je opravdana klinička upotreba 3D skeniranih modela, jer su prosječna odstupanja mjerena za dostupan i potreban prostor bila ispod $0,3 \text{ mm}$. ICC je iznosio preko $0,965$, dok je kod 7 od mjereneih 14 parametara pronađena statistički značajna razlika ($p>0,05$). Autori zaključuju da su oba metoda upotrebljiva u kliničkoj praksi, uz potrebnu prethodnu obuku ortodonata za rad u digitalnom okruženju [48]. Navedeni zaključci autora su u skladu sa nalazima ove studije, jer su naša odstupanja po segmentima u istim okvirima, dok je odstupanje na nivou vilice nešto većih vrijednosti, ali i dalje u okviru klinički prihvatljivih odstupanja.

Pouzdanost u planiranju ortodontske terapije na 3D modelima ispitivali su Whetten i saradnici. Dvadeset ortodonata je planiralo terapiju malokuzija druge klase, prvo na gipsanim studijskim modelima, a zatim i na digitalnim modelima, po dva odvojena puta. Napravili su planove terapije i preporuke za liječenje. Nije postojala statistički značajna razlika u planiranju tretmana za malokuzije klase II zasnovane na upotrebi digitalnih modela i tradicionalnih studijskih modela. Koeficijent korelacije se kretao između $0,777$ i $0,870$ za digitalni model-gips i $0,818$ i $0,873$ za gips-gips [107]. Kako je stepen saglasnosti između ova dva metoda i u našem istraživanju vrlo visok i korelacija je kod svih mjerena blizu 1, i ovo istraživanje sugerise da

digitalni ortodontski studijski modeli predstavljaju validnu alternativu tradicionalnim gipsanim studijskim modelima.

Mjerenja dužine i širine zubnog niza, kao i prostorne analize, Nawi i saradnici su poredili na 111 studijskih modela kod pacijenata sa Down-ovim sindromom. Modeli su digitalizovani i mjerenja su rađena po dva puta i na gipsanim i na studijskim modelima da bi se potvrdila pouzdanost na osnovu koeficijenta korelacije (ICC), koristeći nezavisni t-test, te Pearson-ovu korelaciju. Metod analize Bland-Altman je korišćen za procjenu saglasnosti mjerenja između digitalnih i gipsanih modela. Nije bilo statistički značajnih razlika između gipsanih studijskih modela i digitalnih metoda prilikom mjerenja širine luka, dužine luka i analize prostora. Pored toga, svi parametri pokazali su značajan koeficijent korelacije ($r \geq 0.97$) između svih digitalnih i ručnih mjerenja. Nadalje, pronađena je saglasnost između digitalnih i ručnih mjerenja širine luka (90-96%), dužine luka i prostorne analize (95-99%), što je potvrđeno i na Bland-Altman grafikonima [108]. Rezultati dobijeni u našem istraživanju su sličnih vrijednosti, pronađena je visoka korelacija između ispitivanih metoda mjerenja, Blant-Alman grafikoni sugerisu visok nivo saglasnosti, pronađena odstupanja su klinički prihvatljiva, te i ovo istraživanje govori pozitivno u prilog upotrebe digitalnih modela u ortodontskoj praksi.

6.2. Diskusija rezultata mjerenja dobijenih na fotografisanim modelima u aplikaciji OrthoPhoto4D sa rezultatima dobijenim na studijskim i 3D modelima

Prema literaturi dostupnoj u trenutku pisanja ove disertacije, ovo je prvi rad koji direktno poredi fotogrametrijska mjerenja sa mjeranjima izvedenim na 3D skeniranim gipsanim studijskim modelima. U literaturi su zabilježeni radovi u kojima autori porede rezultate fotogrametrijskih mjerjenja sa rezultatima dobijenim ručno na gipsanim studijskim modelima, te radovi koji porede rezultate fotogrametrijskih mjerjenja i mjerena 3D modela lica ispitanika.

Pored toga, ovaj rad upoređuje mjerena izvršena u dva sistema na osnovu digitalnih prikaza - 2D fotogrametrije i 3D skeniranja, dok druge studije tipično upoređuju fotogrametriju sa ručnim mjeranjima na gipsanim studijskim modelima ili koriste 3D modele rekonstruisane upotrebom strukture iz pokreta na osnovu serije fotografija. Opisani fotogrametrijski pristup

uzima u obzir efekat perspektivne distorzije stvorene konačnom razdaljinom između modela i kamere i omogućava mjerjenje u 3D prostoru koristeći skup od četiri fotografije umjesto samo jedne.

Srednja odstupanja između mjerena u OrthoPhoto4D programu i mjerena na 3D modelima kreću se u uskim intervalima i bilo bi moguće smanjiti srednje odstupanje uvođenjem faktora korekcije od približno 0,1 mm za meziostalne širine zuba, te približno 0,2 mm za širine segmenata, interkaninalne i intermolarne širine. Postojanje ovakvog sistemskog odstupanja, koje nije zabilježeno na probnim mjerjenjima referentnih markera, moguće je objasniti činjenicom da je često teško precizno procijeniti tačan položaj tačaka koje određuju, na primjer, meziostalnu širinu zuba, pri čemu ortodonti grijše na stranu sigurnosti i biraju tačku koja sigurno ne leži unutar projekcije zuba. Kod mjerena na 3D modelima tačan izbor tačke je ograničen definisanom površinom zuba u prostoru, tako da svaka izabrana tačka mora ležati unutar projekcije zuba. Bez obzira na navedeno, u svim mjerjenjima su dobijena odstupanja koja nisu značajna u kliničkoj praksi i uporediva su sa drugim izvorima grešaka izazvanim promjenama dimenzija, nastalim na primjer uslijed sušenja otiska gipsa. Odstupanja su takođe uporediva sa odstupanjima dobijenim u studijama ponovljivosti mjerena istog ortodonta istim metodom u dva odvojena mjerena, ili različitih ortodonata u nezavisnim mjerjenjima.

Normando, Da Silva i Mendes su kod 16 pacijenata upoređivali rezultate mjerena na studijskim modelima i rezultate dobijene metodom fotogrametije, ali su koristili samo jednu fotografiju i nisu uzimali u obzir perspektivnu distorziju. Mjerena su radili tako da su pozicionirali mjerni uzorak što je moguće bliže mjernoj ravni za svaku fotografiju. Zabilježili su prosječnu razliku od 0,2 mm do 0,33 mm za pojedinačne širine zuba, razliku od 0,23 mm za gornje intermolarno rastojanje i 0,19 mm za gornje interkanino rastojanje. U donjoj vilici su zabilježene razlike od 0,50 mm za intermolarnu i 0,16 mm za interkaninu širinu. Autori su takođe izvršili upareni t-test koji je imao p vrijednost između <0,01 i 0,8, dok se vrijednost interklasne korelacije kretala od 0,66 do 0,99. Autori ove studije zaključuju da su dobijeni rezultati prihvatljivi jer su zabilježene razlike mjerena uporedive sa razlikama ponovljenih mjerena istog modela i nisu značajne u kliničkoj praksi, jer su blizu rezoluciji ljudskog oka bez pomagala [74].

Al-Katib i saradnici su koristili stereofotogrametrijski sistem za mjerjenje na studijskim modelima i upoređivali ga sa rezultatima dobijenim ručnim mjerjenjem na studijskim modelima. Zahvaljujući korištenju sistema koji se sastojao od dvije kalibrirane kamere i ploče za kalibraciju na kojoj je studijski model fotografisan, omogućena su mjerena u 3D prostoru. Prosječne zabilježene razlike za pojedinačnu širinu zuba su bile ispod 0,21 mm, dok su prosječne greške za interkaninu i intermolarну širinu bile ispod 0,1 mm. Autori ovog istraživanja zaključuju da zbog mjerne razlike ispod 0,5 mm u većini slučajeva ona nema statistički značaj i da su dobijene greške u očekivanom opsegu greške mjerena u kliničkoj praksi [75].

Malik, Abdi-Oskouei i Mandal su poredili fotogrametrijsko mjerjenje sa ručnim mjerjenjima na 30 studijskih modela. Fotografije su snimljene sa 30 cm udaljenosti od objektiva i korištena je milimetarska mjerna traka kao referenca. I u ovom istraživanju su dobijena odstupanja mjerena koja nisu imala statistički značaj, tako da autori predlažu fotogrametrijsko mjerjenje u kliničkoj praksi kao alternativu i zamjenu standardnom ručnom mjerenu [76].

Maki, Ferguson i Stapelberg su analizirali indekse nepravilnosti tako da su poredili rezultate dobijene direktnim mjerjenjem, mjerjenjem 3D modela i upotrebom ImageJ programa [78]. Uzorak za ovo istraživanje je činilo 6 lukova donje vilice prije ortodontske terapije sa različitim stepenima tjeskobe. Mjereni su indeksi neregularnosti, tj. stepena tjeskobe i to na četiri različite metode: direktno digitalnim kaliperom na gipsanim studijskim modelima, sa standardizovane fotografije softverom Image J, iz standaradizovano 2D skeniranog modela i na 3D slici koristeći 3Shape orto analizator softvera. Testiranjem ove studije, pouzdanost mjerena indeksa neregularnosti sa sve četiri metode je bila visoka. Prosječne vrijednosti odstupanja su bile ispod 0,5 mm, tako da su i u ovom istraživanju autori zaključili da dobijeni rezultati nemaju klinički značaj.

U brojnim studijama, uključujući one viđene Leifertom [43], Okunamijem [79] i Asquithom [41], poređeni su rezultati između direktnih vrijednosti dobijenih na gipsanim studijskim modelima i indirektno na njihovim digitalnim replikama. Nakon statističkih analiza došlo se do zaključka da ne postoji statistički značajne razlike između mjernih metoda, jer su razlike 0,5 mm za pojedinačne zube i do 5% za veće mjerne udaljenosti klinički prihvatljive.

Kako je srednje odstupanje dobijeno mjeranjem u našem istraživanju novom fotogrametrijskom metodom ispod 0,2 mm za pojedinačne zube, ispod 0,3 mm za interkanino i intermolarno rastojanje, dok je i najgori srednji slučaj ispod 0,3 mm, možemo zaključiti da naša metoda fotogrametrijskog mjerjenja studijskih modela ima prednosti i bitne razlike u odnosu na metode iz predstavljenih studija, jer ne zahtijeva specijalizovane kamere koje moraju biti kalibrirane pomoću dodatnih komercijalnih softvera, ne zahtijeva veliki broj fotografija i računarski kompleksnog procesa 3D rekonstrukcije, pri čemu se uzimaju u obzir razlike u mjerenu koje su uporedive sa rezolucijom ljudskog oka i nisu značajne u kliničkoj praksi.

Cilj studije koju su radili Manosudprasit i saradnici je bio poređenje dijagnoza i planova terapije na standardnim rdg snimcima i 3D fotogrametrijskim snimcima. Dvanaest ortodonata pregledalo je standardne rdg snimke, a zatim su napisali dijagnozu i popunili upitnike za planiranje liječenja. Proces planiranja terapije ponovljen je 4 do 6 nedjelja kasnije, ali ovaj put uz korištenje 3D fotogrametrijske snimke. Na kraju studije, od svakog ortodonta je zatraženo da popuni anketu kako bi dokumentovao svoja iskustva u upotrebi 3D fotogrametrije. Nakon statističke analize, većina dijagnostičkih odluka imala je isti odgovor unutar i između dva metoda. Visoka korelacija između dva ispitivana metoda, fotogrametrije i rdg snimaka, potvrđena je u ovom istraživanju [109].

Negi i saradnici su u svom istraživanju ispitivali da li se fotogrametrija može koristiti kao pouzdan dijagnostički metod. Za fotografisanje je korištena digitalna kamera (Canon EOS 600D) sa makro objektivom (Sigma EF 105 mm f/2.8, 1:1 OS). Poredili su 11 mjeranja na standardnim profilnim telerendgen snimcima sa analognim tačkama na bočnim fotografijama, prednju fotografiju osmijeha, i analizirali su veličine zuba i zubnih lukova na fotografijama pomoću okuzalnog ogledala. Svi 11 analiziranih parametara pokazalo je jaku korelaciju od 95%, intervali povjerenja (CI) svih parametara pokazali su da je pouzdanost fotogrametrijske metode bila odlična. Autori ovog istraživanja predlažu upotrebu fotogrametrije kao jednostavnu, lako pristupačnu i pouzdanu u ortodontskoj dijagnostici [110].

Cilj studije koju su radili Zogheib i saradnici bila je procjena kliničke primenljivosti analize na 3D skenovima lica upoređivanjem 3D skeniranja lica i 2D fotografija lica. U studiji je učestvovalo 30 ispitanika kojima su snimljene 2D fotografije i kreirani 3D modeli lica. Ispitanici nisu imali istoriju dentofacijalne traume ili kongenitalnih sindroma koji su uzrokovali

malformacije lica. 2D fotografije i 3D skeniranje lica su radili isti operateri. 2D fotografije su snimljene fotoaparatom Minolta Dimage 7i, dok je 3D skeniranje lica vršeno pomoću Proface ProMak® 3D Mida. Tri različite 2D slike su napravljene u standardizovanim uslovima u portretnom režimu: jedan sa nasmijanim licem (frontalna) i dva nenasmijana lica (jedan frontalni i jedan bočni desni profil). Fotografije su standardizovane korišćenjem preciznog ponovljivog postavljanja stativa, kamere i stolice za ispitanika koja ostavlja rastojanje od 1,5 m između ispitanika i objektiva kamere. Nakon fotografisanja, svakom ispitaniku su urađena dva 3D skena lica (jedna nasmijana i jedna nenasmijana). Idenifikovano je ukupno 15 tačaka na licu - 7 pojedinačnih i 4 uparene. Identifikovane su dva puta na svakom od 2D i 3D prikaza. Za postavljanje orientira na 2D slikama korišćen je Adobe Photoshop Creative Cloud. Makilim softver je korišćen za identifikaciju orientacija na 3D modelima. Snimljene linearne mjere sa 2D lica osobe i 3D skeniranje lica ($n=30$) upoređene su sa mjeranjima istih antropometrijskih vrijednosti lica koje su direktno ocijenjene na licu ispitanika s digitalnim šestarom. Autori zaključuju da je greška pri upotrebi 3D modela (1,8%) manja nego pri upotrebi 2D slika (3,3%) te da u 67% slučajeva operater bio mišljenja da je upotreba 3D modela podjednako pouzdana kao i 2D modela [111].

U studiji koju su radili Deli i saradnici predstavljen je 3D fotogrametrijski sistem skeniranja pomoću kojeg je ispitivana funkcionalnost mjerena određenih označenih tačaka na licu. Istraživanje je imalo za cilj da napravi automatsko neinvanzivno mjerjenje bez fizičkog kontakta s ciljem olakšane dijagnostike, kako za pacijenta, tako i za terapeuta. Na plastičnoj glavi na mekotkivnom profilu je označeno 30 tačaka. Glava sa označenim tačkama je digitalizovana fotogrametrijskom metodom i laserskim skenerom Minolta Vivid 910i. Upoređeni su dobijeni rezultati između dva metoda. Razlike za ispitivane tačke kretale su se u prosjeku oko 0.022 mm i 0.038 mm za linearna rastojanja. Studija je pokazala pouzdanost fotogrametrijskih metoda mjerena i ukazala na niske troškove fotogrametrije kao i na njegovu pozitivnu upotrebu za medicinsku digitalizaciju [112]. Navedeni zaključci autora su u skladu sa nalazima naše studije, jer su naša odstupanja između ispitivanja dva metoda, fotogrametrije i skeniranja studijskih modela u sličnim okvirima, te u okviru klinički prihvatljivih odstupanja.

Dindaroglu i saradnici su u svom istraživanju ispitivali tačnost trodimenzionalne (3D) stereofotogrametrije upoređujući je sa direktnim metodama antropometrije i digitalne

fotogrametrije. Takođe je ispitana pouzdanost 3D stereofotogrametrije. U studiju je bilo uključeno 80 ispitanika koji nisu imali ranije operacije na licu, bez kraniofacijalnih defekata i bez specifičnih ožiljaka na licu. Zadate tačke označavala su dva terapeuta po dva puta sa mjesec dana pauze. Na profilima ispitanika mjereno je direktno 6 tačaka, a na anfasu 4. Morfološke tačke koje su potrebne za linearne mjerene utvrđene su inspekcijom i palpacijom, a zatim su označene na licu. Tokom određivanja i mjerena tačaka, pacijenti su bili opušteni i sjedili su u prirodnom položaju glave i sa opuštenim usnama. Za direktno mjerene udaljenosti između četiri različite tačke u prednjoj ravni (exocanthion, endocanthion, cheilion i alare base) korišćen je digitalni šestar, kao i za mjerene rastojanja između sedam različitih tačaka na sagitalnoj ravni (tragus, exocanthion, nasion, pronasale, subnasale, stomion i menton). Mjerena su izvršena pod istim uslovima u prostoriji sa istim osvjetljenjem. U drugoj fazi pacijenti su fotografisani. Prednje i fotografije profila ispitanika snimljene su pod istim uslovima pomoću profesionalne kamere (Canon EOS 40D, Tokio, Japan, Tamron 17-50 mm f/2,8), koja je postavljena na udaljenost od 60 cm od učesnika. Sve fotografije su prenesene na računar, a procedure kalibracije su izvršene pomoću softvera View Box 4.0. Na slici je napravljeno deset linearnih i šest angularnih mjerena. I u trećoj fazi sve 3D stereofotogrametrijske slike dobijene su pomoću 3dMDfleks sistema. Uredaj je kalibriran prije svake fotografije. Nakon statističke analize dobijenih rezultata, najviša srednja razlika iznosila je 0,30 mm između direktnog mjerena i fotogrametrije, 0,21 mm između direktnog mjerena i 3D stereofotogrametrije i 0,5 mm između fotogrametrije i 3D stereofotogrametrije. Najniža vrijednost saglasnosti iznosila je 0,965 u Sn-Pro parametru između fotogrametrije i 3D stereofotogrametrijskog metoda. Saglasnost između dva terapeuta varirala je od 0,90 (Ch-Ch) do 0,99 (Sn-Me) u linearnim mjerenjima. Autori ovog istraživanja sugeruju upotrebu stereofotogrametrije kao preciznu i tačnu za upotrebu u ortodonciji [113].

Pouzdanost i reproducibilnost digitalnih fotografskih mjerena i njihova upotreba za metode analiziranja angulacije zuba bio je cilj istraživanja koje je proveo Amorin sa saradnicima. Digitalne i standardizovane fotografije snimljene su na 12 studijskih modela, nakon čega su prebačene u program radi očitavanja grafičkih vrijednosti angulacije zuba. U ovom postupku, uzorci su postavljeni na staklenoj ploči, na rastojanju od 20 cm od objektiva kamere. Pet fotografija kreirano je po luku: dva bočna - po jedan u svakom luku - fokusirajući drugi premolar, da bi izmjerili ugao prvog molara i premolara; dvije dijagonale i jedan frontalni za

mjerenje centralnih sjekutića. Po ispitaniku je snimljeno deset fotografija, ukupno 120 fotografija, koje su zatim prebačene u računarski softver Microsoft Paint kako bi bila nacrtana okluzalna ravan. Na kraju, slike su uvezene u grafički računarski softver Image Tool kako bi izvršili mjerenje zubne angulacije. U cilju procjene nasumične greške i analiziranja reproducibilnosti, postupci fotografisanja i mjerenja su ponovljeni. Nasumična greška pokazala je varijaciju od 0,77 do 2,55 stepeni za angulaciju zuba. Statistička analiza pokazala je da metod ima odličnu reproducibilnost za sve zube, osim za gornje premolare [114].

Svrha studije koju je radio Abdulkareem sa saradnicima je bila da se odredi preciznost i tačnost antropometrijskih mjerenja lica dobijenih putem trodimenzionalnog fotogrametrijskog sistema. U istraživanju je učestvovalo 30 ispitanika. Na njihovim licima označeno je osamnaest standardnih kraniofacijalnih tačaka. Nakon obilježavanja antropometrijskih tačaka na licu ispitanika, direktna mjerenja su urađena pomoću digitalnog šestara, a zatim je pet fotografija snimljeno pod različitim uglovima i generisan je 3D model. Udaljenost od ispitanika je bila 1,5 m. Ispitanici su bili mirni tokom uzimanje fotografija i čitav postupak je trajao oko 60 sekundi. Da bi se testirala preciznost novog fotogrametrijskog sistema, ispitivači su ponovili proces fotografisanja za svakog ispitanika i izvršena su mjerenja i za ponovljene skupove. Nakon statističke obrade dobijenih rezultata mjerenja, te uradenog uparenog t-testa, pronađene su sistemske greške između dva metoda za sedam mjerenja, ali pronađene razlike nisu imale klinički značaj i bile su ispod 2 mm. Autori ovog istraživanja zaključuju da Photomodeler 3D fotogrametrijski sistem može pružiti tačan i pouzdan sistem za mjerenja lica. Relativno je brz i ne zahtijeva skupu opremu [115].

Upoređivanje upotrebe dvodimenzionalnih slika i trodimenzionalnih modela za ocjenjivanje odnosa zuba unutar zubnih nizova bio je cilj istraživanja koje su radili Dogan i saradnici. Uzorak u ovom istraživanju se sastojao od gipsanih studijskih modela, 2D fotografija i 3D modela 70 pacijenata sa jednostranim i potpunim rascjepom usne i nepca. Dva iskusna ispitivača koristila su Goslonovu mjeru za ocjenu odnosa između zuba. Ocjene su izvršene tri puta za sve grupe. U svim i za sve grupe ponovljivost je bila dobra sa srednjom greškom između 0,86 i 0,96. Autori ovog istraživanja su zaključili da 2D i 3D snimanje zubnih modela predstavljaju validnu alternativu za stvarne gipsane studijske modele za ocenjivanje dentalnih odnosa [116].

6.3. Protokol za fotogrametrijsko snimanje studijskih modela

Kako program OrthoPhoto4D koristi skup od četiri fotografije u svrhu mjerenja, od presudnog je značaja da fotografije gipsanih studijskih modela budu zadovoljavajućeg kvaliteta. Iako je pri projektovanju sistema ugrađen određeni stepen robusnosti koji će biti opisan u nastavku teksta, jedan od izlaza ove disertacije je i definisanje protokola snimanja čijim poštovanjem se obezbjeduje kvalitetan i ponovljiv rezultat.

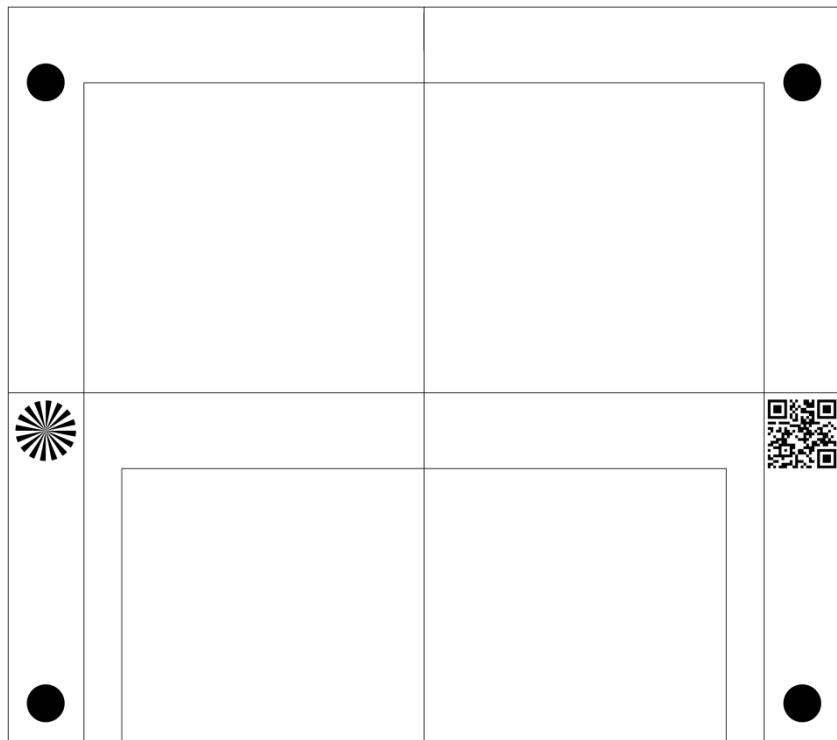
Osnovni fizički dio kreiranog sistema je nosač modela koji omogućava efikasno fotografisanje sa četiri potrebne strane. Sama konstrukcija nosača studijskih modela je već opisana u poglavlju 4.2. dok je prikaz dat na slici 20. Nosač se sastoji od četiri dijela koja su izrađena od bloka aluminijuma upotreboom CNC mašina na osnovu kreiranog 3D modela. Upotreba ovog metala omogućava jednostavnu obradu, te relativno malu masu dijelova, jer je riječ o lakom metalu. Određena masa dijelova je ipak poželjna jer povećava stabilnost sistema i umanjuje mogućnost slučajnog pomijeranja dijelova sistema koje može biti problem kod uređaja koji koriste polikarbonate kao materijal. Odabrani aluminijum se takođe pokazao kao otporan na habanje u svakodnevnoj upotrebi.

Na slici 34 je dat izgled šablonu koji predstavlja lice prednje ploče. Na šablonu su uočljivi sljedeći elementi:

- Četiri kružna markera koji definišu radni prostor sistema. U procesu obrade fotografije ovi markeri služe za otklanjanje eventualne rotacije kamere po uzdužnoj osi, a slika biva isječena do njihovih centara. Za markere je odabran krug jer je izračunati centar kruga uvijek isti bez obzira na to da li je krug u fokusu ili se nalazi van polja fokusa. Ova osobina dolazi do izražaja kod zadnje ploče o kojoj će više riječi biti kasnije.
- Siemens zvijezda sa lijeve strane kao cilj za fokusiranje kamere. Prednja ploča je postavljena na takav način da se sredina polja fokusa nalazi upravo na prednjoj ploči što omogućava da se svi relevantni elementi (prednja i zadnja ploča, model, te QR kodovi) nalaze u dovoljno dobrom fokusu.
- QR kod koji definiše parametre sistema. U konkretnom slučaju, QR kod sadrži informaciju da je udaljenost između kružnih markera prednje ploče 100 mm

horizontalno, 84 mm vertikalno, te da su markeri na zadnjoj ploči udaljeni 70 mm horizontalno. Upotrebom QR kodova je moguće korisiti različite prednje ploče bez potrebe da se vrši dodatno podešavanje programa u fazi mjerjenja, a i smanjena je mogućnost ljudske greške pri unosu podataka.

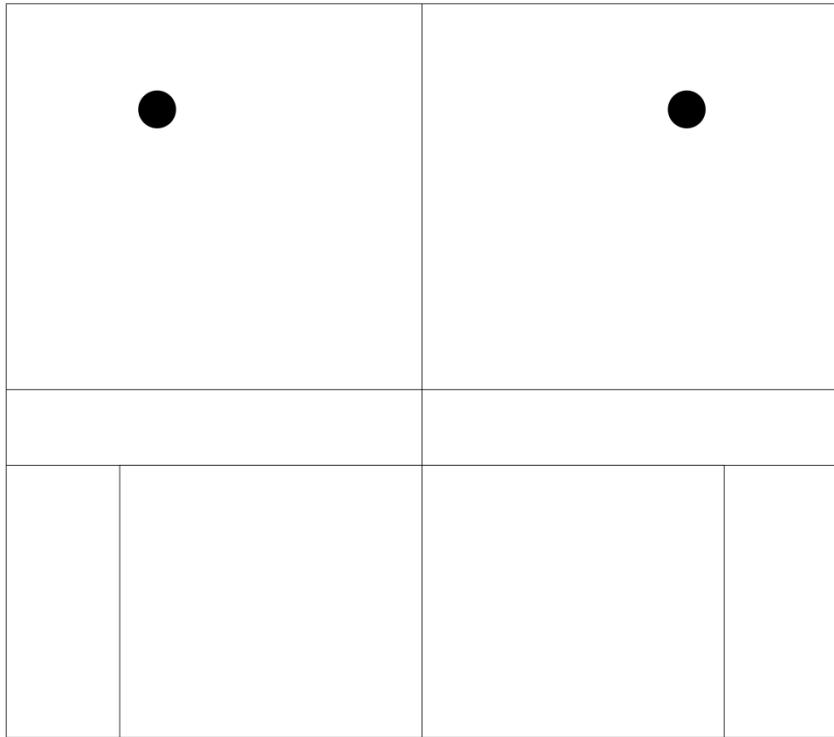
- Kako je srednji dio šablona isječen, horizontalne i vertikalne linije (vodilje) na sredinama strana služe za poravnavanje kamere prema ravni ploče. Naime, ukoliko **se** linije vodilje sa prednje ploče nastavljaju na linije vodilje zadnje ploče kamera je postavljena pod pravim uglom u odnosu na ravan prednje ploče. Ovo je jednostavan i robusan sistem za poravnavanje koji ne zahtijeva komplikovane uređaje ili upotrebu ogledala.



Slika 34. Šablon prednje ploče nosača

Na slici 35 je dat prikaz šablona zadnje ploče. Ovaj šablon sadrži:

- Par kružnih markera čija je udaljenost navedena u QR kodu na prednjoj ploči.
- Linije vodilje za poravnavanje sistema na prethodno opisan način.
- Linije koje označavaju pravilan položaj nosača modela.

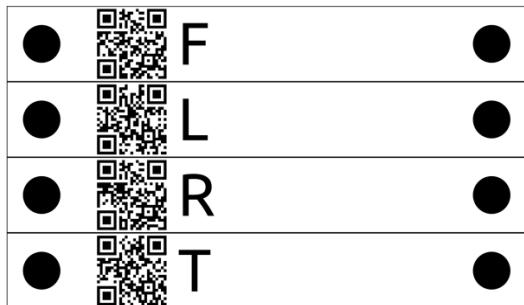


Slika 35. Šablon zadnje ploče nosača

Na slici 36 je dat prikaz šablona koji se postavljaju na četiri strane pokretnog nosača modela. Svaki od šablona sadrži:

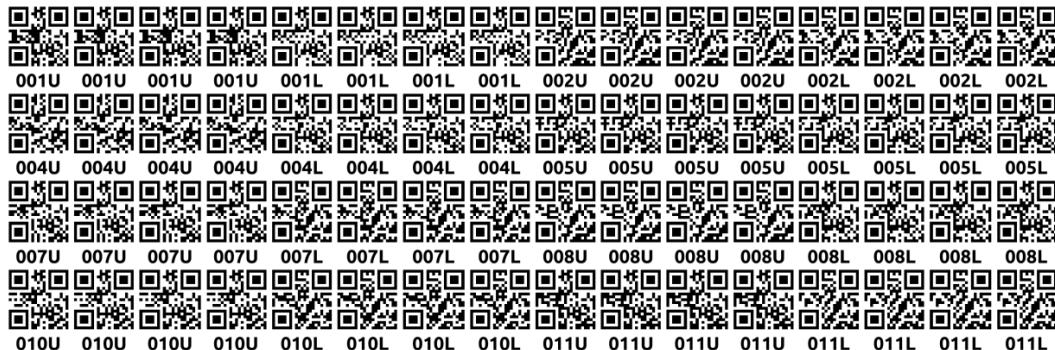
- Par kružnih markera koji se koriste za automatsku kalibraciju sistema.
- QR kod koji sadrži informacije o strani i dimenzijama nosača. Na ovaj način je omogućena promjena dimenzija nosača ukoliko dođe to takve potrebe bez izmjena softvera i uz potpunu automatizaciju. U našem slučaju se radi u nosaču od 80 mm sa centrom rotacije na 40 mm od ivice.
- Veliko štampano slovo koje takođe označava stranu i služi kao vizuelni indikator operateru.

Kako se ovi šabloni ne koriste u samom procesu mjerjenja nije kritično njihovo precizno pozicioniranje. Dozvoljen je i proizvoljan stepen rotacije, ali se preporučuje postavljenje horizontalno uz gornju ivicu nosača za šablove sa oznakama F, L i R, dok se šablon sa oznakom T postavlja na donjoj strani nosača, kao što je prikazano na slici 20.



Slika 36. Prikaz četiri šablona za strane pokretnog nosača modela

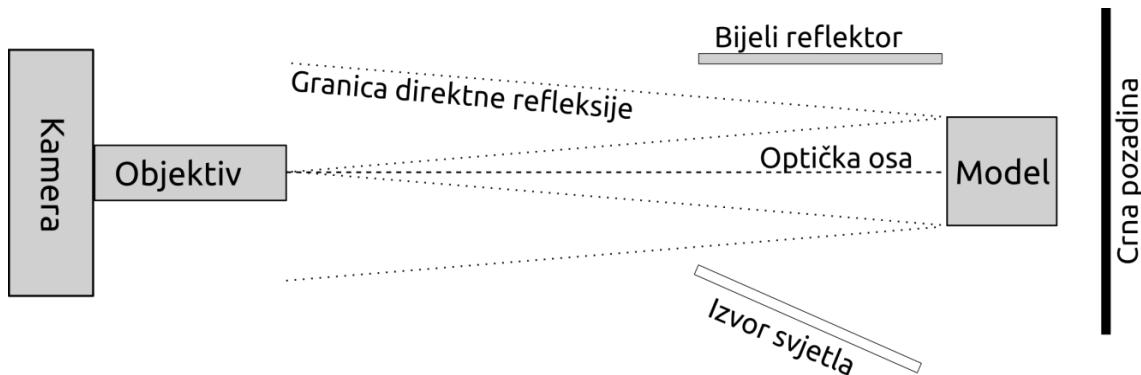
U cilju poboljšanja automatizacije procesa i smanjivanja mogućnosti ljudske greške, kreirani su i QR kodovi koji se lijepe na gipsane modele sa sve četiri strane i na maksilu i na mandibulu što znači da je potrebno osam kodova po modelu. Ovi kodovi su vrlo jednostavnii i sadrže samo identifikaciju modela, npr. 027U označava da je riječ o maksili modela broj 27. Ispod QR koda je i tekstualna reprezentacija sadržaja QR koda koja olakšava rad ljudskim operaterima. Preporučuje se štampanje na kvalitetnoj samoljepljivoj bijeloj foliji, te uklanjanje prašine i drugih nečistoća sa modela prije postavljanja naljepnice. U toku istraživanja nije bilo problema sa otpadanjem oznaka sa modela. Dio unosa je predstavljen na slici 37.



Slika 37. Primjer identifikacionih QR kodova studijskih modela

Iako sistem ne zavisi u značajnoj mjeri od izvora svjetla u toku fotografisanja i omogućava i upotrebu dnevnog svjetla, preporučuje se upotreba kontrolisanih izvora svjetla jer na taj način kreiramo fotografije koje su jednoobrazne i omogućavaju operateru komforniji rad uz manji zamor očiju. Svjetlo treba da osvjetljava model na takav način da se izbjegne direktni odsjaj na aluminijumskim dijelovima, da se izbjegne izrazito neravnomjerno osvjetljenje na modelu, ali da postoji dovoljno razlike u nivou svjetla da postoje sjene koje olakšavaju operateru da pronađe odgovarajuće tačke na modelu. Preporučuje se upotreba konstantnih izvora svjetla

(npr. LED paneli) jer je jednostavnije pozicioniranje izvora ukoliko možemo da vidimo efekte u realnom vremenu. Na slici 38 je dat jedan mogući primjer osvjetljenja iz gornje perspektive.



Slika 38. Primjer organizacije osvjetljenja

Na osnovu svega navedenog, možemo formulisati protokol koji je korišćen u toku izrade ovog istraživanja:

1. Svaki studijski model mora biti jasno označen odgovarajućim identifikacionim QR kodovima sa sve četiri relevantne strane.
2. Nosač modela mora imati QR kodove koji sadrže sve podatke neophodne za proces mjerjenja, kao i mjerne markere saglasne sa navedenim podacima.
3. Direktni i indirektni izvori svjetla moraju osvjetljavati model na takav način da se izbjegne direktne refleksije ili veliki kontrast sjena, ali da je i dalje lako pronaći potrebna obilježja na modelu.
4. Kamera mora biti postavljena na takav način da optička osa prolazi kroz centar nosača modela pod pravim uglom u odnosu na ravan prednje ploče što postižemo poravnavanjem odgovarajućih linija vodilja.
5. Preporučuje se upotreba kvalitetnih kamera i objektiva čime se eliminišu problemi vezani za aberacije objektiva.
6. Preporučuje se upotreba daljinskih okidača za kameru kako bismo izbjegli potrese kamere u toku fotografisanja.
7. Fokusiranje se vrši na Siemens zvijezdi na prednjoj ploči. Dubina polja fokusa se bira na takav način da su svi potrebni elementi u fokusu. Za polaznu osnovu se može uzeti otvor blende od f/22 za kamere sa APS-C senzorom.

8. Model se postavlja u nosač, fiksira se zavrtnjem i vrši se fotografisanje sa četiri strane, počevši od strane označene sa T.
9. Ukoliko kamera ima tu mogućnost, preporučljivo je vršiti kontrolu fotografija neposredno nakon pravljenja istih, idealno na povezanom računaru. Alternativno je moguće naknadno izvršiti ponavljanje određenih fotografija ukoliko je došlo do bilo kakvih problema.
10. Po završetku fotografisanja, dobijeni fajlovi se uvoze u OrthoPhoto4D program. Izlaz predstavljaju JPEG fajlovi koji u sebi sadrže metapodatke potrebne za proces mjerena, a koji su organizovani u odgovarajuće direktorijume, po jedan direktorijum za svaki studijski model.
11. Proces mjerena se obavlja odabirom željene mjere, te pronalaskom početne i završne tačke udaljenosti u dvije projekcije.
12. Po završenom procesu mjerena podaci se čuvaju u JSON formatu pogodanom za naprednu obradu.

7. ZAKLJUČAK

U ovom radu je predstavljen novi način upotrebe fotogrametrije u ortodontskoj analizi studijskih modela, zasnovan na upotrebi četiri fotografije, namjenski kreiranog nosača modela i novorazvijenog softvera. Izvršeno je detaljno poređenje rezultata mjerena sa klasičnim ručnim mjeranjima na gipsanim studijskim modelima, kao i sa mjeranjima na skeniranim 3D modelima.

Na osnovu provedenih mjerena i statističke obrade dobijenih rezultata možemo zaključiti da je opravdana upotreba fotogrametrije u ortodontskoj dijagnostici i terapiji kao alternativa klasičnim ručnim mjeranjima na gipsanim studijskim modelima i mjeranjima na 3D skeniranim studijskim modelima.

Bliži zaključci su:

1. Izvršeno je mjerenje i analiza rezultata za 40 pojedinačnih veličina na 50 kompletnih studijskih modela. Nije pronađena klinički značajna razlika u rezultatima mjerena izvršenim u okviru namjenski razvijenog fotogrametrijskog programa OrthoPhoto4D i rezultatima mjerena dobijenih na gipsanim studijskim i 3D modelima. Za veliku većinu poređenja nisu pronađena statistički značajne razlike, a i u slučajevima gdje su one pronađene, bile su zanemarive sa kliničkog stanovišta.
2. Nakon provedene Lundstromove i Boltonove analize nisu pronađene razlike značajne u ortodontskoj dijagnostici.
3. Definisani protokol za fotogrametrijska mjerena se pokazao kao efikasan i jednostavan metod digitalizacije studijskih modela sa svrhom mjerena. U poređenju sa pristupima opisanim u dostupnoj literaturi, ovaj protokol ne zahtijeva specijalizovani komercijalni hardver i softver za skeniranje niti precizno kalibrисane stereo kamere, što snižava troškove upotrebe.
4. Razvijeni program OrthoPhoto4D omogućava vršenje mjerena na fotografisanim studijskim modelima na jednostavan način i ne zahtijeva napredne računarske resurse, te omogućava razmjenu podataka u standardizovanoj i otvorenoj formi.

8. LITERATURA

1. Hatcher DC, Aboudara CL. Diagnosis goes digital. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics, 2004;125(4):512-515.
2. Nakaš E, Tiro A, Džemidžić V, Redžepagić-Vražalica L, Ajanović M. Osnovi ortodotske dijagnostike. Sarajevo - Stomatološki fakultet sa klinikama, 2014.
3. Jakšić N, Šćepan I, Glišić B. Ortodotska dijagnostika. Beograd, 2004.
4. Marković M. Ortodoncija. Beograd. Ortodotska sekcija Srbije, 1982.
5. Tanić T, Milić J, Radojičić J. Uvod u osnovne principe dijagnostike i terapije u ortopediji vilica. Pančevo, 2009.
6. Paredes V, Gandia JL, Cibrián R. Digital diagnosis records in orthodontics. An overview, Medicinal oral patología oral y cirugía bucal, 2006;11(1):88-93.
7. Bolton WA. Thesis for masters degree, University of Washington. Th 7180;1952:1-40.
8. Bolton WA. Disharmonies in tooth size and its relation to the analysis and treatment of malocclusions. The Angle Orthodontist, 1958;28:113-30.
9. Rheude B, Sadowsky PL, Ferriera A, Jacobson A. An Evaluation of the Use of Digital Study Models in Orthodontic Diagnosis and Treatment Planning. The Angle Orthodontist, 2005; 75(3):300-304.
10. Zilberman O, Huggare JAV, Parikakis KA. Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models. The Angle Orthodontist, 2003;73(3):301-306.
11. Ilić DV, Stojanović L. Application of digital radiography for measuring in clinical dental practice. Srpski arhiv za celokupno lekarstvo, 2015;143(1-2):16-22.
12. Majstorović NV, Mačužić J, Glišić B. Referent Geometric Entities in Orthodontics on 3D Models. Stomatološki glasnik Srbije, 2014;61(2):102-110.

13. Demirović D. Osnovi fiksne tehnike u ortodonciji. Stomatološki fakultet Sarajevo, 2005.
14. Heid DW, Chasteen J, Forrey AW. The electronic oral health record. *Journal of contemporary dentistry*, 2002;3(1):4-54.
15. Szeliski R., Computer Vision: Algorithms and Applications, Springer, 2010, 577-613.
16. Dongming L, Yunhe P. Digital Preservation for Heritages: Technologies and Applications, Springer Science & Business Media, 2011;12-18.
17. Sensen ChW, Hallgrímsson B. Advanced Imaging in Biology and Medicine: Technology, Software Environments, Applications, Springer Science & Business Media, 2008;86-94.
18. Bernardini F, Rushmeier H. The 3D model acquisition pipeline, *Computer graphics forum*, 2002;21(2):149-172.
19. COMETL3D-Compact3DSensor,
<http://optotechnik.zeiss.com/en/products/3dscanning/comet-l3d>
20. Patzelt SB, Emmanouilidi A, Stampf S, Strub JR, Att W. Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clinical oral investigations*, 2014;18(6):1687-1694.
21. Mezio M . Digital models in orthodontic diagnosis: a review, 2017.
22. Russel Mullen S, Martin CA, Ngan P, Gladwin M. Accuracy of space analysis with emodels and plaster models. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2007;132(3):346-52.
23. Schirmer UR, Wiltshire WA. Manual and computer-aided space analysis: a comparative study. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 1997;112(6):676-680.
24. Czarnota J, Hey J, Fuhrmann R. Measurements using orthodontic analysis software on digital models obtained by 3D scans of plaster casts. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 2016;77(1):22-30.

25. Kiviahde H, Bukovac L, Jussila P, Pesonen P, Sipilä K, Raustia A, Pirttiniemi P. Inter-arch digital model vs. manual cast measurements: Accuracy and reliability. CRANIO®, 2018;36(4):222-227.
26. Rosenberg H, Sander M, Poslunsb J. The effectiveness of computer-aided learning in teaching orthodontics: A review of the literature. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics, 2005;127(5):599-605.
27. Quimby ML, Vig KW, Rashid RG, Firestone AR. The accuracy and reliability of measurements made on computer-based digital models. The Angle Orthodontist, 2004;74(3):298-30.
28. Zilberman O, Huggare JA, Parikakais KA. Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models. The Angle Orthodontist, 2003;73(3):301-306.
29. Fleming PS , Marinho V, Johal D. Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. Orthodontics & craniofacial research, 2011;14(1):1-16.
30. Majstorović NV, Živković S, Glišić B. The advanced model definition and analysis of orthodontic parameters on 3D digital models. Srpski arhiv za celokupno lekarstvo, 2017;145(1-2):49-57.
31. Redlick M, Weinstock T, Abed Y, Schneor R, Holdstein Y, Fischer A. A new system for scanning, measuring and analyzing dental casts based on a 3D holographic sensor. Orthodontic and craniofacial research, 2008;11(2):90-95.
32. El-Zanaty HM. Three-dimensional dental measurements: an alternative to plaster models. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics, 2010;137(2):259-265.
33. Keating AP, Knox J, Bibb R, Zhurov AI. A comparison of plaster, digital and reconstructed study model accuracy. Journal of orthodontics, 2008;35(3):191-201.

34. Ireland J, McNamara C, Clover MJ, House K, Wenger N, Barbour ME, Alemzadeh K, Zhang L, Sandy JR. 3D surface imaging in dentistry - what we are looking at. *British Dental Journal*, 2008;205(7):387-392.
35. Barone S, Paoli A, Razonale AV. Creation of 3D Multi-Body Orthodontic Models by Using Independent Imaging. *Sensors*, 2013;13(2):2033-2050.
36. Schwenzer-Zimmerer K, Haberstok J, Kovacs L, Boerner BI, Schwenzer N, Juergens P, Zeilhofer HF, Holberg C. 3D Surface Measurement for Medical Application-Technical Comparison of Two Established Industrial Surface Scanning Systems. *Journal of medical systems*, 2007;32(1):59-64.
37. Horton HMI, Miller JR, Gaillard PR, Larson BE. Technique Comparison for Efficient Orthodontic Tooth Measurements Using Digital Models. *The Angle Orthodontist*, 2010; 80(2): 254-261.
38. Nalcaci R, Topcuoglu T, Ozturk F. Comparison of Bolton analysis and tooth size measurements obtained using conventional and three-dimensional orthodontic models. *European Journal of Dentistry*, 2013;7(1):66-70.
39. Rosseto MC, Palma FMC, Ferreira RI, Pinzan A, Verreira RI. Comparative study od dental arch width in plaster models, photocopies and digitized images. *Brazilian oral research*, 2009;23(2):190-195.
40. Garino F, Garino GB. From Digital Casts to Digital Occlusal Set-up: An Enhanced Diagnostic Tool. *World Journal of Orthodontics*, 2003;4(2).
41. Asquit J, Gillgrass T, Mossey P. Three-dimensional imaging of orthodontic models: a pilot study. *The European Journal of Orthodontics*, 2007;29(5):517-522.
42. 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. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 2006; 129(6):794-803.

43. Leifert MF, Leifert MM, Efstratiadis SS, Cangialosi TJ. Comparison of space analysis evaluations with digital models and plaster dental casts. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics, 2009;136(1):16-e1.
44. Bootvong K, Liu Z, McGrath C, Hägg U, Wong RW, Bendeus M. Virtual model analysis as an alternative approach to plaster model analysis: reliability and validity. The European Journal of Orthodontics, 2010;32(5):589-595.
45. Chen H, Lowe A, Almeida F, Fleetham J, 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, 2008;134(3):393-407.
46. Watanabe-Kanno GA, Abrão J, Junior HM, Sánchez-Ayala A, Lagravère MO. Determination of tooth-size discrepancy and Bolton ratios using Bibliocast Cécile3 digital model. International Orthodontics, 2010;8(3):215-226.
47. Yoon JH, Yu HS, Choi Y, Choi TH, Choi SH, Cha JY. Model Analysis of Digital Models in Moderate to Severe Crowding: In Vivo Validation and Clinical Application. BioMed research international, 2018.
48. Liang YM, Rutchakitprakarn L, Kuang SH, Wu TY. Comparing the reliability and accuracy of clinical measurements using plaster model and the digital model system based on crowding severity. Journal of the Chinese Medical Association, 2018;81(9):842-847.
49. Galante DL. History and current use of clinical photography in orthodontics. Journal of the California Dental Association, 2009;37(3):173-174.
50. Anić-Milošević S, Šlaj M, Lapter-Varga M. Osnovna načela snimanja ekstraoralnih fotografija. Acta Stomatologica Croatica, 2005;39(2):195-200.
51. Al-Khatib AR. Facial three dimensional surface imaging: An overview. Archives of Orofacial Sciences, 2010;5(1):1-8.
52. Ciobanu O, Mariana R. Photogrammetric Scanning and Applications in Medicine. Applied Mechanics & Materials, 2014.

53. Desai V, Dipika B. Digital dental photography: a contemporary revolution. International journal of clinical pediatric dentistry, 2013;6(3):193.
54. Casaglia A, De Dominicis P, Arcuri L, Gargari M, Ottria L. Dental photography today. Part 1: Basic concepts. Oral & implantology, 2015;8(4):122.
55. Stoner MM. A photometric analysis of the facial profile. American journal of orthodontics, 1955;41(6): 453-469.
56. Porter JP. The average African American male face: an anthropometric analysis. Archives of facial plastic surgery, 2004;6(2):78-81.
57. Choe KS, Sclafani AP, Litner JA, Yu GP, Romo T III. The Korean American woman's face: anthropometric measurements and quantitative analysis of facial aesthetics. Archives of facial plastic surgery, 2004;6(4):244-252.
58. Fernández-Riveiro P, Smyth-Chamosa E, Suárez-Quintanilla D, Suárez-Cunqueiro M. Angular photogrammetric analysis of the soft tissue facial profile. European Journal of Orthodontics, 2003; 25(4):393-399.
59. Bishara SE, Jorgensen GJ, Jakobsen JR. Changes in facial dimensions assessed from lateral and frontal photographs. Part I-Methodology. American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics, 1995; 108(4):389-393.
60. Douglas TS. Image processing for craniofacial landmark identification and measurement: a review of photogrammetry and cephalometry. Computerized Medical Imaging and Graphics, 2004;28(7):401-409.
61. Farkas LG, Katic MJ, Forrest CR, Alt KW, Basic I, Baltadjiev G. International anthropometric study of facial morphology in various ethnic groups/races. Journal of craniofacial surgery, 2005;16(4):615-646.
62. Akter L, Hossain MZ. Angular photogrammetric soft tissue facial profile analysis of Bangladeshi young adults. APOS Trends in Orthodontics, 2017;7(6):279-286.

63. Ajami S, Najafi HZ, Mahdavi S. Angular photogrammetric analysis of the soft tissue facial profile of Iranian young adults. *Iranian Journal of Orthodontics*, 2015;10(2).
64. Devi LB, Das A, Keisam A. Evaluation of soft tissue facial profile in adult bengali population by photogrammetric method with angular measurements. *International Journal of Contemporary Medical Research*, 2016;3:1336-9.
65. Pandian KS, Krishnan S, Kumar SA. Angular photogrammetric analysis of the soft-tissue facial profile of Indian adults. *Indian Journal of Dental Research*, 2018;29(2):137.
66. Andrade LM. Repeatability study of angular and linear measurements on facial morphology analysis by means of stereophotogrammetry. *Journal of Craniofacial Surgery*, 2017;28(4):1107-1111.
67. Arapović-Savić M, Umićević-Davidović M, Arbutina A, Savić M. Linear measurements of facial morphology using automatic aproach. *Stomatološki glasnik Srbije*, 2016;63(2):66-73.
68. Zogheib T, Jacobs R, .Bornstein MM, Agbaje JO, Anumendem D, Klazen Y, Politis C. Comparison of 3D Scanning Versus 2D Photography for the Identification of Facial Soft-Tissue Landmarks. *The open dentistry journal*, 2018;12:61-71.
69. Kasser M, Egels Y. Digital photogrammetry. London: Taylor & Francis; 2002,300-339.
70. Stojaković V, Generisanje prostora na osnovu perspektivnih slika i primena u oblasti graditeljskog nasleđa, doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2011.
71. Fahim R, Thakur R. Digital dental photography: The guidelines for a practical approach. *TMU Journal of Dentistry*, 2014:106-112.
72. Lato MJ, Bevan G, Fergusson M. Gigapixel imaging and photogrammetry: development of a new long range remote imaging technique. *Remote Sensing*, 2012;3006-3021.
73. Gover A. Encyclopedia of Modern Optics. Elsevier Oxford, 2005:431-459.

74. Normando D, Lima da Silva P, Mendes ÁM. A clinical photogrammetric method to measure dental arch dimensions and mesio-distal tooth size. *The European Journal of Orthodontics*, 2011;33(6):721-726.
75. Al-Khatib AR, Rajion ZA, Masudi SA, Hassan R, Townsend GC. Validity and reliability of tooth size and dental arch measurements: a stereo photogrammetric study. *Australian orthodontic journal*, 2012;28(1):22.
76. Malik OH, Abdi-Oskouei M, Mandall NA. An alternative to study model storage. *The European Journal of Orthodontics*, 2008;31(2):156-159.
77. Fu X, Peng C, Li Z, Liu S, Tan M, Song J. The application of multi-baseline digital close-range photogrammetry in three-dimensional imaging and measurement of dental casts. *PloS one*, 2017;12(6):0178858.
78. Makki L, Ferguson DJ, Stapelberg R. Measuring irregularity index: Comparing study cast caliper method with 2D dimensional ImageJ photogrammetry and 3D STL image measurement. *APOS Trends in Orthodontics*, 2017;7(6):260.
79. Okunami TR, Kusnoto B, BeGole E, Evans CA, Sadowsky C, Fadavi S. Assessing the American Board of Orthodontics objective grading system: digital vs plaster dental casts. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2007;131(1):51-56.
80. ISO - International Organization for Standardization [Internet]. ISO/IEC 18004:2015 - Information technology -- Automatic identification and data capture techniques -- QR Code bar code symbology specification. 2015 [citirano 8.3.2018.]. Dostupno na: <https://www.iso.org/standard/62021.html>.
81. Boult TE, Wolberg G. Correcting chromatic aberrations using image warping. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 1992. Proceedings CVPR'92., 1992 IEEE Computer Society Conference on. IEEE, 1992:684-687.
82. ZBar bar code reader [Internet]. ZBar bar code reader. 2018 [citirano 8.3.2018.]. Dostupno na: <http://zbar.sourceforge.net>.

83. OpenCV library [Internet]. OpenCV library. 2018 [citirano 8.3.2018.]. Dostupno na: <https://opencv.org>.
84. P. Bourke, PLY - Polygon File Format, [Internet]. PLY - Polygon File Format. 2018 [citirano 8.3.2018.]. Dostupno na: <http://paulbourke.net/dataformats/ply/>.
85. Potenziani M, Callieri M, Dellepiane M, Corsini M, Ponchio F, Scopigno R. 3DHOP: 3D heritage online presenter. Computer Graphics, 2015;52:129-141.
86. Barth A, "The Web Origin Concept", Nov. 2010, [Internet]. IETF Tools. 2018 [citirano 8.3.2018.]. Dostupno na: <http://tools.ietf.org/html/draft-abarth-origin>.
87. Potenziani M, Callieri M, Dellepiane M, Corsini M, Ponchio F, Scopigno R. 3DHOP: 3D heritage online presenter. Computers & Graphics, 2015;52:129-41.
88. Di Benedetto M. SpiderGL: a JavaScript 3D graphics library for next-generation WWW. In: Proceedings of the 15th International Conference on Web 3D Technology. ACM, 2010:165-174.
89. Bray T, Ed. The JavaScript Object Notation (JSON) Data Interchange Format [Internet]. RFC Editor. 2018 [citirano 8.3.2018.]. Dostupno na: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc8259>.
90. Erten O, Yilmaz BN. Three-Dimensional Imaging in Orthodontics. Turkish journal of orthodontics. 2018.
91. Lane C, Harrell W Jr. Completing the 3-dimensional picture. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2008;133(4):612-20.
92. Palomo JM, Yang C, Hans MG. Clinical Application of Three-Dimensional Craniofacial Imaging in Orthodontics. Journal of medical scinces Taipei, 2005;25(6):269-78.
93. Hajeer MJ, Millett DT, Ayoub AF, Siebert JP. Applications of 3D imaging in orthodontics: Part I. Journal of orthodontics, 2004;31(1):62-70.
94. Leung CYV. Digital models as an alternative to plaster casts in assessment of orthodontic treatment outcomes. The Scientific World Journal, 2018.

95. Rebong RE, Stewart KT, Utreja A, Ghoneima AA. Accuracy of three-dimensional dental resin models created by fused deposition modeling, stereolithography, and Polyjet prototype technologies: A comparative study. *The Angle Orthodontist*, 2018;88(3):363-369.
96. Porto BG, Porto TS, Silva MB. Comparison of linear measurements and analyses taken from plaster models and three-dimensional images. *The journal of contemporary dental practice*, 2014;15:681-687.
97. Kiviahde H. Inter-arch digital model vs. manual cast measurements: Accuracy and reliability. *CRANIO®*, 2008;36(4):222-227.
98. Kuijpers MA. Regional facial asymmetries in unilateral orofacial clefts. *European Journal of Orthodontics*, 2015;37(6):636-642.
99. Kau CH, Richmond S, Zhurov AI, Knox J, Chestnutt I, Hartles F. Reliability of measuring facial morphology with a 3-dimensional laser scanning system. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2005;128(4):424-30.
100. Djordjevic J, Lewis BM, Donaghy CE, Zhurov AI, Knox J, Hunter L. Facial shape and asymmetry in 5-year-old children with repaired unilateral cleft lip and/or palate: an exploratory study using laser scanning. *European Journal of Orthodontics*, 2012;36(5):497-505.
101. Jeon H, Lee SJ, Kim TW, Donatelli RE. Three-dimensional analysis of lip and perioral soft tissue changes after debonding of labial brackets. *Orthodontics & craniofacial research*, 2013;16(2):65-74.
102. Kusnoto B, Evans CA. Reliability of a 3D surface laser scanner for orthodontic applications. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2002;122(4):342-348.
103. Schmidt F. Novel Method for Superposing 3D Digital Models for Monitoring Orthodontic Tooth Movement. *Annals of biomedical engineering*, 2018:1-13.
104. Murad SM, Al-Mulla AA: Accuracy of measurements made on digital and study models (A comparative study). *Malaysian Dental Journal*, 2010;7(1):71-82.

105. Jiménez-Gayosso SI. Difference between manual and digital measurements of dental arches of orthodontic patients. *Medicine*, 2018; 97(22):e10887.
106. Koretsi V, Tingelhoff L, Proff P, Kirschneck C. Intra-observer reliability and agreement of manual and digital orthodontic model analysis. *European Journal of Orthodontics*, 2017;40, (1):52-57.
107. Whetten JL, Williamson PC, Heo G, Varnhagen C, Major PW. Variations in orthodontic treatment planning decisions of Class II patients between virtual 3-dimensional models and traditional plaster study models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2006;130(4):485-491.
108. Nawi N, Mohamed AM, Marizan M, Ashar NA. Correlation and agreement of a digital and conventional method to measure arch parameters. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 2018; 79,(1):19-27.
109. Manosudprasit A. Diagnosis and treatment planning of orthodontic patients with 3-dimensional dentofacial records. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2017;151(6):1083-1091.
110. Negi G. Photogrammetric Correlation of Face with Frontal Radiographs and Direct Measurements. *Journal of clinical and diagnostic research*, 2017;11(5):79.
111. Zogheib T. Suppl-1, M2: Comparison of 3D Scanning Versus 2D Photography for the Identification of Facial Soft-Tissue Landmarks. *The open dentistry journal*, 2018;12:61.
112. Deli R, Di Gioia E, Galantucci LM, Percoco G. 3D Facial Landmark Models for Soft Tissue Analysis with The 3D 3Cameras StereoPhotogrammetry. *85th EOS Congress of the European Orthodontics Society*, Helsinki, 2009:10-14.
113. Dindaroğlu F, Kutlu P, Duran GS, Görgülü S, Aslan E. Accuracy and reliability of 3D stereophotogrammetry: A comparison to direct anthropometry and 2D photogrammetry. *The Angle Orthodontist*, 2016;86(3):487-494.
114. Amorim JR, Macedo DV, Normando D. Evaluation of a photographic method to measure dental angulation. *Dental press journal of orthodontics*, 2014;19(2):84-9.

115. Abdulkareem SE, Shwan E, Al-Mothaffar N. Accuracy and precision of a photographic system for the three-dimensional study of facial morphology. Journal of Baghdad college of dentistry, 2012;24(1):138-145.
116. Dogan S, Olmez S, Semb G. Comparative assessment of dental arch relationships using goslon yardstick in patients with unilateral complete cleft lip and palate using dental casts, two-dimensional photos, and three-dimensional images. The Cleft Palate-Craniofacial Journal, 2012;49(3):347-351.

9. BIOGRAFIJA MR SC. MARIJANA ARAPOVIĆ-SAVIĆ

Mr sc. Marijana Arapović-Savić rođena je 7.4.1979. godine u Banjoj Luci, Republika Srpska (BiH), gdje je završila Osnovnu školu „Petar Petrović Njegoš“ (1993) i Srednju medicinsku školu (1997). Medicinski fakultet, Studijski program stomatologija, završila je 2006. godine na Univerzitetu u Banjoj Luci.

Postdiplomski studij je završila sa prosječnom ocjenom 9,91, a magistarski rad pod nazivom „Uticaj vrste ortodontskog aparata na tvrda i meka tkiva usne duplje“ je odbranila 17.12.2012. godine na Univerzitetu u Banjoj Luci.

Specijalistički ispit iz ortopedije vilica položila je 2012. godine i time stekla zvanje specijaliste ortopedije vilica. U zvanje asistenta na Katedri za ortopediju vilica na Univerzitetu u Banjoj Luci birana je 2008. godine, a u zvanje višeg asistenta 2013. godine.

Član je Komore doktora stomatologije RS. Tečno govori engleski jezik. U toku rada na fakultetu učestvovala je na brojnim naučnim skupovima, nekoliko stručnih kurseva, te je objavila više radova iz oblasti ortodoncije. Udata je i majka dva dječaka, Andreja i Marka.

Izjava 1

IZJAVA O AUTORSTVU

Izjavljujem
da je doktorska disertacija

Naslov rada Primjena fotogrametrije za analizu ortodontskih modela

Naslov rada na engleskom jeziku Photogrammetry in the analysis of the orthodontic dental casts

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

U Banjoj Luci 18.03.2019

Potpis doktoranta

Marijana Trajković-Savić

Izjava 2

Izjava kojom se ovlašćuje Univerzitet u Banjoj Luci da doktorsku disertaciju učini javno dostupnom

Ovlašćujem Univerzitet u Banjoj Luci da moju doktorsku disertaciju pod naslovom

Primjena fotogrametrije za analizu ortodontskih modela

koja je moje autorsko djelo, učini javno dostupnom.

Doktorsku disertaciju sa svim prilozima predala sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u digitalni repozitorijum Univerziteta u Banjoj Luci mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučila.

1. Autorstvo
2. Autorstvo – nekomercijalno
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade
4. Autorstvo – nekomercijalno – dijeliti pod istim uslovima
5. Autorstvo – bez prerade
6. Autorstvo – dijeliti pod istim uslovima

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

U Banjoj Luci 18. 03. 2019

Potpis doktoranta

Marijana Arapović-Savić

Izjava 3

Izjava o identičnosti štampane i elektronske verzije doktorske disertacije

Ime i prezime autora Marijana Arapović-Savić

Naslov rada Primjena fotogrametrije za analizu ortodontskih modela

Mentor prof.dr Branislav Glišić

Izjavljujem da je štampana verzija moje doktorske disertacije identična elektronskoj verziji koju sam predao/la za digitalni repozitorijum Univerziteta u Banjoj Luci.

U Banjoj Luci 18.03.2019

Potpis doktoranta

