

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
STOMATOLOŠKI FAKULTET

Alen Cvitković

**DIGITALNI OTISAK U
FIKSNOPROTETSKOJ TERAPIJI**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, rujan 2016.

Rad je ostvaren na Zavodu za fiksnu protetiku Stomatološkog fakulteta
Sveučilišta u Zagrebu

Voditelj rada: dr. sc. Slađana Milardović Ortolan

Zavod za fiksnu protetiku

Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Lektor hrvatskog jezika: Nevenka Šuvajić,
prof. hrvatskog jezika i komparativne književnosti

Lektor engleskog jezika: Jasmina Kranjčević Čosić,
prof. engleskog jezika i književnosti

Rad sadrži: 50 stranica

15 slika

1 CD

ZAHVALA

Zahvaljujem svojoj mentorici, dr. sc. Slađani Milardović Ortolan, na korisnim stručnim savjetima, pomoći tijekom izrade diplomskog rada i na trudu, strpljenju i razumijevanju.

Hvala dragim prijateljima koji su me pratili na mome putu svojim društvom, ljubavlju, brigom, molitvama svih ovih godina.

Hvala im na strpljenju, razumijevanju i podršci.

Zahvaljujem i prof. dr. sc. Ivani Čuković Bagić koja je moj strah od stomatologa promijenila u ljubav prema stomatologiji.

Posebno zahvaljujem svojoj obitelji na bezuvjetnoj podršci, razumijevanju i ljubavi.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. SVRHA RADA	5
3. DIGITALIZACIJA	6
3.1. Optičke metode digitalizacije.....	9
4. UREĐAJI ZA OPTIČKU DIGITALIZACIJU CAD/CAM SUSTAVA U DENTALNOJ MEDICINI.....	12
4.1. Uređaji za intraoralnu optičku digitalizaciju.....	12
4.2. Uređaji za ekstraoralnu optičku digitalizaciju.....	18
5. GENERIRANJE MODELA.....	23
5.1. Generiranje virtualnog modela.....	23
5.2. Generiranje fizičkog modela.....	25
6. ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA TOČNOST DIGITALIZACIJE.....	27
6.1. Vanjski čimbenici.....	27
6.2. Unutarnji čimbenici.....	33
7. PREDNOSTI DIGITALNIH OTISAKA U ODNOSU NA KONVENCIONALNE.....	35
8. RASPRAVA.....	38
9. ZAKLJUČAK.....	40

10. SAŽETAK.....	42
11. SUMMARY.....	43
12. LITERATURA.....	44
13. ŽIVOTOPIS.....	50

POPIS OZNAKA I KRATICA

CAD/CAM Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing

3D trodimenzionalni

CCD Charge Coupled Device

CMOS Complementary Metal-Oxide-Semiconductor

STL Surface Tessellation Language

CBCT Cone Beam Computed Tomography

1. UVOD

Uzimanje otisaka elastomernim materijalima svakodnevni je postupak u gotovo svakoj ordinaciji dentalne medicine. Po definiciji, otisak je negativ ili obrnuta kopija površine objekta, tj. zubi i okolnih struktura kojim se situacija iz pacijentovih usta prenosi u dentalni laboratorij (1). Točnost ovisi o korištenom otisnom materijalu (2 – 6), vrsti otisne žlice (7 – 9) i tehnici otiskivanja (10 – 12). Svaki korak u postupku izvor je potencijalnih ljudskih grešaka ili grešaka koje su posljedica nesavršenosti materijala (13, 14). Budući da se otisak nalazi na početku proizvodnog lanca, eventualne greške odrazit će se na sve naredne korake u izradi protetskog rada i na njegovu konačnu preciznost.

Iako su se tradicionalnim tijekom izrade protetskih radova bilježili i još uvijek se bilježe dugogodišnji klinički uspjesi, ubrzan razvoj na području dentalnih materijala i računalne tehnologije krajem 20. i početkom 21. stoljeća značajano je izmijenio stomatološku praksu. Suvremene dijagnostičke i terapijske metode unaprijedile su kvalitetu stomatoloških usluga. Tako je računalna tehnologija našla svoje mjesto u svim granama suvremene dentalne medicine. Težnja za pojednostavljenjem postupka i uštedom vremena izrade dentalnih nadomjestaka, ali i potreba za maksimalnom preciznošću i izuzetnim estetskim svojstvima, samo su neki od razloga zbog kojih računalna tehnologija danas zauzima značajno mjesto u stomatološkoj protetici.

Računalno potpomognuto dizajniranje i računalno potpomognuta proizvodnja (eng. Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing = CAD/CAM) u

industriji se primjenjuje kako bi se standardizirao proizvodni postupak i osigurala ponovljivost u postizanju visoke kvalitete proizvoda uz racionalizaciju troškova (15, 16). Na tragu toga, u dentalnoj medicini strategija razvoja CAD/CAM sustava temelji se na automatizaciji proizvodnog procesa i optimizaciji kvalitete nadomjeska kontroliranom obradom (17). Međutim, jedan od najznačajnijih napredaka koji je donijela CAD/CAM tehnologija mogućnost je korištenja novih materijala iznimnih mehaničkih svojstava, koji se mogu obrađivati isključivo strojno. U tom kontekstu, popularnost cirkonijeva dioksida značajno je porasla u posljednjih deset godina, zahvaljujući velikoj čvrstoći, biokompatibilnosti, ali i sve boljim estetskim svojstvima dolaskom novih generacija tog materijala (18 – 20).

Sve CAD/CAM sustave u dentalnoj medicini čine tri komponente:

- uređaj namijenjen prostornoj digitalizaciji zubi i okolnih tkiva – **CAI** (eng. Computer Aided Inspection);
- hardver i softver pomoću kojih se generira elektronski model digitaliziranog objekta, prikazuje na zaslonu računala i dizajnira tijelo nadomjeska, **CAD** (eng. Computer Aided Design);
- glodalica koja izrađuje nadomjestak, **CAM** (Computer Aided Manufacturing) (21, 22).

Na početku računalno potpomognutog procesa izrade dentalnog nadomjeska postupak je digitalizacije ili uzimanja digitalnog otiska. Sustav za digitalno otiskivanje koristi se za intraoralno snimanje relevantnih površina ili ekstraoralno snimanje dentalnih otisaka, odnosno sadrenih modela, a podaci se dalje koriste za dizajniranje i proizvodnju nadomjeska. "Virtualni" otisak sve više postaje adekvatna

alternativa konvencionalnom postupku otiskivanja. Dugogodišnji razvoj i usklađivanje tehnoloških mogućnosti postojećih uređaja za digitalizaciju sa zahtjevima dentalne struke, implementirao je nove metode trodimenzionalne (3D) digitalizacije u praktičnu upotrebu. Za razliku od konvencionalnog otiska koji predstavlja kopiju zuba i okolnih tkiva u negativu, 3D digitalizacija obuhvaća veći broj metoda u okviru kojih se prikupljaju podaci o koordinatama točaka sa površine objekta i prevode u digitalni oblik (23).



Slika 1. Tijek digitalizirane izrade protetskog rada u laboratoriju. Preuzeto iz: (24)

Ideja da konvencionalne otiske u potpunosti zamijeni intraoralna optička digitalizacija naišla je na mnogobrojne tehničke poteškoće (vlažni uvjeti u usnoj šupljini, potreba za nanošenjem praha, ponekad nespretno držanje kamere u ustima i pronalaženje najpovoljnijeg kuta, ograničene mogućnosti kada je u pitanju veličina digitalizirane površine i sl.), koje su u velikoj mjeri ograničile indikacijsko područje njezine primjene. Za razliku od malog broja CAD/CAM sustava koji podržavaju metode optičke intraoralne digitalizacije, u praktičnoj upotrebi prisutno je mnoštvo sustava koji podržavaju metode ekstraoralne optičke digitalizacije. Razlozi za to su mnogobrojni: bolja kontrola postupka, mogućnost digitalizacije zubnog luka u cjelini, digitalizacija bez nanošenja praha, bolja mogućnost kontrole uvjeta okoline i sl. (23).

Do prije nekoliko godina u praktičnoj upotrebi postojao je samo jedan CAD/CAM sustav – CEREC[®] koji podržava metodu intraoralne optičke površinske digitalizacije. Danas se u praksi pojavljuje sve veći broj novih CAD/CAM sustava za intra i ekstraoralnu digitalizaciju, koji osim svjetlosnih zraka različitih valnih duljina, u postupku digitalizacije koriste i laserske zrake. Postupak digitalizacije utemeljen je na različitim radnim principima: paralelnoj konfokalnoj mikroskopiji, generiranju digitalnog video zapisa, svetlosnoj ili laserskoj triangulaciji i dr.

2. SVRHA RADA

Svrha ovog rada je prikazati osnovne karakteristike uređaja za digitalizaciju u fiksno protetskoj terapiji s pregledom najzastupljenijih sustava za intraoralnu i ekstraoralnu digitalizaciju. Također se želi ukazati na prednosti tehnologije digitalnog u odnosu na konvencionalni otisak.

3. DIGITALIZACIJA

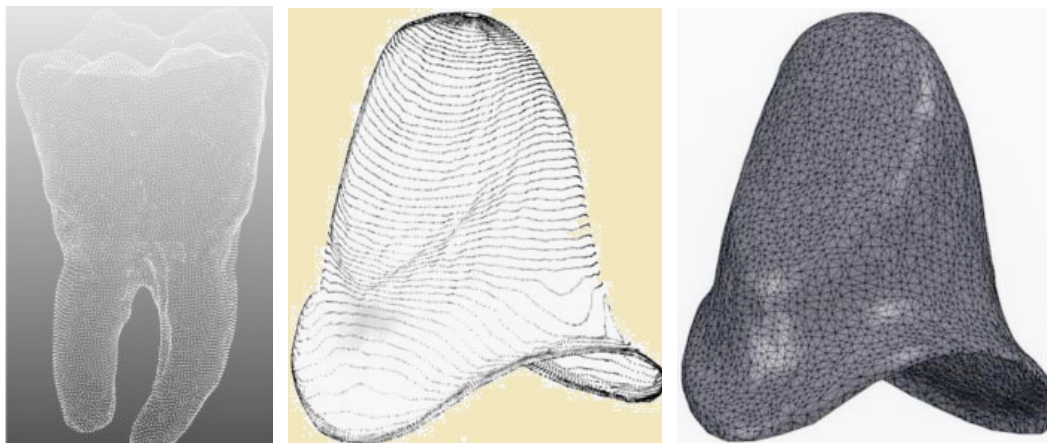
Digitalizacija ili računalno vođena inspekcija je postupak prikazivanja digitaliziranih podataka na temelju prostornog premjeravanja izbrušenih zubi i okolnih tkiva u ustima ili na modelu. Ovisno o tehničkim mogućnostima uređaja, digitalizacija može biti dvodimenzionalna ili trodimenzionalna. Osnovu digitalizacije svih suvremenih CAD/CAM sustava čini trodimenzionalna (3D) tehnologija mjerenja (23).

Pojam digitalizacija u početku se odnosio na proces prikupljanja diskretnih podataka o točkama na površini objekta primjenom kontaktnih senzora. Uvođenjem novih tehnologija za akviziciju podataka s mogućnošću kontinuirane akvizicije niza točaka, što se opisuje pojmom skeniranje, koji se počeo paralelno koristiti i za opis postupka digitalizacije. S obzirom na različitost metoda akvizicije podataka za dobivanje 3D digitalnog modela površine, pojam "skeniranje" nije uvijek primjeren pa je 3D digitalizacija općenitiji izraz koji je danas opće prihvaćen u svjetskim okvirima (23).

Pojam 3D digitalizacija opisuje postupak u okviru kojeg se s površine objekta prikupljaju podaci u vidu koordinata – točaka i prevode u digitalni oblik (Slika 2.). Rezultat 3D digitalizacije je skup točaka čiji je položaj definiran koordinatama koji se u literaturi, zbog oblika koji zauzima u prostoru, naziva oblak točaka (eng. point cloud) (25, 26).

U odnosu na način prikupljanja podataka 3D digitalizacija u dentalnoj medicini može biti **mehanička** (kontaktna) i **optička** (beskontaktna). Mehaničke

metode dijele se na manualnu i automatsku digitalizaciju, a optičke na točkastu i površinsku digitalizaciju.



Slika 2. Virtualni modeli zuba i zubnog nadomjeska: (a) prikaz digitaliziranog zuba – oblak točaka; (b) prikaz zubnog nadomjeska u obliku koordinata i točaka i (c) STL poligonalni model zubnog nadomjeska. Preuzeto iz: (27)

Izvor svjetlosti kod optičkih metoda može biti laser ili strukturirana svjetlost iz vidljivog dijela spektra elektromagnetskog zračenja.

Beskontaktne metode 3D digitalizacije u odnosu na vrstu interakcije između projicirane energije i objekta mogu biti refleksijske i transmisijske.

U odnosu na prostor gdje se 3D digitalizacija vrši razlikuju se intraoralne (direktne) i ekstraoralne (indirektne) metode 3D digitalizacije (23).

Manualne metode mehaničke digitalizacije danas nemaju praktičnu primjenu. Njihov značaj je isključivo povijesnog karaktera. Za potrebe digitalizacije ovom metodom korištena je stomatološka sonda koja se rukom pomicala po izbrušenom zubu.

Jedan od prvih sustava u okviru kojeg je primjenjena **metoda automatske mehaničke ekstraoralne digitalizacije** je Procera[®] (Nobel Biocare AB, Zürich, Švicarska). Na vrhu senzora Procera[®] uređaja nalazi se safirna kugla promjera oko 0,5 mm. U postupku digitalizacije glava senzora klizi po zubu pomoću mehanizma za automatsko kretanje. Uređaji za mehaničku digitalizaciju sve više odlaze u povijest i zamjenjuju ih sustavi za optičku digitalizaciju, a razlog su sljedeći nedostaci:

1. dodir sa objektom može ga oštetiti ili usporiti rad uređaja
2. za razliku od najsvremenijih optičkih uređaja čija frekvencija iznosi od 10 do 500 kHz, najbrži automatski mehanički uređaju rade s frekvencijom od svega nekoliko stotina herca;
3. ne postoji mogućnost digitalizacije geometrijski kompliciranih preparacija (preparacije za inleje, onleje, djelomične krunice) i otisaka.
4. digitalizacija detalja malih dimenzija ovisi o promjeru i obliku vrha mjernog senzora.

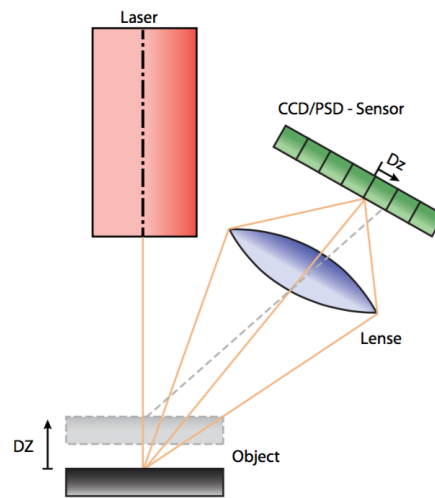
3.1. Optičke metode digitalizacije

Optičke metode digitalizacije imaju dugu tradiciju u CAD/CAM tehnologiji koja se primjenjuje u dentalnoj medicini. S obzirom na spomenute nedostatke uređaja za mehaničku digitalizaciju i aktualne trendove u tehnološkom razvoju, CAD/CAM sustavi najnovije generacije u postupku digitalizacije primjenjuju isključivo optičke metode.

Optičke metode u postupku digitalizacije koriste svjetlosne ili laserske zrake. Svim metodama optičke digitalizacije zajedničko je da virtualni zapisi nastaju prikupljanjem reflektirane svjetlosti koja se sa svjetlosnog izvora projicira na objekt. Krajnji rezultat ovog postupka je "optički otisak" (23, 28, 29).

Optički sustavi za digitalizaciju danas u pravilu rade na nekom od tri osnovna principa: **triangulacija, aktivno uzorkovanje valne fronte i paralelno konfokalno lasersko skeniranje**. Cilj svake metode je prikupljanje podataka o površini zuba i sluznice kako bi se informacije registrirale i povezale u virtualni trodimenzionalni model.

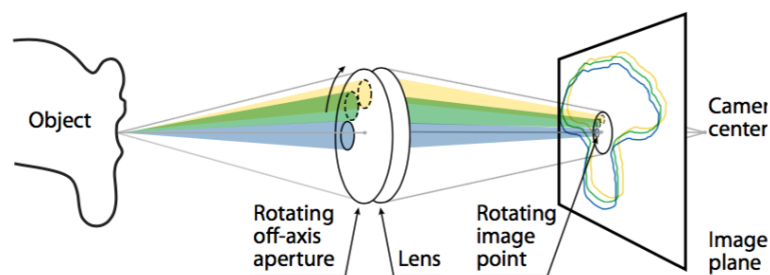
Metoda **triangulacije** (Slika 3.) koristi snop laserske svjetlosti koji je usmjerena na objekt o koji se odbija natrag u senzor. Mjeri se udaljenost između projicirane i reflektirane zrake. Kako se kut između projektora i senzora zna (fiksna je), udaljenost do objekta može se izračunati pomoću Pitagorinog poučka (30).



Slika 3. Shematski prikaz digitalizacije na principu triangulacije. Preuzeto iz: (31)

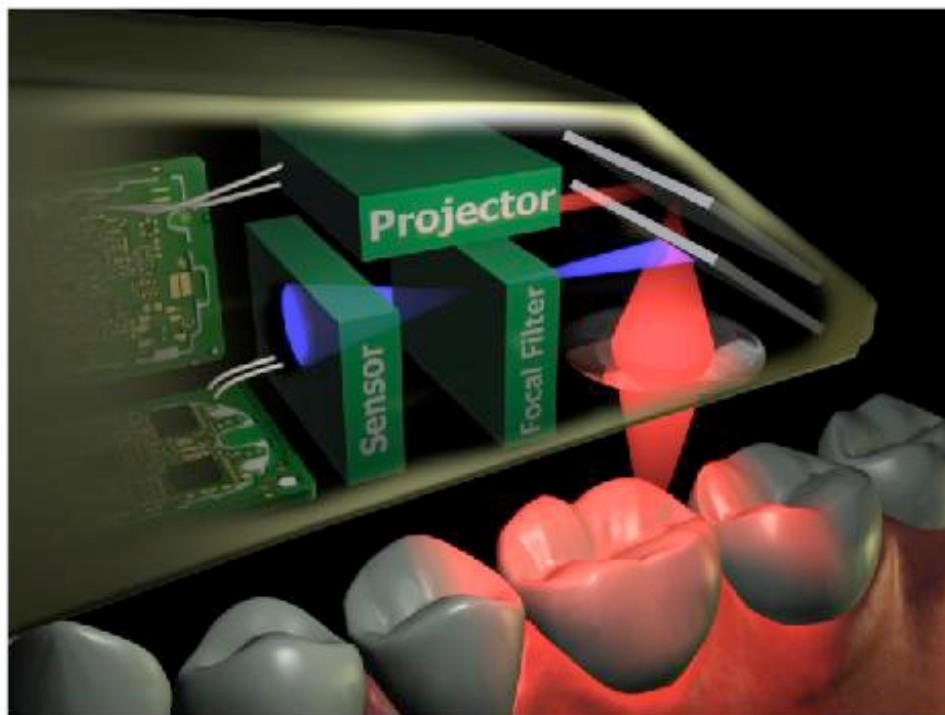
Sustavi za digitalizaciju koji rade na tom principu zahtijevaju nanošenje matirajućeg praha na objekt prije digitalizacije kako bi se smanjila nekontrolirana refleksija.

Sustavi koji rade na principu **aktivnog uzorkovanja valne fronte** (Slika 4.) koriste objektiv s rotirajućim otvorom koji omogućuje hvatanje trodimenzionalnih podataka u video sekvencijama i obrađuju podatke u stvarnom vremenu. Također zahtijevaju nanošenje matirajućeg praha. Lava C.O.S. intraoralni skener tvrtke 3M ESPE koristi ovu tehnologiju.



Slika 4. Princip rada uređaja za digitalizaciju temeljenih na uzorkovanju valne fronte. Preuzeto iz: (31)

Kod **konfokalnog laserskog skeniranja** (Slika 5.) laserske zrake projiciraju se na površinu objekta bez matirajućeg praha koje se zatim neposredno reflektiraju istim putem. Koristeći razdvajač snopa zraka, reflektirana zraka propušta se kroz žarišni filter tako da se samo slika koja leži u žarišnoj točki leće može projicirati na senzor. Kako se žarišna udaljenost zna, udaljenost skeniranog dijela objekta do leće također je poznata. Unutar 1/3 sekunde reflektirana svjetlost pretvara se u digitalni zapis. Da bi se skenirao kompletan objekt, leća se pomiče gore i dolje, svaki puta projicirajući dio objekta na senzor.



Slika 5. Tehnički princip rada uređaja za digitalizaciju temeljenih na konfokalnog laserskom skeniranju. Preuzeto iz: (30)

4. UREĐAJI ZA OPTIČKU DIGITALIZACIJU CAD/CAM SUSTAVA U DENTALNOJ MEDICINI

Podjela CAD/CAM sustava na intraoralne i ekstraoralne ukazuje na osobitosti njihove praktične primjene i predstavlja jednu od osnovnih karakteristika po kojoj su prepoznatljivi. Ideja da konvencionalno otiskivanje prepariranih zuba i okolnih tkiva zamijeni intraoralna optička digitalizacija postala je imperativ u razvoju CAD/CAM sustava. Najpoznatiji komercijalno dostupni CAD/CAM sustavi za intraoralnu digitalizaciju danas su: CEREC[®] AC (Sirona Dental System GMBH, Njemačka) iTero (CADENT, LTD, SAD), E4D (D4D TECHNOLOGIES, LLC, SAD), Lava C.O.S. (3M ESPE, SAD), Trios (3SHAPE A/S, Danska), DirectScan (HINT - ELS GMBH, Njemačka).

Nasuprot malom broju komercijalno dostupnih CAD/CAM sustava koji podržavaju metode intraoralne digitalizacije, danas je na tržištu prisutan veliki broj sustava koji podržavaju metode ekstraoralne digitalizacije. Neki od najpoznatijih su: CEREC[®] (Sirona Dental System GMBH), Procera[®] (Nobel Biocare AB), 3Shape Dental Designer (3 Shape AS), Cercon (Degudent GmbH), KaVo Everest CAD/CAM (KaVo), Bego Medical (Bego), DSC Precident (DSC Dental AG), Lava (3M ESPE AG), Wol-Ceram (Wol-Dent GmbH), ZENO Tec System (Wieland Dental) (23).

4.1. Uređaji za intraoralnu optičku digitalizaciju

Digitalizacija površina zuba i okolnih tkiva intraoralnom kamerom predstavlja osnovnu karakteristiku intraoralnih (ordinacijskih) CAD/CAM sustava. Intraoralna digitalizacija zamijenila je postupak konvencionalnog otiskivanja, što je omogućilo eliminaciju nepreciznosti koje su prisutne u postupcima otiskivanja i izrade radnog modela (32). Od spomenutih intraoralnih CAD/CAM sustava, CEREC[®]AC pruža mogućnost izrade nadomjeska i u ordinacijskim uvjetima.

4.1.1. CEREC OMNICAM (SIRONA)

CEREC sustav sastoji se od kamere za skeniranje, računalnog programa i glodalice (Slika 6.). Digitalizacija se provodi 3D kamerom koja omogućuje izuzetno precizan otisak i računalom koje procesira podatke i šalje ih u jedinicu za glodanje. Nije potrebno nanošenje matirajućeg praha. Za uspješnu digitalizaciju potrebno je da zubi budu suhi, bez tragova krvi i sline, a primjenom *anti-shake* funkcije u postupku kreiranja digitalne slike u potpunosti su eliminirani zapisi u kojima je prisutno podrhtavanje. Digitalizirani objekt prikazuje se u prirodnoj boji (33).



Slika 6. Sustav CEREC Omnicam za intraoralnu digitalizaciju. Preuzeto iz: (34)

4.1.2. iTERO (CADENT)

iTero sustav za digitalni otisak uveden je 2007. godine, a sastoji se od: računala, monitora, miša, integrirane tipkovnice, nožne pedale i kamere za skeniranje (Slika 7.). Kraj skenera koji ulazi u usta pacijenta velik je i zahtijeva široko otvaranje usta.

iTero skener koristi tehniku konfokalnog laserskog skeniranja pri čemu se projicira crvena laserska zraka na objekt. Uređaj projicira 100 000 zraka crvenog svjetla, a unutar 1/3 sekunde reflektirano svjetlo pretvara se u digitalni zapis. Koristeći razdvajač snopa zraka, reflektirana ljubičasta zraka propušta se kroz žarišni filter tako da se samo ta slika koja leži u žarišnoj točki leće može projicirati na senzor (33).



Slika 7. iTero intraoralni dentalni skener. Preuzeto iz: (35)

Glasovne upute korisnika vode kroz uzimanje serije skenova. Slike se prikazuju na monitoru potiskivanjem nožne pedale. Prikaz na monitoru sličan je tražilu na kameri, što korisniku omogućuje da postavi kameru u ispravan položaj praćenjem na monitoru. Kako ovo nije kontinuirano skeniranje, primjena praha nije potrebna zato što laser ima mogućnost refleksije sa svih oralnih struktura pa korisnik može maknuti skener iz usta kako bi ih isprao ili posušio, ako je to potrebno. Da bi se osigurao adekvatan prikaz detalja, pojedinačne slike mogu se ponovno snimati. Ako se preparacija mora preoblikovati, kvadrant se mora ponovno skenirati nakon svih prilagodbi. Nakon što je odrađeno skeniranje, korisnik staje na nožnu pedalu i unutar nekoliko minuta digitalni model se prikazuje na monitoru. Koristeći bežični miš, stomatolog može rotirati model na monitoru kako bi potvrdio ispravnost svih preparacija prije slanja skenova u laboratorij (33).

4.1.3. LAVA COS (3M ESPE)

Lava COS jedinica sastoji se od mobilnih kolica koja sadrže računalo, monitor na dodir i kameru za skeniranje (Slika 8.). Metoda koja se koristi za snimanje 3D otisaka uključuje aktivno skeniranje zubnog luka (active wavefront sampling) koje je omogućeno tehnikom 3D-in-motion. Ta tehnika uključuje revolucionarni optički dizajn, obradu slike pomoću algoritama i snimanje 3D podataka u video sekvenciji u stvarnom vremenu. Korištenjem active wavefront sampling tehnike Lava COS bilježi skenirane slike brzo (set od 20 3D podataka po sekundi) u video obliku i trenutno kreira visoko precizni virtualni model na monitoru.

Prije skeniranja Lava COS skenerom cijela čeljust mora se temeljito osušiti i lagano zaprašiti prahom titanijevog oksida. Stomatolog započinje skeniranje pritiskom gumba na palici ili monitoru. Pulsirajuća plava svjetlost emitira se iz kamere te se istovremeno na monitoru pojavljuje crno-bijeli prikaz zuba. Ako dođe do naglog pokreta, prikaz se automatski zaustavi i stomatolog se može vratiti na bilo koju površinu koja je prethodno skenirana (33).

Kada je skeniranje završeno, zubi se na monitoru prikazuju bijelo, a sve crveno prikazane površine moraju se detaljnije skenirati. Kako bi se korisniku pomoglo u održavanju kamere na odgovarajućoj udaljenosti od zuba, mjerilo na monitoru pokazuje je li kamera preblizu ili predaleko postavljena u odnosu na objekt koji skeniramo. Ako postoje nepravilnosti u skeniranim podacima kritičnih područja (rubovi preparacije, kontaktne točke ili vrhovi kvržica), stomatolog ponovno skenira samo kritična područja i softver sam popuni nepravilnosti.

Po završetku skeniranja odgovarajuće čeljusti potrebno snimiti i suprotnu čeljust te se dobiveni digitalni modeli maksile i mandibule artikuliraju na monitoru. Nakon provjere ispravnosti dobivenih podataka slijedi njihovo slanje u zubotehnički laboratorij (33).



Slika 8. Lava COS intraoralni dentalni skener. Preuzeto iz: (36)

4.1.4. TRIOS (3Shape)

Za razliku većine intraoralnih sustava za koje je propisano pozicioniranje kamere za vrijeme digitalizacije, upotreba kamere Trios sustava (Slika 9.) nema precizirane propozicije o njezinom položaju. U postupku digitalizacije jedne sekvencije prikuplja se preko 3000 2D slika u sekundi, što je 100 puta brže u odnosu na konvencionalne videokamere. Spajanjem 1000 do 100000 slika oblikuje se digitalni otisak koji nastaje na temelju realnih podataka, za razliku od digitalnih otisaka u čijem formiranju se primjenjuje postupak interpolacije. Vizualizacija otiska na monitoru računala događa se istovremeno s digitalizacijom. Za digitalizaciju jedne polovice zubnog niza potrebno je oko 25 sekundi, dok je za cijeli zubni niz potrebno oko 2

minute. Tehničke karakteristike sustava znatno su unaprijeđene primjenom "Smart touch" monitora i opcije bežičnog spajanja na mrežu ("wireless network connection"), što korisniku osigurava cjelovit uvid u laboratorijsku proceduru izrade nadomjeska. Jedna od karakteristika sustava je integracija virtualnog artikulatora u CAD komponentu. Softverska podrška je usavršena do te mjere da pruža mogućnost integriranog virtualnog prikazivanja nadomjeska i kontura lica pacijenta. Kamera ima vlastitu bateriju što omogućuje uporabu bez kabela i sterilizaciju u autoklavu. Novost je mogućnost određivanja boje kamerom (23).



Slika 9. Intraoralni skener 3Shape Trios. Preuzeto iz: (37)

4.2. Uređaji za ekstraoralnu optičku digitalizaciju

Digitalizacija površina modela zuba i okolnih struktura predstavlja osnovnu karakteristiku ekstraoralnih (laboratorijskih) CAD/CAM sustava. Uređaje za ekstraoralnu digitalizaciju čine:

- svjetlosni izvor
- jedna ili više kamera i
- postolje koje omogućuje fiksiranje i promjenu pozicije modela u odnosu na izvor svjetlosti i kamere.

Istraživanja pokazuju da su uređaji s dvije kamere brži, točniji i precizniji u odnosu na uređaje koji posjeduju jednu kameru (38).

Primjena ekstraoralnih CAD/CAM sustava indicirana je u slučajevima kada je rub preparacije smješten subgingivno i kada se izrađuju zubni nadomjesci velikog raspona. Realizacija ekstraoralnih metoda obuhvaća konvencionalno otiskivanje i izradu radnih modela. Pouzdana i točna digitalizacija zahtijeva da radni model bude izrađen od materijala koji uređaj za digitalizaciju može detektirati. Najčešće su to specijalne vrste sadre.

Među poznatije sustave ubrajaju se uređaju Cerec inEOS, KaVo Everest, Sinergia Scan, ATOS, Ceramill MAP 400 itd.

4.2.1. CEREC® inEOS BLUE

Početak 2006. godine Sirona je u praktičnu uporabu uvela CEREC® InEos, uređaj za ekstraoralnu optičku digitalizaciju (Slika 10.). Postupak digitalizacije utemeljen je na načelu aktivne triangulacije i obavlja se kamerama visoke rezolucije. Za razliku od uređaja za intraoralna digitalizaciju kod kojih brzina digitalizacije utječe na kvalitetu digitaliziranih podataka, kod ekstraoralnih sustava ona nema presudan značaj za točnost i preciznost podataka jer je kamera uređaja fiksirana na odgovarajućem postolju i tijekom postupka digitalizacije miruje.

CEREC® inEOS nudi dvije mogućnosti digitalizacije radnih modela:

1. digitalizaciju modela u mirovanju
2. digitalizaciju kada se pojedinačni radni bataljci rotiraju na pokretnom postolju.

Za digitalizaciju radnog modela jedne polovice zubnog niza potrebno je oko 40 sekundi.

Kamera Cerec® InEos Blue sustava posjeduje mogućnost automatske digitalizacije. Značajno smanjen kut triangulacije omogućuje kvalitetniju digitalizaciju rubova preparacije i stijenke dubokih kaviteta.

Jedna od prepoznatljivih karakteristika sustava je moćan inLab 3D softver, koji je u svojoj posljednjoj verziji omogućio prikazivanje elektroničkih zapisa digitaliziranog objekta u STL formatu.

Nova verzija softvera nudi mogućnost da se u kreiranju virtualnih radnih modela kombiniraju zapisi koji su nastali u postupcima intraoralne digitalizacije i

digitalizacije konvencionalnih otisaka. Virtualni zapisi šalju se internetom (CEREC[®] Connect) u centralni ili drugi odabrani laboratorij (23).

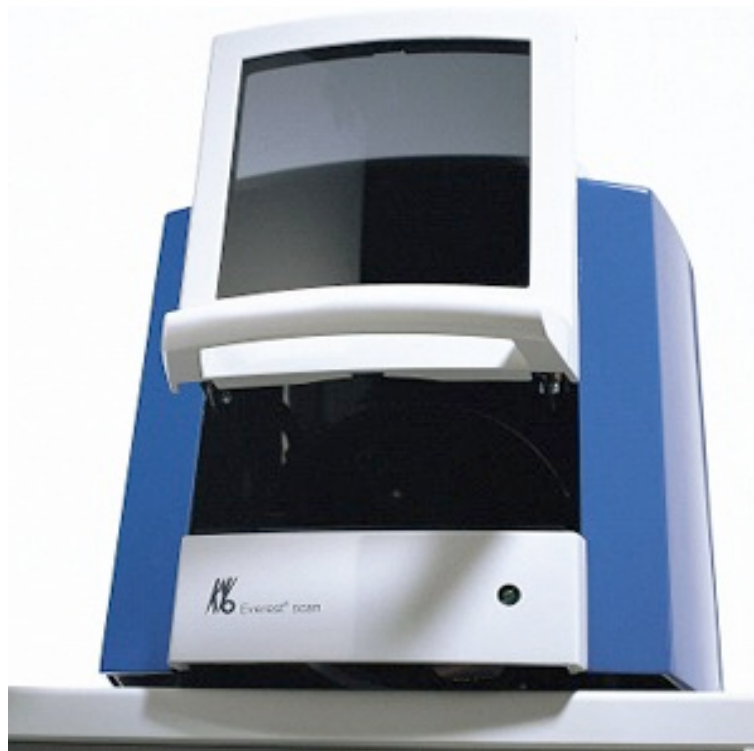


Slika 10. CEREC[®] InEos uređaj za optičku digitalizaciju. Preuzeto iz: (34)

4.2.2. KaVo EVEREST[®]

Uređaji KaVo Everest (Slika 11.) predstavljaju veliku obitelj optičkih svjetlosnih ekstraoralnih uređaja za digitalizaciju kod kojih je postupak digitalizacije temeljen na principima aktivne triangulacije. Svjetlosne zrake koje su difuzno raspoređene na površini objekta projiciraju se iz 15 različitih smjerova. Na taj način omogućeno je da kamera detektira reflektirane zrake u dovoljno jasnom kontrastu. Radni model se fiksira na platformi koja ima mogućnost pomicanja u horizontalnoj i vertikalnoj

ravnini. Proizvođač ističe da točnost uređaja iznosi $\pm 0,035$ mm preciznost $< 0,02$ mm, rezolucija kamere 1040 x 329 piksela i mjerni volumen 80 x 60 mm. Za digitalizaciju modela zubnog niza u cjelini potrebno je oko 95 sekundi, a za nastanak pojedinačne digitalizirane slike oko 10 sekundi (23, 39).



Slika 11. KaVo Everest uređaj za digitalizaciju. Preuzeto iz: (40)

4.2.3. SINERGIA SCAN UREĐAJ

Sinergia Scan (Slika 12.) pripada skupini optičkih ekstraoralnih uređaja koji u postupku digitalizacije projiciraju strukturiranu svjetlost. Uređaj ima dvije kamere čija je uloga prikupljanje svjetlosnih zraka koje se reflektiraju s objekta. Pomoću dvije slike istog prizora moguće je odrediti dubinu određenih točaka na objektu na temelju informacija o položaju kamera. Određivanje položaja iste točke na obje slike

vrši se primjenom epipolarnih ograničenja i korelacijskih algoritama. Proizvođač ističe da točnost uređaja iznosi $\pm 0,012$ mm, a preciznost postupka digitalizacije 0,002 mm. Za digitalizaciju jednog zuba potrebno je oko 90, zubnog luka u cjelini oko 180 sekundi. Rezolucija uređaja iznosi 2000000 trokuta. Digitalizirane podatke moguće je prikazati u obliku STL formata. Sinergia Scan pripada skupini otvorenih CAD/CAM sustava, što znači da je virtualne podatke digitaliziranog objekta moguće koristiti u okviru različitih CAM modula: strojno glodanje, lasersko sinteriranje, 3D printanje, stereolitografija i slično (41).



Slika 12. Sinergia Scan uređaj za digitalizaciju. Preuzeto iz: (42)

5. GENERIRANJE MODELA

5.1. Generiranje virtualnog modela

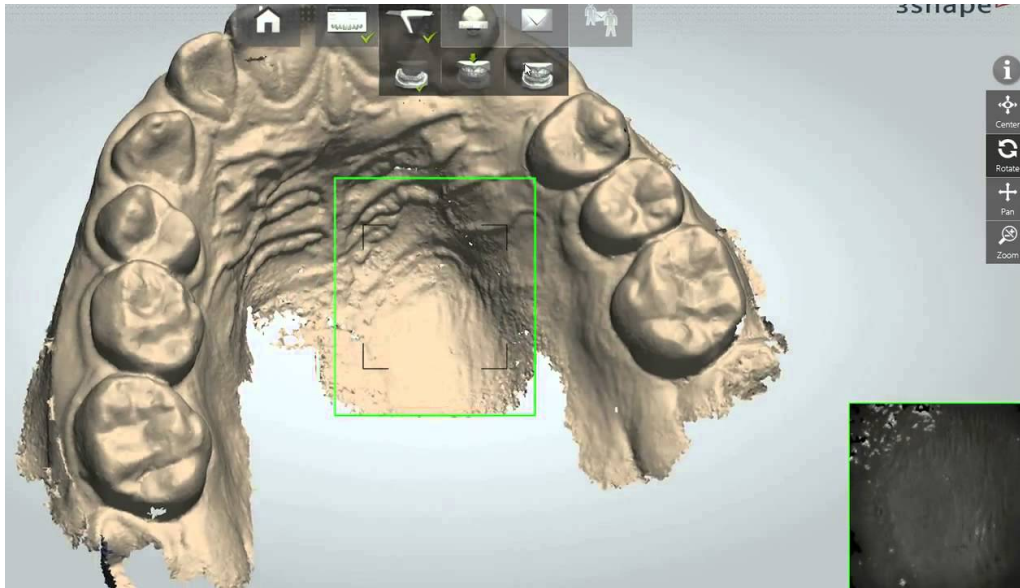
Jednom kada je zub skeniran i dohvaćeni su strukturirani podaci, za procesiranje svake podatkovne točke i stvaranje geometrijskog virtualnog 3D modela koristi se softver.

Matematički promatrano digitalizacija je proces prikazivanja objekata pomoću diskretnog seta binarnih znamenki (0 i 1). Rezultat digitalizacije je oblak točaka koji se nakon obrade u nekom od specijaliziranih programskih sustava transformira u površinski model. Oblak točaka je skup točaka (najčešće predstavljenih preko xyz-koordinata) određene rezolucije. Rekonstrukcija površina predstavlja fazu u kojoj se na temelju rezultata 3D digitalizacije vrši kreiranje površinskog modela u matematičkom obliku. U geometrijskom modeliranju razlikuju se dva načina generiranja površine (43):

- 1) aproksimacija zakrivljenih površina (eng. curved surface approximation) i
- 2) poligonalna aproksimacija (eng. polyhedral surface approximation).

STL predstavlja format zapisa razvijen za potrebe stereolitografskih CAD sustava za brzu izradu prototipa. Već je spomenuto da je to format zapisa koji površine trodimenzionalnih objekata prikazuje kao trokute. Položaj vrhova trokuta određen je položajem u odnosu na prostorne ravnine x, y i z koordinatnog sustava. STL opisuje površinsku geometriju trodimenzionalnog objekta bez prikazivanja boje, teksture ili

neke druge karakteristike objekta. Osim u STL formatu, elektronički podaci o digitaliziranom objektu mogu biti prikazani u obliku ASCII I DICOM zapisa (44).



Slika 13. Virtualni model na zaslonu računala. Preuzeto iz: (45)

Stomatolog ili laboratorijski tehničar virtualni model mogu koristiti u različite svrhe. Softver za pregledavanje modela omogućuje stomatološkom timu virtualno dijeljenje digitalnog modela u svrhu planiranja liječenja i diskusije (Slika 13.). Dodatno, stomatološki tim kroz softverske aplikacije za projektiranje pomoću računala (CAD) može koristiti modele za procesiranje virtualnih nadogradnji, krunica, mostova, mobilnih proteza i ortodontskih naprava bez fizičkog modela. Nakon što CAD softver kreira virtualni 3D geometrijski model, mogu se koristiti različiti strojevi za ispis i glodanje kako bi se stvorile točne replike virtualnog modela u fizičkom obliku.

5.2. Generiranje fizičkog modela

Neki postupci tijekom izrade nadomjeska, poput individualnog nanošenja obložne keramike na cirkonij-oksidnu osnovu, još uvijek zahtijevaju izradu fizičkih modela na temelju intraoralno snimljenih podataka.

Za pretvaranje objekta prikazanog na zaslonu u stvarni model koristi se metoda brzog prototipiranja (46). Pojam "brzog prototipiranja" sažima proizvodne procese "čiji je cilj postojeće CAD podatke po mogućnosti bez manualnih postupaka izravno i brzo pretočiti u fizički model. Za to su potrebni podaci u STL formatu". Modeli se mogu glodati od poliuretanskih blokova (Slika 14.), printati ili izraditi stereolitografski (Slika 15.); printanje ovdje označuje trodimenzionalnu izgradnju modela 3D printerima. Polimer se pritom otpušta iz sapnice i slaže u sve tri prostorne ravnine. U stereolitografiji se u spremniku s tekućim polimerom odmah ispod površine nalazi gusta mreža (oko 25 μm). Postupnom polimerizacijom polimera koji se nalazi iznad mreže u skladu s oblikom koji zadaje optički 3D sken stvara se prvi sloj realnog modela. Zatim se mreža s prvim polimeriziranim slojem uroni malo dublje u spremnik i polimerizira se sljedeći sloj (47).

Međutim, u implantoprotetici kod nekih sustava još uvijek nije moguće stvarne modele izrađivati s laboratorijskim implantatima. U takvim slučajevima može se raditi isključivo s virtualnim podacima na zaslonu računala, što donosi ograničenja u protetskoj izvedbi. To je ujedno i primjer nedostatka digitalnog otiska u odnosu na konvencionalni (47).



Slika 14. Model glodan od poliuretanskog bloka na temelju optičkog otiska dobivenog intraoralnim skenerom iTero. Preuzeto iz: (47)



Slika 15. Stereolitografski izrađeni model na temelju digitalnog otiska dobivenog skenerom Lava C.O.S. Jasno se uočavaju slojevi polimerizacije. Preuzeto iz: (47)

6. ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA TOČNOST DIGITALIZACIJE

Cilj je svakog postupka mjerenja, kojemu pripada i postupak 3D digitalizacije, da se odrede potrebne mjerne karakteristike objekta s najvećom mogućom točnošću. Rezultati postupka mjerenja ovise o utjecaju vanjskih i unutarnjih čimbenika.

Pod vanjskim čimbenicima podrazumijevaju se svi oni koji utječu na postupak mjerenja, a koji nisu izravno povezani s osnovnim principima prikupljanja podataka, koji se u odabranoj metodi primjenjuju.

Unutarnji čimbenici predstavljaju radne principe na temelju kojih se unutar odabranog sustava za digitalizaciju vrši prikupljanje podataka (23).

6.1. Vanjski čimbenici

Vanjski čimbenici su:

Karakteristike objekta – Osnovne karakteristike objekta koje utječu na postupak mjerenja su: geometrijske (dimenzije, površinska geometrija, lokalne karakteristike površine objekta), materijalne i optičke. Utjecaj dimenzija objekta je u izravnoj vezi s veličinom mjernog volumena. U stomatološkoj praksi ovaj pojam se odnosi na pozicioniranje zuba u odnosu na mjerni volumen uređaja za digitalizaciju. Zubi su objekti kompleksne i različite morfologije, za koje ne postoji univerzalan referentni oblik, što predstavlja poteškoću u registraciji njihove površinske topografije i dimenzija.

Pod lokalnim karakteristikama površine podrazumijevaju se one karakteristike koje su nastale kao posljedica obrade (npr. hrapavost, zaglađenost) ili odražavaju površinska svojstva odabranog materijala (npr. poroznost). S obzirom na postojanje ovog fenomena i razlike u karakteristikama površina intaktnih i prepariranih zubi, kao i radnih modela koji su izrađeni od različitih materijala, može se pretpostaviti da u digitalizaciji zubi suvremenim optičkim uređajima ima razlika u točnosti digitaliziranih podataka.

Optička svojstva površine objekta predstavljaju karakteristike koje su u funkciji materijala od kojeg je objekt izrađen, osobine površine i izvora svjetlosti. Intenzitet osvjetljenja koje će sustav zabilježiti u postupku digitalizacije predstavlja zbroj intenziteta osnovnih reflektiranih komponenti koje dolaze s objekta (48). Suvremeni sustavi za digitalizaciju zahtijevaju da se projicirane zrake s vidljive površine objekta difuzno reflektiraju izravno u kameru. Površine koje imaju izrazita reflektirajuća svojstva uzrokuju da se upadna zraka reflektira u izuzetno uskom snopu, koji ne mora nužno prolaziti kroz centar leće. Taj fenomen predstavlja izvor pogrešaka u postupku digitalizacije. Rudolph i suradnici u svojim istraživanjima navode da su laserski uređaji za digitalizaciju manje osjetljivi na površine objekata s naglašenom refleksijom (49).

Utjecaj okoline (temperatura, vibracije, vlažnost, osvjetljenje, nečistoće) - Utjecaj okoline na mjernu nesigurnost rezultata uvijek je prisutan. Njegovu ocjenu najčešće je teško kvantificirati uslijed velikog broja mogućih utjecajnih elemenata i njihovih interakcija.

Pod utjecajima okoline najčešće se podrazumijevaju izravni utjecaji, poput promjena temperature, vlažnosti, vibracije ili osvjetljenje, a koji mogu istovremeno djelovati na elemente mjernog senzora i objekt.

Izvori svjetlosti koje koriste uređaji za digitalizaciju predstavljaju lokalni izvor topline unutar konstrukcije mjernog senzora. Svaki uređaj je konstruiran tako da osigurava odvođenje viška topline nastale radom svjetlosnih izvora da bi se očuvala njihova temperaturna stabilnost i kontinuirani intenzitet projicirane svjetlosti. CCD kamere koje se uobičajeno koriste za akviziciju slike, pri temperaturama višim od radne pokazuju tendenciju pojave šuma.

Utjecaj vibracija naročito je naglašen kod primjene kamera za intraoralnu digitalizaciju. Podrhtavanje ruke terapeuta tijekom digitalizacije i istovremeno pomicanje glave pacijenta utječe na refleksiju svjetlosti s objekta i smanjuje kvalitetu digitaliziranih podataka. CAD/CAM sustavi nove generacije spomenuti problem pokušavaju eliminirati uvođenjem novih softverskih i hardverskih rješenja unutar kamere.

Promjena intenziteta svjetlosti iz okruženja može dovesti njegove interakcije s projiciranim svjetlosnim zrakama koje dolaze iz kamere, što izravno utječe na kvalitetu digitalizacije. Utjecaji se u nekoj mjeri mogu kompenzirati korigiranjem intenziteta svjetlosti koja je prisutna u okruženju. Promjenjivost intenziteta osvjetljenja okoline može uzrokovati povremeni gubitak definicije rezolucije piksela na objektu koji se mjeri, što dovodi do neželjenih refleksija. Laserski uređaji za digitalizaciju manje su osjetljivi na ovaj utjecaj od sustava koji koriste nekoherentne svjetlosne izvore.

Utjecaj prašine ili drugih izvora nečistoća odnosi se na prašinu koja je prisutna u okruženju i na površini kamere. Prisustvo prašine može utjecati na kvalitetu projiciranih i reflektiranih zraka, samim tim i na rezoluciju digitalizirane slike.

Tehnološki utjecaji (definicija mjernog zadatka, planiranje mjerenja i rukovanje opremom). Ispravna definicija svakog mjernog zadatka zahtijeva postojanje tehničke dokumentacije kojom su definirani ciljevi mjerenja i karakteristike objekta koji se mjeri, kako bi se u daljnjem tijeku obrade dobivenih podataka u potpunosti mogla rekonstruirati njegova geometrija.

Rukovanje opremom za mjerenje – Uspješnost procesa mjerenja i provođenje naknadne analize dobivenih podataka ovisi o tehnološkim karakteristikama opreme, ergonomičnosti korištene opreme, upravljačkom programu, ali i o znanju i iskustvu korisnika o primjeni odabrane tehnologije.

Programska podrška – Programska podrška postoji u obliku različitih upravljačkih programskih paketa koji su instalirani u sustav. Poznavanje efekata koji se javljaju prilikom interakcije mjernog senzora s površinom objekta i njihovih utjecaja na mjernu nesigurnost (npr. utjecaj refleksije svjetlosti sa zakrivljenih površina), može se preko odgovarajućih programskih algoritama upotrijebiti za planiranja relativne orijentacije mjernog senzora u odnosu na objekt.

Ljudski faktor – Ako analiziramo sve faze nekog procesa mjerenja, vidljivo je da je izravan ili neizravan utjecaj čovjeka neizbježan. Možemo pretpostaviti da se za isti mjerni objekt, uz iste uvjete okruženja, na istom mjernom uređaju može očekivati da će dva operatera različitih razina znanja i iskustva imati različit utjecaj

na kvantitativni iznos mjerne nesigurnosti, iako u korištenoj mjernoj tehnologiji ili mjerenom objektu nije bilo nikakvih promjena.

Zahtjevi za naknadnu obradu podataka – Pažljivo planiranje postupka mjerenja omogućuje da se u naknadnoj obradi rezultati mjerenja površina ili geometrijskih karakteristika objekta mogu rekonstruirati na temelju izmjerenih točaka u najkraćem mogućem roku, s najvećom mogućom točnošću i bez potrebe za naknadnim mjerenjima pojedinih elemenata objekta. Pojava različitih tipova uređaja za digitalizaciju i velikog broja dostupnih CAD programskih paketa za obradu podataka, dovela je do pojave međusobnih nekompatibilnosti, kako zbog nemogućnosti učitavanja nekog formata, tako i zbog razlike unutar pojedine inačica istog formata, čime se utječe na pouzdanost rezultata mjerenja (23).

6.2. Unutarnji čimbenici

Tehnološki principi na koje mjerna metoda oslanja pri definiranju mjerne informacije predstavljaju unutarnje čimbenike u užem smislu. U širem smislu to su čimbenici koji imaju realan utjecaj na kvalitetu i raspodjelu digitaliziranih podataka, a koji proizlaze iz stvarnih konstrukcijskih rješenja uređaja za digitalizaciju.

Unutarnji čimbenici koji utječu na kvalitetu rezultata mjerenja su:

- strukturni elementi mjernog uređaja
- način definiranja mjerne točke i mjernog volumena
- kalibracija sustava i
- programska greška.

Strukturni elementi mjernih uređaja koji utječu na točnost i preciznost postupka digitalizacije su: različite vrste senzora, optički elementi, izvori svjetlosti i pokretni elementi. Kamere za digitalizaciju koje se primjenjuju u stomatološkim CAD/CAM sustavima opremljene sa CCD ili CMOS sensorima. Točnost mjerenja u postupku digitalizacije u mnogome ovisi o stupnju točnosti slike površine objekta koja se formira u senzoru.

Optički elementi koji se nalaze u kamerama za digitalizaciju predstavljaju sustave leće. Najčešći izvori pogrešaka na ovoj razini nastaju tijekom promjene putanje reflektiranog zraka prilikom prolaska kroz leću. Spomenuti fenomeni, u fizici, su poznati kao *aberracije*.

Kromatska aberracija utječe na točnost digitaliziranih podataka i predstavlja fenomen karakterističan za sustave koji projektiraju strukturiranu svjetlost.

Način definiranja mjernih točaka i mjernog volumena u užem smislu podrazumijeva matematičku definiciju radnih principa mjerne metode i utjecaja na točnost koji iz nje proizlaze.

Kalibracija je skup operacija koje pod određenim uvjetima uspostavljaju odnos između vrijednosti koje pokazuje mjerni instrument i referentnog materijala ili vrijednosti koje ostvaruje standard mjerenja. Obavlja se na objektima poznatog oblika i geometrije, koji po svom obliku uglavnom ne odgovaraju obliku objekta koji se mjeri. Geometrija objekta koji se mjeri nema utjecaja na kalibracijske parametre (23).

7. PREDNOSTI DIGITALNIH OTISAKA U ODNOSU NA KONVENCIONALNE

Iako još ne mogu u potpunosti zamijeniti konvencionalne otiske, digitalni otisci nude niz prednosti zbog čega su sve zastupljeniji u svakodnevnoj praksi (47):

- **Prikaz u realnom vremenu**

Dok se kod konvencionalnog otiska ključni detalji prikazuju tek nakon njegova izlivanja u sadri, kod intraoralnoga digitalnog otiska analiza modela na ekranu može se provoditi već tijekom ili neposredno nakon digitalizacije. U slučaju nezadovoljavajuće kvalitete otisak se može odmah ponoviti u cijelosti ili se još jednom snimi samo dotični dio.

- **Jednostavnije ponavljanje**

U slučaju potrebnog ponavljanja otiska nije potrebno uklanjanje i čišćenje prijenosnih vijaka te čišćenje i ponovno premazivanje individualne žlice adhezivom.

- **Segmentalna digitalizacija relevantnih područja čeljusti**

U slučaju složene sveobuhvatne sanacije nudi se mogućnost podjele radnih koraka u dijelove tijekom nekoliko posjeta. Kritična područja kao što su stražnji dijelovi donje čeljusti, koja su zbog uzlaznog ramusa i jezika često teško dostupna, mogu se posebno digitalizirati. Kod digitalizacije više nosača moguće ih je raščlaniti i na taj način jednostavnije kontrolirati kritična područja.

- **Nema dezinfekcije otiska i čišćenja žlice za tiske**

Međutim, sve intraoralne kamere, odnosno kontaminirane površine mogu se čistiti i dezinficirati te prema potrebi također sterilizirati u autoklavu. Kao

dodatna mjera sprečavanja moguće bakterijske kontaminacije mogu se koristiti jednokratne plastične navlake koje se stavljaju preko kamere i nakon uspješne digitalizacije bacaju.

- **Podminirana područja nisu problem**

U slučaju prisutnosti prirodnih zubi i protetskih radova kod konvencionalnih otisaka važno je popuniti podminirana područja kako ne bi došlo do zaglavljivanja otiska. To kod digitalnog otiska nije potrebno.

- **Jednostavnije uzimanje otisaka na implantatima**

Pričvršćivanje otisnih transfera u slučaju konvencionalnog otiska tehnikom otvorene žlice, a posebno skidanje vijaka prije vađenja otiska može biti problematično. Ta poteškoća ne postoji kod digitalnog otiska.

- **Mogućnost analize otiska i modela neposredno u ordinaciji**

Neki sustavi omogućuju analizu debljine slojeva gradivnih materijala, ovisno o planiranom nadomjesku.

- **Brza komunikacija i dostupnost**

Digitalni model može se brzo slati internetom, što znači da se proizvodni lanac može nastaviti bez gubitka vremena i troškova transporta.

- **Nema oštećenja modela**

Digitalni model ne može se oštetiti, primjerice učestalim stavljanjem i skidanjem nadomjestaka ili čestom zamjenom implantatnih nadogradnji.

- **Mogućnost pohrane**

Digitalni model može se mnogo lakše i učinkovitije pohraniti od postojećih fizičkih modela (ušteda prostora).

- **Ušteda materijala**

Ako se u budućnosti budu mogli u potpunosti izbaciti materijali za otiske, to bi sa stajališta održivosti i uštede resursa bila ključna prednost digitalne tehnologije. Međutim, ne treba zanemariti trenutno još uvijek visoku cijenu takvih sustava.

- **Mogućnost izrade nadomjeska izravno u ordinaciji (eng. chairside)**

Koncept izrade nadomjeska u ordinaciji, na način kako ju je predstavila tvrtka Sirona krajem 1980-ih, preuzimaju i druge tvrtke.

- **Virtualno praćenje promjena**

Moguće je digitalno analizirati intraoralne promjene (npr. migracije zubi, recesije, napredovanje abrazije) s vremenom.

- **Zaobilaženje izrade modela**

Ako je definirano da će se u nastavku terapije koristiti CAD/CAM tehnologija, izravni digitalni otisak u ustima pacijenta ima više smisla od digitalizacije modela dobivenog konvencionalnim otiskom.

- **Mogućnost povezivanja**

Moguće je intraoralne 3D podatke kombinirati s drugim sustavima, npr CBCT-om, i na taj način proširiti dijagnostičke mogućnosti i mogućnosti planiranja.

8. RASPRAVA

Otisak u fiksnoj protetici moguće je uzeti na konvencionalan način ili koristiti suvremene digitalne metode. Cilj je u oba slučaja situaciju iz usta što vjernije i preciznije prenijeti u dentalni laboratorij. Razvojem tehnologije digitalni otisak nudi sve više prednosti u vidu poboljšanja preciznosti i ubrzavanja postupka te se time nameće kao sve vrijednija alternativa konvencionalnim metodama.

Prve ideje o primjeni CAD/CAM sustava u dentalnoj medicini stare su više od četrdeset godina. Od tog razdoblja do danas oni su zahvaljujući razvoju znanosti, prije svega računalnih tehnologija, doživjeli značajne tehnološke transformacije i unapređenja. Stomatološki CAD/CAM sustavi postaju sve popularniji u kliničkoj i laboratorijskoj praksi.

Međutim, prvobitna ideja o primjeni postupka intraoralne digitalizacije nije doživjela očekivanu praktičnu realizaciju. O tome svjedoči relativno mali broj uređaja za intraoralnu digitalizaciju koji se svakodnevno koriste u praksi (50). Razlog, uglavnom, predstavljaju brojna tehnička ograničenja koja otežavaju njihovu primjenu u okruženju usne šupljine (51). Posljednjih nekoliko godina, na tržištu se pojavljuju sustavi koji novim metodama intraoralne digitalizacije konkuriraju CEREC[®] sustavu, kojeg unatoč relativno uskom spektru kliničkih indikacija odlikuje najduža tradicija i najmasovnija klinička primjena (23).

Za razliku od intraoralnih, ekstraoralni uređaji za digitalizaciju doživjeli su značajnu ekspanziju na stomatološkom tržištu. Uređaji za digitalizaciju stomatoloških CAD/CAM sustava, u osnovi, predstavljaju mjerne instrumente čiji je

zadatak dvodimenzionalno ili trodimenzionalno registrirati objekte. Idealan uređaj za digitalizaciju možemo opisati kao mjerni instrument koji omogućuje više ponovljenih mjerenja koja daju identične rezultate i čije vrijednosti odgovaraju realnim dimenzijama objekta koji se mjeri. Različiti radni principi postupaka digitalizacije ukazuju na moguće razlike u ponovljivosti i preciznosti uređaja za digitalizaciju.

Prema FDA standardu, osnovna namjena uređaja za digitalizaciju stomatoloških CAD/CAM sustava je registriranje i mjerenje topografskih karakteristika i dimenzija zuba, dentalnih otisaka i radnih modela primjenom analognih ili digitalnih metoda. Podaci dobiveni u postupku digitalizacije koriste se za dizajniranje i izradu zubnih nadomjestaka. Sustave za optičku digitalizaciju čine sljedeće komponente: kamera, uređaj za digitalizaciju ili senzor i računalo s odgovarajućim softverom. FDA organizacija naglašava da je za pravilan rad uređaja za digitalizaciju značajna valjanost softvera (52). Budući da digitalizacija predstavlja postupak čija je namjena registriranje objekta, razumljivo je da greške koje nastaju tijekom njezine realizacije imaju značajan utjecaj na kvalitetu zubnih nadomjestaka.

Smatra se da je osnovno mjerilo kvalitete fiksnih zubnih nadomjestaka veličina prostora između brušenog zuba i nadomjeska (53). U publiciranim radovima pokazuje se da je prosječna vrijednost diskrepancije između brušenog zuba i unutarnje površine fiksnog nadomjeska izrađenog konvencionalnim postupkom usporediva s onima izrađenim CAD/CAM tehnologijama (54).

Pouzdanost digitaliziranih podataka može narušiti mnoštvo faktora. Parametri koji narušavaju ponovljivost i preciznost postupka intraoralne digitalizacije pripisuju

se uvjetima koji vladaju u usnoj šupljini (vlažno radno polje, neadekvatna osvjetljenost, loše pozicioniranje kamere u odnosu na zub, pomicanje pacijenta, podrhtavanje ruke operatera, aplikacija praha, položaj ruba preparacije). Pogreške koje se pojavljuju u postupku otiskivanja i izrade radnog modela (uglavnom se odnose na kvalitetu preparacije zuba, tehniku otiskivanja i dimenzionalnu stabilnost otisnih i gradivnih materijala) narušavaju preciznost i ponovljivost postupka ekstraoralne digitalizacije (55, 56).

Za razliku od postupka ekstraoralne digitalizacije, u postupku intraoralne digitalizacije nema konvencionalnog otiskivanja, izrade radnog modela, modeliranja u vosku, ulaganja, lijevanja itd. (57). Budući da intraoralna digitalizacija predstavlja zamjenu za konvencionalno otiskivanje, smatra se da preciznost i ponovljivost postupka intraoralne digitalizacije trebaju biti ekvivalentne stupnju preciznosti i ponovljivosti konvencionalnog otiska (58).

U dostupnim literaturnim podacima prisutan je relativno mali broj publiciranih radova koji ispituju preciznost i ponovljivost intraoralnih CAD/CAM sustava novije generacije, a razlog je kratko vremensko razdoblje u kojem se primjenjuju (58). Klinička uporaba kroz duže vrijeme praćena kontinuiranim istraživanjima i publiciranim rezultatima istraživanja predstavljat će najbolji pokazatelj njihove kvalitete (23).

9. ZAKLJUČAK

Digitalizirani postupci u izradi zubnih nadomjestaka nepovratno su promijenili dentalnu medicinu i daljnjim napretkom sve će više zamijeniti tradicionalne tehnike. Razvojem tehnologije digitalni otisak nudi brojne prednosti u vidu poboljšanja preciznosti i ubrzavanja samog postupka izrade nadomjestka te se time nameće kao sve vrijednija alternativa konvencionalnim metodama. Kvaliteta zubnih nadomjestaka značajno se poboljšava zahvaljujući mogućnosti standardizacije proizvodnih procesa. Na taj način omogućuje se učinkovito upravljanje kvalitetom. Vrlo značajno dostignuće koje je donijela digitalizacija također je mogućnost korištenja novih materijala iznimnih mehaničkih svojstava, koji se mogu obrađivati isključivo strojno. Primjenom CAD/CAM tehnologije započelo je novo doba u dentalnoj medicini. Jedina prepreka većoj zastupljenosti digitalnog otiska, osobito intraoralnog, u svakodnevnoj praksi, još uvijek je prvenstveno visoka cijena potrebne opreme. No, s vremenom se očekuje da će i taj čimbenik zbog konkurentnosti biti sve manje značajan kada se poveća broj sustava na tržištu.

10. SAŽETAK

Otisak u fiksno protetskoj terapiji najvažnije je sredstvo komunikacije između kliničara i laboratorijskog tehničara. Budući da se otisak nalazi na početku "proizvodnog lanca", eventualne greške odrazit će se na sve naredne korake u izradi protetskog rada i na njegovu konačnu preciznost. Zbog toga se nastavlja potraga za boljim materijalima i tehnologijama koji će pogreške svesti na najmanju moguću mjeru.

Suvremene digitalne metode razvijene su kako bi ubrzale i pojednostavile postupak, omogućujući njegovu standardizaciju i učinkovito upravljanje kvalitetom. Trodimenzionalna (3D) digitalizacija osnova je digitalnog otiska. Postupak digitalizacije u dentalnoj medicini može biti intraoralni ili ekstraoralni, koji je zbog praktičnosti zastupljeniji. Suvremeni sustavi temelje se na optičkim metodama digitalizacije. Pritom kao izvor svjetlosti danas uglavnom služi laser zbog manje osjetljivosti na okolne čimbenike.

Kao prednosti digitalnog otiska među ostalim se navode brzina, učinkovitost, ugodniji postupak za pacijenta, veća preciznost zbog smanjenja utjecaja ljudskog faktora, mogućnost pohranjivanja prikupljenih podataka na neodređeno vrijeme bez potrebe za fizičkim prostorom te jednostavniji prijenos digitalne slike između ordinacije i laboratorija.

Kvaliteta otiska ovisi o tehničkoj razini opreme koja se koristi, te educiranosti i stručnosti terapeuta. Svaka novija generacija uređaja za digitalizaciju nudi nove mogućnosti s novim senzorima, elektronikom i programskom podrškom te postupak čini jednostavnijim, bržim i preciznijim.

11. SUMMARY

Digital impressions in fixed prosthodontics

An impression in fixed prosthetic therapy is the most important communication tool between dentists and dental technicians. Since the impression is the first step in the "production chain", possible errors will be reflected in all subsequent processing steps during the fabrication of a restoration and influence its final precision. Therefore, there is a continuing quest for better materials and technologies to reduce errors to a minimum.

Modern digital methods have been developed to speed up and simplify the fabrication procedure, enabling standardization and effective quality management. Three-dimensional (3D) digitalization is the basis of a digital impression. The digitalization process in dentistry can be conducted intraorally or extraorally, which is more common because of the convenience. Modern systems are based on optical methods of digitalization. Today, the mainly used light source is laser due to less sensitivity to surrounding factors.

The benefits of digital impressions are speed, efficiency, more comfortable procedure for the patient, greater accuracy due to reduced influence of the human factor, the ability to store data for an indefinite period without occupying physical space, and easier transfer of digital images between the clinic and the laboratory.

The quality of the impression depends on the technical level of equipment used, as well as the education and expertise of the therapist. Each new generation of devices offers new possibilities with new sensors, electronics and softwares, which make the process easier, faster and more accurate.

12. LITERATURA

1. The glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent.* 2005;94(1):10–92. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16080238>.
2. Herbst D, Nel JC, Driessen CH, Becker PJ: Evaluation of impression accuracy for osseointegrated implant supported superstructures. *J Prosthet Dent.* 2000;83(5):555–61.
3. Walker MP, Ries D, Borello B: Implant cast accuracy as a function of impression techniques and impression material viscosity. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2008;23(4):669–74.
4. Lee H, Ercoli C, Funkenbusch PD, Feng C: Effect of subgingival depth of implant placement on the dimensional accuracy of the implant impression: an in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2008;99(2):107–13.
5. Lee H, So JS, Hochstedler JL, Ercoli C: The accuracy of implant impressions: a systematic review. *J Prosthet Dent.* 2008;100(4):285–91.
6. Wee AG: Comparison of impression materials for direct multi-implant impressions. *J Prosthet Dent.* 2000;83(3):323–31.
7. Brosky ME, Pesun IJ, Lowder PD, DeLong R, Hodges JS: Laser digitization of casts to determine the effect of tray selection and cast formation technique on accuracy. *J Prosthet Dent.* 2002;87(2):204–9.

8. Burns J, Palmer R, Howe L, Wilson R: Accuracy of open tray implant impressions: an in vitro comparison of stock versus custom trays. *J Prosthet Dent.* 2003;89(3):250–5.
9. Ceyhan JA, Johnson GH, Lepe X: The effect of tray selection, viscosity of impression material, and sequence of pour on the accuracy of dies made from dual-arch impressions. *J Prosthet Dent.* 2003;90(2):143–9.
10. Chee W, Jivraj S: Impression techniques for implant dentistry. *Br Dent J.* 2006;201(7):429–32.
11. Vigolo P, Majzoub Z, Cordioli G: Evaluation of the accuracy of three techniques used for multiple implant abutment impressions. *J Prosthet Dent.* 2003;89(2):186–92.
12. Vigolo P, Fonzi F, Majzoub Z, Cordioli G: An evaluation of impression techniques for multiple internal connection implant prostheses. *J Prosthet Dent.* 2004;92(5):470–6.
13. Rudd RW, Rudd KD: A review of 243 errors possible during the fabrication of a removable partial denture: part II. *J Prosthet Dent.* 2001;86(3):262–76.
14. Rudd RW, Rudd KD: A review of 243 errors possible during the fabrication of a removable partial denture: part III. *J Prosthet Dent.* 2001;86(3):277–88.
15. Beuer F, Schweiger J. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Brit Dent J.* 2008;204:505–11.

16. Luthardt R, Weber A, Rudolph H, Schöne C, Quaas S, Walter M. Design and production of dental prosthetic restorations: basic research on dental CAD-CAM technology. *Int J Comput Dent.* 2002;5:165–76.
17. Vlaar ST, van der Zel JM. Accuracy of dental digitizers. *Int Dent J.* 2006;56:301–9.
18. Suarez MJ, González de Villaumbrosia P, Pradies G, Lozano JF. Comparison of the marginal fit of Procera AllCeram crowns with two finish lines. *Int J Prosthodont.* 2003;16:229–32.
18. Conrad HJ, Seong W-J, Pesun IJ. Current ceramic materials and systems with clinical recommendations: a systematic review. *J Prosthet Dent.* 2007;98:389–404.
19. Raigrodski AJ. Contemporary materials and technologies for all-ceramic fixed partial dentures: a review of the literature. *J Prosthet Dent.* 2004;92:557–62.
20. Pak H-S, Han J-S, Lee J-B, Kim S-H, Yang J-H. Influence of porcelain veneering on the marginal fit of Digident and Lava CAD-CAM zirconia ceramic crowns. *J Adv Prosthodont.* 2010;2:33–8.
21. Rekow D. Computer aided design and manufacturing in dentistry: A review of the state of art. *J Prosthet Dent.* 198;58:512-16.
22. Becker J. CAD/CAM in der Zahnmedizin, Teil I. *ZWR.* 1996;105:119-25.
23. Trifković B. V. Analiza metroloških karakteristika uređaja za optičku digitalizaciju stomatoloških CAD/CAM sistema [disertacija]. Beograd: Sveučilište u Beogradu, Stomatološki fakultet; 2012.

24. 3shape Twitter profile [Internet]. 3Shape Trips Digital workflow from DLA dental lab. [cited 2015 Jun 03]. Available from: <https://twitter.com/3shape/status/605989883065286656>
25. Carbone V, Carocci M, Savio E, Sansoni G, De Chiffre L. Combination of a Vision System and a Coordinate Measuring Machine for the Reverse Engineering of Freeform Surfaces. *Int J Adv Manuf Tech.* 2001;17:263-71.
26. Budak I. Development of the system for intelligent pre-processing of 3D digitalisation results from free-form surface [disertacija]. Ljubljana: Fakultet tehniških znanosti; 2009.
27. Persson A, Andersson M, Oden A, Sandborgh G. A three-dimensional evaluation of laser scanner and a touch-probe scanner. *J Prosthet Dent.* 2006;95:194-200.
28. Mörmann WH, Bindl A. The new creativity in ceramic restorations Dental CAD/CAM. *Quintessence Int.* 1996;27:821-8.
29. Mörmann WH, Brandestini M. The fundamental inventive principles of CEREC CAD/CAM. In: Mörmann WH, ed. *State of the art of CAD/CAM restorations: 20 years of CEREC.* London: Quintessence Books 2006;1-8.
30. Van der Meer WJ, Andriessen FS, Wismeijer D, Ren Y. Application of IntraOral Dental Scanners in the Digital Workflow of Implantology. *PLoS One.* 2012;7(8):e43312. [Internet]. [cited 2016 Aug 9]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3425565/>

31. Scotty L. Bolding. Advanced Digital Implant Dentistry. PennWell Publications. 2012;3(9). [Internet]. [cited 2016 Aug 9]. Available from: https://www.dentalacademyofce.com/courses/2264/PDF/1206cei_implant_web.pdf
32. Pfeiffer J. Dental CAD/CAM Technologies: The Optical Impression I. Int J Comput Dent. 1998;1:29-33.
33. Duspara N. Usporedba konvencionalnih i digitaliziranih postupaka u implanto-protetici [diplomski rad]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet; 2015.
34. <http://www.sirona.com/en/> [Internet]. [cited 2016 Sep 15].
35. <http://www.wakeorthopedo.com/wp-content/uploads/2016/04/iTero.jpg> [Internet]. [cited 2016 Sep 15].
36. <http://2nznub4x5d6lra4q12fyu67t.wpengine.netdna-cdn.com/img/BronzeLavaCos-web.jpg> [Internet]. [cited 2016 Sep 19].
37. <http://awn1ax23pbi9l2ef.zippykid.netdnacdn.com/wpcontent/uploads/2015/06/Trios-scanner.jpg> [Internet]. [cited 2016 Sep 15].
38. Fasbinder DJ. Predictable CEREC occlusal relationships. In: Mörmann WH, Ed. State of the art of CAD/CAM restorations: 20 years of CEREC. Quintessence Books, Illinois USA 2006; p. 93-100.
39. Jecić S, Drvar N. 3D shape measurement influencing factors, Matest 2004, Zagreb 2004.
40. <http://www.kavo-cadcam.com/Everest-System/Everest-scan-pro.aspx> [Internet]. [cited 2016 Sep 18].

41. http://www.nobilmetal.it/public/news_attach/stampa_sinergia_Scan_en.pdf
[Internet]. [cited 2016 Sep 15].
42. http://www.nobilmetal.it/public/products_attach/stampa_sinergiaScan_eng_15_02_12.pdf [Internet]. [cited 2016 Sep 18].
43. Motavalli S. Review of Reverse Engineering Approaches, 23rd International Conference on Computers and Industrial Engineering. 1998;35(1-2):25-8.
44. Kneisl G. 3D-Digitizing and Surface Reconstruction, Institute for Applied and Technical Physics, Vienna University of Technology, Vienna, 2000.
45. <https://www.youtube.com/watch?v=oCzq-jy-8nU> [Internet]. [cited 2016 Sep 19].
46. https://en.wikipedia.org/wiki/Rapid_prototyping [Internet]. [cited 2016 Sep 15].
47. Wolfart S. Implantoprotetika – koncept usmjeren na pacijenta Berlin, Chicago, Barcelona: Quintessence Publishing;2014, p. 363
48. Baba M, Narita D, Ohtani K. An advanced rangefinder equipped with a new image sensor with the ability to detect the incident angle of a light stripe. Journal of optics A: Pure and applied optics 2004: p. 10-16.
49. Rudolph H, Ludhardt RG, Walter MH. Computer-aided analysis of the influence of digitizing and surfacing on the accuracy in dental CAD/CAM technology. Comput in Biol and Medic 2007;37:579-87.
50. Logozzo S, Franceschini G, Kilpelä A, Caponi M, Governi L, Blois L. A Comparative Analysis of Intraoral 3d Digital Scanners For Restorative Dentistry. The Internet Journal of Medical Technology. 2011;1(5). DOI: 10,5580/1b90.

51. Ludhardt RG, Koch R, Rudolph H, Walter MH. Qualitative computer aided evaluation of dental impression in vivo. *Dent Mater.* 2006;22:66-76.
52. [http://www.fda.gov/MedicalDevices/DeviceRegulationandGuidance/GuidanceDocuments/ucm072709.htm?utm_campaign=Google2&utm_source=fdaSearch&utm_medium=website&utm_term=dental cadcam optical device&utm_content=1](http://www.fda.gov/MedicalDevices/DeviceRegulationandGuidance/GuidanceDocuments/ucm072709.htm?utm_campaign=Google2&utm_source=fdaSearch&utm_medium=website&utm_term=dental%20cadcam%20optical%20device&utm_content=1).
53. Besimo C, Jeger C, Guggenheim R. Marginal adaptation of titanium frameworks produced by CAD/CAM Techniques. *Int J Prosthodont.* 1997;10:541-46.
54. Vlaar ST, Van der Zel JM. Accuracy of dental digitizers *Int Dent J.* 2006;56 (5): 301-09.
55. Kanyon BJ, Hagge MS, Leknius C, Daniels WC, Weed ST. Dimensional accuracy of 7 die materials. *J of Prosthodont.* 2005;14:25-31.
56. Wostmann B, Dohle A, Rettberg S. Zur Frage der in vivo erreichbaren Abformgenauigkeit. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift.* 1994;49:679-82.
57. Syrek A, Reich G, Ranftl D, Klein C, Cerny B, Brodesser J. Clinical evaluation of all – ceramic crowns fabricated from intraoral digital impressions based on the principle of active wavefront sampling. *J Dent.* 2010;38:553-9.
58. Edner A, Mehl A. Full arch Scans: conventional versus digital impressions – an in vitro study. *Int J Coput Dent* 2011;14:11-21.
59. Persson AS, Andersson M, Oden A, Sandborgh-Englund G. Computer aided analysis of digitized dental stone replicas by dental CAD/CAM technology. *Dent Mater.* 2008;24(8):1123–30.

13. ŽIVOTOPIS

Alen Cvitković rođen je 17. svibnja 1990. u Zagrebu gdje je završio osnovnu školu i prirodoslovno-matematičku XV. gimnaziju. Uspješno je završio prvu godinu Veterinarskog fakulteta, gdje je bio i voditelj studentske informatičke sekcije u studentskoj udruzi «Equus». Godine 2010. upisao je integrirani dodiplomski studij na Stomatološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Za vrijeme studija volontirao je na Zavodu za dječju i preventivnu stomatologiju. Bio je i aktivni sudionik «European Youth Event» okupljanja u Europskom parlamentu (Strasbourg) 2014. godine. Sudjelovao je u projektu «Zubić vila». Aktivno govori engleski te pasivno njemački, španjolski i ruski jezik.