

# Primjena digitalnih protokola u izvedbenim postupcima protetski vođene implantoprotetske terapije

---

Dubrović, Aleksandra

Professional thesis / Završni specijalistički

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, School of Dental Medicine / Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:127:656909>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial 4.0 International](#)/[Imenovanje-Nekomercijalno 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-24**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb School of Dental Medicine Repository](#)





Sveučilište u Zagrebu  
Stomatološki fakultet

Aleksandra Dubrović

**PRIMJENA DIGITALNIH PROTOKOLA U  
IZVEDBENIM POSTUPCIMA PROTETSKI  
VOĐENE IMPLANTOPROTETSKE  
TERAPIJE**

POSLIJEDIPLOMSKI SPECIJALISTIČKI RAD

Zagreb, 2020.

Rad je ostvaren u: Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet, Zavod za fiksnu protetiku

Naziv poslijediplomskog specijalističkog studija: Dentalna implantologija

Mentor rada: doc. dr .sc. Joško Viskiće, Stomatološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Lektor hrvatskog jezika: Jana Dužević, profesorica hrvatskog jezika i književnosti

Lektor engleskog jezika: Iva Štekar Cergna, profesorica engleskog jezika i književnosti

Sastav Povjerenstva za ocjenu poslijediplomskog specijalističkog rada:

1. Izv.prof.dr.sc. Nikša Dulčić, predsjednik
2. Izv.prof.dr.sc. Tihomir Kuna, član
3. Doc.dr.sc. Joško Viskiće, član

Sastav Povjerenstva za obranu poslijediplomskog specijalističkog rada:

1. Izv.prof.dr.sc. Nikša Dulčić, predsjednik
2. Izv.prof.dr.sc. Tihomir Kuna, član
3. Doc.dr.sc. Joško Viskiće, član
4. Doc.dr.sc. Slađana Milardović, zamjena

Datum obrane rada: 16. srpnja 2020. godine

Rad sadrži: 69 stranica  
0 tablica  
11 slika  
CD

Rad je vlastito autorsko djelo, koje je u potpunosti samostalno napisano uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu. Osim ako nije drukčije navedeno, sve ilustracije (tablice, slike i dr.) u radu su izvorni doprinos autora poslijediplomskog specijalističkog rada. Autor je odgovoran za pribavljanje dopuštenja za korištenje ilustracija koje nisu njegov izvorni doprinos, kao i za sve eventualne posljedice koje mogu nastati zbog nedopuštenog preuzimanja ilustracija odnosno propusta u navođenju njihovog podrijetla.

## **Zahvala**

Zahvaljujem doc. dr. sc. Jošku Viskiću na susretljivosti i stručnim savjetima kojima mi je pomogao prilikom izrade ovog rada i prof. dr. sc. Zoranu Kovaču koji mi je omogućio da ovaj rad potkrijepim slikama.

## Sažetak

### PRIMJENA DIGITALNIH PROTOKOLA U IZVEDBENIM POSTUPCIMA PROTETSKI VOĐENE IMPLANTOPROTETSKE TERAPIJE

Razvoj digitalne tehnologije omogućio je brzi napredak dentalne medicine. Razvoj CAD/CAM sustava i 3D pisača ubrzava rad doktora dentalne medicine, smanjuje broj dolazaka pacijenata, te je ubrzan i cjelokupni proces izrade implantoprotetskog nadomjeska. Postupak izvedbe počinje uzimanjem optičkoga otiska intraoralnim skenerom ili skeniranjem sadrenoga modela. Nakon dizajniranja u CAD softveru, jedinica za glodanje ili 3D pisac na temelju zadanih parametara izrađuju željeni nadomjestak. Materijali koji se koriste za obradu CAD/CAM tehnologijom dolaze u obliku blokova ili diskova, a ovisno o indikaciji odnosno specifičnim estetskim ili funkcionalnim potrebama moguće je izraditi brojne konstrukcije poput ljuskica, *inlaya*, *onlaya*, pojedinačnih krunica, višečlane mosne konstrukcije, uključujući i teleskopske krunice, prečke i totalne proteze. CAD/CAM sustav neposredne izrade u ordinaciji omogućava da pacijent u jednome danu dobije fiksnoprotetski nadomjestak. Za izradu imedijatnih protetskih nadomjestaka na implantatima potrebno je prethodno odrediti njihov položaj u čeljusti stoga se u posljednje vrijeme u implantologiji sve više upotrebljavaju kirurški predlošci u potpunosti izvedeni računalnom tehnologijom. Planiranje postavljanja implantata izvodi se uz pomoć CAD softvera, CBCT i intraoralne snimke, a sam kirurški predložak izrađuje se tehnikom glodanja, SLA (eng. stereolithography) 3D printanjem ili FDM (eng. fused deposition modeling) 3D printanjem. Uporaba 3D pisača u protetici uključuje izradu individualnih žlica za otiske, situacijskih modela, privremenih nadomjestaka, metalnih osnova za krunice i mostove, konstrukcijskih modela za lijevanje od polimera ili izravno metalne baze proteza, akrilatnih proteza te udlaga.

**Ključne riječi:** CAD/CAM; digitalne tehnologije; dentalni materijali; implantoprotetski nadomjestak; kirurški predložak; 3D pisači

## **Summary**

### **DIGITAL WORKFLOW IN PERFORMANCE PROCEDURES OF PROSTHETICALLY GUIDED IMPLANTOLOGY**

The development of digital technology has enabled a fast advancement of dental medicine. The development of CAD/CAM systems and 3D printers accelerates the work of dental medicine doctors, lowers the number of patient appointments and makes the whole process of the making of the implant-prosthetic replacement faster. The procedure starts by taking an optical impression with an intraoral scanner or by scanning a plaster model. After designing it in CAD software, the milling cutter or the 3D printer create the desired implant from the given parameters. The materials used for the CAD/CAM technology elaboration come in the form of blocks or discs and depending on the indication or specific esthetic or functional needs, it is possible to make numerous constructions like veneers, inlays, onlays, individual crowns, multiple bridge construction, including telescopic crowns, bars and complete denture. The CAD/CAM system of direct making in the dental clinic enables the patient to receive a fixed prosthetic replacement in one day. For the making of immediate prosthetic replacements on implants it is necessary to previously determine their position in the jaw. For that reason surgical templates created with computerized technology are lately increasingly used in implantology. Implant location planning is performed with CAD software, CBCT and intraoral imaging while the surgical template is made by use of a milling cutter, SLA (stereolithography) or 3D printing or FDM (fused deposition modeling) 3D printing. The use of 3D printers in prosthetics includes the making of individual impression spoons, situation models, temporary replacements, metal bases for crowns and bridges, construction models for polymer casting or directly the metal base of dentures, acrylate dentures and splints.

**Key words:** CAD/CAM; digital technologies; dental materials; implant-prosthetic replacement; surgical template; 3D printers

## Sadržaj

1.	UVOD .....	1
2.	CAD/CAM SUSTAVI .....	2
2.1.	Povijesni razvoj .....	3
2.2.	CAD/CAM komponente .....	3
2.2.1.	Digitalni otisak .....	4
2.2.2.	CAD softver .....	5
2.2.3.	Glodalice .....	6
2.3.	Brusna sredstva jedinice za glodanje .....	8
2.4.	Sinteriranje .....	9
2.5.	Klasifikacija CAD/CAM sustava .....	11
2.5.1.	Podjela na temelju metode izrade nadomjeska .....	11
2.5.2.	Podjela prema načinu dijeljenja podataka .....	12
2.6.	CAD/CAM sustavi i protetika .....	13
2.6.1.	Materijali .....	13
2.6.2.	Završna obrada izglodanih keramičkih nadomjestaka .....	19
2.7.	CAD/CAM sustavi i implantologija .....	20
2.7.1.	CAD/CAM kirurški predložak .....	21
2.7.2.	Izrada CAD/CAM kirurškog predloška .....	23
2.8.	CAD/CAM prednosti i nedostaci .....	26
2.9.	Pregled CAD/CAM sustava .....	26
2.9.1.	CEREC (Dentsply Sirona, York, Pennsylvania, SAD) .....	27
2.9.2.	Planmeca FIT (Planmeca, Helsinki, Finska) .....	32
2.9.3.	TRIOS (3Shape, Copenhagen, Danska) .....	33
2.9.4.	iTero (Align Technology, Cadent, San Jose, California, SAD) .....	35
2.9.5.	VirtuoVivo (Dental wings, Montreal, Kanada) .....	36
2.9.6.	CeraMill (Amann Girrbach, Koblach, Austrija) .....	36
2.9.7.	DgShape DWX series (RolandDg, Hamamatsu, Japan) .....	37
2.9.8.	LabTec (Dental Direkt, Spenge, Njemačka) .....	38
3.	3D PISAČI .....	40
3.1.	Povijesni razvoj .....	41
3.2.	Tehnologije 3D ispisa .....	42
3.3.	Materijali .....	44
3.4.	3D pisači u implantoprotetici .....	46

3.5. Preciznost 3D ispisa.....	48
3.6. Pregled tržišta .....	49
3.6.1. 3D pisaci polimera .....	50
3.6.2. 3D pisaci metala.....	52
3.6.3. 3D pisaci PEEK i PEI materijala .....	53
4. RASPRAVA.....	54
5. ZAKLJUČAK.....	57
6. LITERATURA .....	59
7. ŽIVOTOPIS .....	68



## **Popis skraćenica**

CAD – računalom potpomognuto oblikovanje (engl. *computer aided design*)

CAM – računalom potpomognuta izrada (engl. *computer aided manufacturing*)

CEREC – engl. *chairside economical restoration of esthetic ceramics*

CB/CT – engl. *cone beam computed tomography*

STL – engl. *standard tessellation language*

DICOM – engl. *Digital imaging communication in medicine*

PMMA – polimetilmetakrilat

PEEK – polietereterketon

MPa – megapaskal

HV – tvrdoća po Wickersu

PEI – polieterimid

SEM – engl. *scanning electron microscopy*

SLA – stereolitografija (engl. *stereolithography*)

SLM – selektivno lasersko taljenje (engl. *selective laser melting*)

SLS – selektivno lasersko sinteriranje (engl. *selective laser sintering*)

DLP – digitalna svjetlosna obrada (engl. *digital light processing*)

FDM – fuzijsko depozicijsko modeliranje (engl. *fused deposition modeling*)

PBP – engl. *powder binder printer*

PPJ – engl. *photopolymer jetting*

PLA – polilaktična kiselina (engl. *polylactic acid*)

PCL – polikaprolakton (engl. *polycaprolactone*)

ABS – akrilonitril butadien stiren

PLGA – polilaktična koglikolna kiselina

3D – trodimenzionalno (engl. *three- dimensional*)

UV – ultraljubičasta zraka (engl. *ultraviolet*)

## **1. UVOD**

Digitalna revolucija mijenja svijet, kako u drugim područjima znanosti, tako i u dentalnoj medicini, gdje pronalazi sve veću primjenu u svakodnevici. Digitalizacija je uključena u gotovo sve grane dentalne medicine što rezultira sa većom razinom predvidljivosti ishoda implantoprotetskog nadomjeska (1). Izraz CAD/CAM, koji će u radu biti korišten odnosi se na CAD; što je kratica za engleski izraz Computer Aided Design, na hrvatski jezik prevedeno kao računalom potpomognuto oblikovanje i CAM; što dolazi od engleskoga izraza Computer Aided Manufacturing, u hrvatskom jeziku izraženo računalom potpomognuta izrada.

Pacijenti dolaze sa sve većim estetskim i funkcionalnim zahtjevima. Zbog brzine i kvalitete u izvedbi protetskih nadomjestaka te smanjenom broju dolazaka pacijenta, uporaba digitalnih tehnologija ima sve značajniju ulogu u dentalnoj medicini (2).

Djelomična ili potpuna bezubost je stanje s kojim se svakodnevno susrećemo u ordinaciji dentalne medicine. Gubitak zuba predstavlja značajan funkcijski i estetski nedostatak. Nadoknada izgubljenih zuba može se provesti mobilnim protetskim nadomjescima te fiksnim protetskim nadomjescima ako preostali zubi to omogućavaju. Međutim sve su češći zahtjevi pacijenata za implantoprotetskom terapijom (3).

Svrha je ovoga rada opisati razvoj digitalnih tehnologija, posebno izvedbu nadomjestaka CAD/CAM tehnologijom, opisati prednosti i nedostatke, sustavne dijelove, indikaciju i kliničku primjenu, osvrnuti se na pregled sustava na tržištu i u konačnici na uporabu u implantologiji prvenstveno u izradi kirurških predložaka za protetski vođenu implantoprotetsku terapiju i na kraju protetskoj rehabilitaciji, te nadalje opisati razvoj 3D pisača, sustavne dijelove, indikaciju i kliničku primjenu u konačnoj izvedbi implantoprotetskog nadomjeska.

## **2. CAD/CAM SUSTAVI**

## 2.1. Povijesni razvoj

Prvi CAD/CAM dentalni sustav spominje se 1971. godine kada je Dr. Francois Duret počeo proizvoditi krunice na način da je uzeo optički otisak nadogradnje, dizajnirao njegov izgled i izgledao ga u glodalici. Svoj prvi CAD/CAM nadomjestak napravio je 1983. godine, a 1985. g., svoj sistem predstavio je na međunarodnom kongresu, gdje je svojoj ženi za manje od jednog sata izradio zubnu krunicu. Kasnije je razvio i svoj Sopha sustav (4).

Dr. Moermann izumitelj je prvog komercijalnog CAD/CAM sustava direktne izrade u ordinaciji. Sa svojim je timom 1985. godine, demonstrirao prvi ordinacijski izrađen *inlay* u jednom posjetu. Sustav su nazvali CEREC (engl. *chairside economical restoration of esthetic ceramics*), a bio je to prvi sustav koji je kombinirao optički otisak i jedinicu za glodanje.

CEREC je postao zaštitni proizvod njemačke kompanije „Siemens“. Nedugo nakon toga uvidjevši nedostatke prvog CEREC sustava, dolazi do razvoja poboljšanih varijanti uređaja CEREC 2 i CEREC 3. Tvrtka „Sirona“ otkupila je CEREC 3 sustav i time postaje njezino zaštitno lice (5).

Trag u povijesti razvoja sustava ostavio je i dr. Anderson koji 1983. godine osniva Procera sustav, iskoristivši CAD/CAM sustav za izradu fasetiranih protetskih radova (6).

## 2.2. CAD/CAM komponente

Evolucija dentalnih materijala i napredak u računalnoj znanosti doveli su do brzog razvoja dentalne CAD/CAM tehnologije. Tijekom posljednjih nekoliko desetljeća predstavljeni su brojni CAD/CAM sustavi. Računala se koriste za prikupljanje podataka, dizajn i proizvodnju širokog spektra proizvoda u CAD / CAM sustavima. Ovi se sustavi dugo koriste u industriji, ali nisu bili dostupni za dentalnu primjenu sve do 1980-ih (7).

CAD/CAM sustavi sastoje se od tri komponente:

- Skenera kako bi se stvorio digitalni otisak
- CAD softvera za dizajn nadomjeska
- Glodalice (CAM jedinice) za izradu nadomjeska iz digitalno obrađenog skupa podataka (8).

### 2.2.1. Digitalni otisak

Digitalni otisci predstavljaju inovativne metode koje doktorima dentalne medicine omogućavaju konstrukciju virtualno, računalno generirane kopije tvrdog i mekog tkiva usne šupljine uporabom uređaja za optičko skeniranje. Digitalne metode otiskivanja bilježe skenirane podatke s velikom preciznošću i kratkom vremenskom razdoblju, bez potrebe za konvencionalnim metodama otiskivanja koji su većini pacijenata neprikladni, dugotrajniji i neugodniji. Skenirani podaci zatim se premještaju u računalnu radnu stanicu gdje softver dizajnira nadomjestak (9).

Digitalni otisak može se uzeti direktno u ustima intraoralnom kamerom te se takav način snimanja naziva intraoralno skeniranje. Drugi način snimanja je ekstraoralno laboratorijsko skeniranje prilikom kojeg se pomoću laserskog skenera snima model.

Intraoralne kamere ovisno o načinu snimanja mogu se podijeliti na one koje snimaju pojedinačne, individualne slike te videokamere. Prilikom snimanja pojedinačnih slika zahvati se otprilike do tri zuba i nakon više preklapajućih snimki softver stvara virtualni 3D model. Primjer takvih kamera jesu PlanScan (Planmeca, Helsinki, Finska), iTero (Align Technology, San Jose, California, SAD), CS3600 (Carestream dental, Rochester, New York, SAD) i Trios (3Shape, Copenhagen, Danska) no potrebno je snimanje izvršiti i iz različitih kutova kako bi se mogla snimiti podminirana područja. Druga skupina kamera jesu skeneri sa videokamerom poput True Definition scanner (3M ESPE, Maplewood, Minnesota, SAD), Apollo DI (Sirona, Long Island City, New York, SAD) i BlueCam (Sirona, Long Island City, New York, SAD) (10).

Ekstraoralno laboratorijsko snimanje klinički se izvodi klasičnom tehnikom otiskivanja silikonskim materijalima ili polieterom nakon čega se u laboratoriju izlijeva gipsani model kojeg zubni tehničar skenira pomoću laboratorijskog sustava za skeniranje. Nakon ove faze, protetske rekonstrukcije mogu biti dizajnirane i dalje proizvedene u digitalnom okruženju, sa većom preciznošću i manjim greškama u usporedbi s čisto analognim tehnikama otiskivanja (11).

Digitalni optički otisci nalaze primjenu i u ortodonciji i kirurgiji. U ortodonciji koriste se za dijagnostiku i dizajn *alignera*. U kirurgiji optički otisci omogućuju planiranje postave implantata. Informacije o snimljenim dentogingivalnim tkivima kombiniraju se i preklapaju sa informacijama o pacijentovim koštanim strukturama dobivenim CBCT snimkom uz pomoć posebnih softverskih paketa za planiranje implantacije čime operater može dizajnirati kirurške predloške za protetski vođeno postavljanje implantata, a koji su onda nakon planiranja fizički proizvedeni u glodalici ili u 3D pisaču i koriste se klinički (12).

CBCT podaci se spremaju u „Digital Imaging Communication in medicine“ formatu (DICOM), dok se optički skenirani podaci spremaju i prenose u „Standard tessellation language „ (STL) format kako bi bili čitljivi svim CAD/CAM sustavima. Uz to, novi CBCT uređaji imaju mogućnost spajanja fotografije lica s CBCT-om kako bi se dobio što točniji prikaz digitalno dizajniranog osmijeha (13).

### **2.2.2. CAD softver**

CAD softver koristi se za dizajn implantoprotetskih nadomjestaka gdje operater unosi podatke dobivene postupkom skeniranja te ucrtava granice preparacije i individualizira predloženi izgled nadomjeska. Raznim opcijama koje softver nudi može se mijenjati jačina aproksimalnih i antagonističkih kontakta, nagib nadomjeska ili njegov oblik. Noviji modeli računalnih sustava omogućuju i korištenje virtualnih artikulatora predstavljenih od tvrtki Amann Girrbach (Koblach, Austrija), Smart Optics (Bochum, Njemačka) i Zirkonzahn (Gais, Južni Tiro) (8). Pomoću virtualnih artikulatora moguće je odrediti dinamične i statične kontaktne površine te time postići zadovoljavajuću okluziju.



### 2.2.3. Glodalice

Izvedba nadomjeska glodanjem u CAM jedinici zadnji je korak u procesu. Glodalice se dijele ovisno o suhom ili mokrom glodanju/brušenju te po broju osi za glodanje. Pri tome broj osi određuje oblik nadomjeska, a način glodanja određuje materijal koji koristimo pri izradi.

Kada govorimo o suhom ili mokrom glodanju; suho glodanje obično se koristi za glodanje presinteriranih cirkonijoksidnih blokova, hibridne keramike, kompozitnih materijala, PMMA (polimetilmetakrilat) i PEEK (polietereterketon) termoplastičnih materijala. Primjer ovakvih glodalica su Ceramill mikro 4x, Ceramill mikro 5x (Amann Girrbach, Koblach, Austrija) i DGShape DWX4 (Rolanddg, Hamamatsu, Japan). Kod mokroga glodanja dijamantno i karbidno svrdlo zaštićeni su od pregrijavanja vodenim mlazom. Ovaj način izrade potreban je za sve metalne i staklokeramičke blokove kako bi se prevenirala njihova oštećenja. Kod gusto presinteriranih cirkonijoksidnih blokova potreban je mokri način glodanja kako bi se smanjio faktor skupljanja i distorzija. Primjer mokrih glodalica su: Ceramill mikro ic (Amann Girrbach, Koblach, Austrija), DGShape DWX- 42W (Rolanddg, Hamamatsu, Japan) i M series milling units (Zirkonzahn, Gais, Južni Tirol). Na tržištu postoje i glodalice za suho i mokro glodanje u jednom te su neke od najčešće korištenih: Cerec MC (Dentsply Sirona, York, Pennsylvania, SAD), Planmill (Planmeca, Helsinki, Finska), Ceramill Motion 2 (Amann Girrbach, Koblach, Austrija), DC milling systems (Zubler USA, Lawrenceville, Georgia, SAD) te Coritec (Imes-icore, Eiterfeld, Njemačka).

Ovisno o broju osi za glodanje razlikujemo glodalice sa 3 osi koje imaju stupnjeve pomicanja u tri prostorne ravnine. Stoga su točke glodanja jedinstveno definirane -x, -y i -z vrijednostima. Svi uređaji s 3 osi mogu okretati nadomjestak za 180 ° tijekom obrade. Prednosti ovih glodalica su kratko vrijeme glodanja i pojednostavljeno upravljanje preko tri osi. Takvi uređaji za glodanje obično su jeftiniji od onih s 4 ili 5 osi. Glodalice sa 4 osi imaju mogućnost glodanja u tri različite ravnine, odnosno brusno sredstvo pomiče se oko -x, -y i -z osi dok držač bloka materijala rotira oko osi. Primjeri glodalica sa četiri osi su sljedeći: PlanMill 40 S (Planmeca, Helsinki, Finska), Ceramill mikro 4x (Amann Girrbach, Koblach, Austrija), Dgshape DWX-4 (Rolanddg, Hamamatsu, Japan) i CS 3000 (Carestream dental, Rochester, New York, SAD). Glodalice sa 5 osi posjeduju sve navedene karakteristike uz dodatak mogućnosti rotacije glave stroja za glodanje za izradu najsloženijih mosnih konstrukcija.

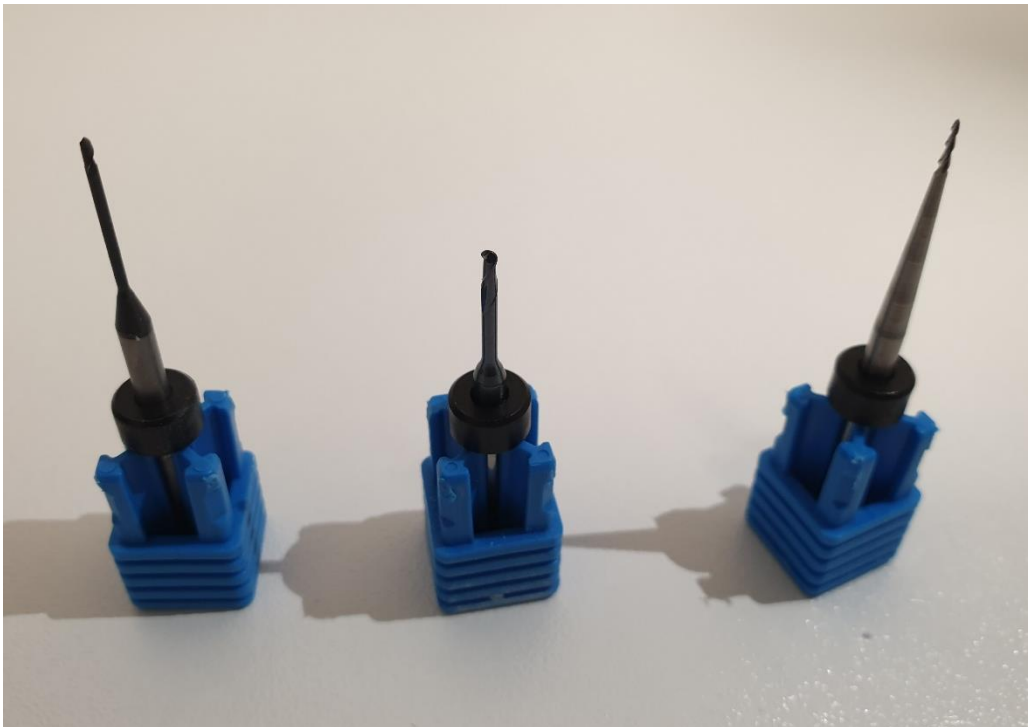
Primjeri ovakvih glodalica su PlanMill 50 S (Planmeca, Helsinki, Finska), Programill One (Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenštajn), Coritec series (Imes-icore, Eiterfeld, Njemačka), Ceramill motion 2 (Amann Girrbach, Koblach, Austrija), Datron D5 (Datron, Muhltal, Njemačka), Dgshape DWX-52D (Rolanddg, Hamamatsu, Japan), DC (ZublerUSA, Lawrenceville, Georgia, SAD), LabTec (Dental Direkt, Spenge, Njemačka) (Slika 1.) i druge. Kvaliteta izgledanih nadomjestaka ne mora nužno biti povećana sa brojem osi za glodanje. Povećani broj osi preciznije izrađuje složene restauracije i ne odnosi se na kvalitetu. Kvaliteta nadomjeska više je rezultat precizno digitalno isplanirane restauracije (14).



Slika 1. Glodalica. Preuzeto s dopuštenjem autora: prof.dr.sc. Zoran Kovač

### 2.3. Brusna sredstva jedinice za glodanje

Brusna sredstva odnosno svrdla mogu biti karbidna i čelična. Karbidna svrdla (Slika 2.) koja su ekonomski prihvatljivija koriste se za obradu PMMA termoplastičnog materijala, voska, kobalt krom legura, titan legura i cirkonijoksidne keramike. Potrebno je redovito čišćenje karbidnih svrdala kako bi se očuvale optimalne rezne sposobnosti. Materijali poput PMMA-a i voska mogu se zadržati unutar reznih žljebova tijekom hlađenja materijala i zaostati na svrdlu. Ukoliko se karbidna svrdla koriste za obradu cirkonijeva oksida skraćuje im se vijek trajanja. Za obradu cirkonijevog oksida bolje je koristiti dijamanta svrdla čime se dobivaju visoko kvalitetni nadomjesci sa dobrim marginalnim dosjedom, kao i za obradu kompozitnih materijala i hibridne keramike (15).



Slika 2. Svrdla za glodalicu. Preuzeto s dopuštenjem autora: prof.dr.sc. Zoran Kovač

## 2.4. Sinteriranje

Peć za sinteriranje je potrebna za materijale koji zahtijevaju sinteriranje ili keramičko glaziranje. Neke od najčešće korištenih peći su CEREC Speedfire (Dentsply Sirona, York, Pennsylvania, SAD) i Programat (Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenštajn) (Slika 3.). Pogodne su za sinteriranje cirkonijoksidne keramike, glaziranje keramike i kristalizaciju odnosno završnu obradu litijevih disilikata (14). Sinteriranje keramike je proces u kojem se pod djelovanjem topline i tlaka mijenjaju svojstva keramičkog materijala smanjujući poroznost povećavanjem gustoće čestica i poboljšavajući čvrstoću i translucenciju. Presinterirana cirkonijoksidna keramika ima monoklinsku kristaličnu strukturu koja je pogodna za obradu u glodalicama, no kako bi se dobio nadomjestak koji je izrazito čvrst i otporan na lom on se u peći za sinteriranje zagrijava, te pri temperaturi od 1100 do 1200 stupnjeva prelazi u tetragonski oblik, uz promjenu volumena za 3- 5% (16). Stabilizirani cirkonijev oksid čine tetragonski cirkonijevi polikristali izrazite tvrdoće (HV 1200), čvrstoće (1000 -1300 MPa) i lomne žilavosti (9-10 MPa). Proces sinteriranja u peći obično traje oko 6 do 8 sati. Glodanje keramičkog bloka može se provesti na dva načina; glodanje gusto sinteriranog bloka točnih dimenzija nadomjeska ili glodanjem presinteriranog bloka (zelena keramika) nešto većeg nadomjeska. U tom slučaju potrebno je dodatno sinteriranje. Tijekom dodatnog sinteriranja dolazi do konačne kristalizacije, čestice se sabijaju u gušću formaciju i materijal se skuplja. Zbog toga se nadomjesci izrađeni ovim načinom glođu nešto većih dimenzija jer će konačan oblik dobiti tek po završetku dodatnog sinteriranja. Sinteriranjem materijal postaje gušći i čvršći te teško obradiv (17).



Slika 3. Peć za sinteriranje. Preuzeto s dopuštenjem autora: prof.dr.sc. Zoran Kovač

## 2.5. Klasifikacija CAD/CAM sustava

CAD/CAM sustavi najčešće su podijeljeni na temelju metode izrade nadomjestaka i prema načinu dijeljenja podataka. Na temelju metode izrade nadomjestaka razlikuju se sustavi neposredne (direktne) izrade u ordinaciji, sustavi laboratorijske (indirektne) izrade te sustavi centralizirane izrade. Prema načinu dijeljenja podataka razvrstani su u otvorene ili zatvorene sustave.

### 2.5.1. Podjela na temelju metode izrade nadomjeska

Ovisno o lokaciji sastavnica CAD/CAM dijelova, odnosno na temelju metode izrade nadomjeska možemo ih podijeliti u tri glavne skupine:

- sustav neposredne (direktne) izrade u ordinaciji (*chairside production, in office system*),
- sustav laboratorijske (indirektne) izrade (*inLab system*),
- sustav centralizirane izrade u proizvodnim centrima (*centralised production*) (13).

Sustav neposredne (direktne) izrade u ordinaciji (*chairside production, in office*)

Kada govorimo o ovom načinu izvedbe, sve komponente CAD/CAM sustava nalaze se na jednom mjestu, odnosno u ordinaciji. Ukoliko koristimo ovakav sustav laboratorijska usluga nije potrebna. Ovakvim sustavom moguće je brzo, efikasno i jednopojetno izraditi jednostavnije nadomjeske, poput pojedinačnih krunica ili mostova kratkog raspona. Intraoralnim skenerom uzima se digitalni otisak, a zatim pomoću računalnoga programa dizajnira nadomjestak te šalje podatke u glodalicu koja iz bloka izabranog materijala glode nadomjestak (18). Ovakvi sustavi su primjerice CEREC (Dentsply Sirona, York, Pennsylvania, SAD), Planmeca FIT (Planmeca, Helsinki, Finska) i CS (Carestream dental, Rochester, New York, SAD).

### Sustav laboratorijske izrade (*inLab*)

Ovim sustavom zubni tehničar izrađuje nadomjestak koristeći digitalne tehnologije prilikom same izvedbe. U ordinaciji se uzima otisak na konvencionalan način upotrebom otisnih materijala ili digitalnim putem gdje se otisak u virtualnom obliku šalje u laboratorij. Ukoliko je uzet klasični otisak on se u zubnom laboratoriju izlijeva i potom skenira ili se skenira klasični otisak i digitalno napravi model. Slijedi digitalna obrada i dizajn budućeg nadomjeska te se prikupljeni podaci šalju u CAM jedinicu na glodanje željenog nadomjeska, a koja se također nalazi u laboratoriju (19). Neke od laboratorijskih CAD/CAM sustava nude tvornice Amann Girrbach (Koblach, Austrija), Imes- icore (Eiterfeld, Njemačka), ZublerUSA (Lawrenceville, Georgia, SAD) i Zirkozahn (Gais, Južni Tirol).

### Sustav centralizirane izrade

Sustav za centraliziranu izradu funkcionira na način da se u specijalizirane proizvodne centre (npr. InfiniDent Sirona; Procera, Nobel Biocare; Lava, 3M ESPE; Ceram M-center, Amann Girrbach; PlanEasyMill™, Planmeca) putem interneta pošalju nalogi za izradu željenoga fiksnoprotetskoga nadomjeska. Nakon glodanja, centri vraćaju rad u laboratorij na daljnju obradu. Navedeni postupci prilikom laboratorijske izrade identični su s razlikom da se proces glodanja vrši u specijaliziranim centrima (9).

## **2.5.2. Podjela prema načinu dijeljenja podataka**

CAD/CAM sustavi mogu biti prema načinu dijeljenja podataka zatvoreni ili otvoreni (14).

- Zatvoreni sustavi

Zatvoreni sustavi su oni sustavi koji osiguravaju sve dijelove CAD-CAM sustava, odnosno uključuju CAD jedinicu za skeniranje i softver za dizajn te CAM jedinicu za glodanje nadomjestaka. Svi su dijelovi od istoga proizvođača, a svi koraci izrade pripadaju jednom sustavu. Tako nema razmjene između sustava drugih proizvođača (7). Primjer je sustav CEREC (Dentsply Sirona, York, Pennsylvania, SAD) (14).

- Otvoreni sustavi

Otvoreni sustavi su oni sustavi koji omogućuju razmjenu originalnih datoteka i podataka sa CAD jedinice jednoga sustava na CAM jedinicu drugoga. Upravo zbog mogućnosti dijeljenja podataka u obliku STL formata, omogućena je otvorena suradnja između više ordinacija i dentalnih laboratorija (14).

## 2.6. CAD/CAM sustavi i protetika

Široki spektar mogućnosti izrade različitih protetskih suprastruktura pomoću CAD/CAM tehnologije najviše se očituje u protetici. Razvojem dentalnih materijala i digitalne tehnologije te pravilnim odabirom blokova materijala dostupnih na tržištu, a ovisno o indikaciji odnosno specifičnim estetskim ili funkcionalnim potrebama moguće je izraditi brojne konstrukcije poput ljuskica, *inlaya*, *onlaya*, pojedinačnih krunica, višečlane mosne konstrukcije, uključujući i teleskopske krunice, prečke i totalne proteze (20).

### 2.6.1. Materijali

Najčešće korišteni blokovi materijala za izvedbu protetskih nadomjestaka su blokovi polimera poput PMMA (polimetilmetakrilat) i kompozitnih smola, zatim metalni blokovi od kobalt krom legura i titana te keramički materijali poput staklokeramike (leucitna, litij-disilikatna, glinična keramika) i cirkonijoksidna keramika (21).

- PMMA (polimetilmetakrilat)

Blokovi PMMA (npr. Telio CAD, Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenštajn) obično se koriste za izradu privremenih nadomjestaka poput *inlaya*, *onlaya*, ljuskica, krunica i mostova za vremenski period 6 mjeseci do godine dana, odnosno do izrade trajnih protetskih nadomjestaka. Laboratorijske studije pokazale su da polimerni *inlayi* imaju marginalnu prilagodbu na bataljak i vrijednosti opterećenja na lom slične *inlayima* od staklokeramike (22).



- Kompozitne smole

Materijali koji se sastoje od organske smolaste matrice i anorganskih punila. Dodatkom punila poboljšavaju se mehanička i fizička svojstva te otpornost na lom (23). Primjer bloka je Paradigma MZ100 (3M ESPE, Maplewood, Minnesota, SAD). Studije su pokazale da takvi smolasti kompozitni materijali imaju veću otpornost na zamor nego neke keramike (24). Sa čvrstoćom od 80MPa obično se isto koriste za izradu privremenih protetskih nadomjestaka za period do 3 godine, a moguća je izvedba *inlaya*, *onlaya*, ljuskica, krunica i mostova (14).

- Metal

Na tržištu dostupni blokovi metala jesu legure kobalt kroma te titana. Blokovi kobalt krom legura dolaze u presinteriranom obliku kako bi bili mekši, i time lakša obrada u glodalicama te manje oštećenje svrdala. Nakon glodanja potrebna je i završna obrada nadomjestaka u pećima za sinteriranje. Sinteriranjem dolazi do skupljanje bloka za 10% na što treba obratiti pažnju tijekom izvedbe nadomjeska, odnosno potrebno ga je predimenzionirati. Tvrtka Amann Girrbach (Koblach, Austrija) nudi blok nazvan Sintron sastavljen od presinteriranih čestica kobalt krom legura za obradu u glodalicama za suho glodanje. Tvrtka Dentsply Sirona (York, Pennsylvania, SAD) plasira blok Crypton koji suprotno Sintronu navodi da se obrada bloka vrši u glodalicama za mokro glodanje kako bi se izbjegla toksičnost kobalt krom mikročestica raspršenih u zraku, čime proizvođač poduzima mjeru opreza kako bi izbjegao moguće posljedice koje bi udisanje mikročestica ostavilo na ljudski organizam. Nakon sinteriranja individualno oblikovani nadomjestak se ili polira (konusne ili teleskopske krunice) ili oblaže obložnom keramikom (krunice i mostovi) (23).

- Keramički materijali

Keramički materijali mogu se razvrstati u 3 skupine, a to su keramike sa smolastom matricom, silikatne keramike i oksidne keramike (25).

#### Keramika sa smolastom matricom

Predstavnici podskupine keramike na bazi smole, koji sadrže polimernu matricu s najmanje 80% nano dimenzijskih čestica keramičkog punila jesu Katana Avencia Block (Kuraray Noritake Inc, Tokio, Japan), Cerasmart (GC International AG, Luzern, Švicarska), Lava Ultimate (3M ESPE, Maplewood, Minnesota, SAD), Grandio Blocs (VOCO, Cuxhaven, Njemačka). VITA ENAMIC je hibridni keramički blok (VITA Zahnfabrik, Sackingen, Njemačka) koji sadrži keramičku mrežu koja je infiltrirana s polimerom. Završna obrada nadomjestaka izrađenih ovim materijalima uključuje samo poliranje, no mogu se i glazirati ili individualizirati bojanjem sa svjetlosno polimerizirajućim pigmentima. Predložen postupak cementiranja keramika na bazi smole uključuje prethodnu obradu površine pjeskarenjem česticama aluminijevog oksida te zatim silaniziranje (14). Među prednostima u usporedbi sa silikatnom keramikom često se navodi veća mehanička čvrstoća, bolji modul elastičnosti i povoljno oblikovanje bloka u glodalici (26).

#### Silikatna keramika

Glinična keramika i leucitom ojačana staklokeramika odlikuju se značajnim udjelom staklaste faze (55 do 70%), što im daje vrlo važnu translucenciju, a time i optimalnu estetiku i prirodan izgled u odnosu na ostale keramike (27). Ovo su zubne keramike koje najbolje oponašaju optička svojstva cakline i dentina, no ove osobine ne omogućavaju prekrivanje diskoloriranih zubnih bataljaka ili metalnih nadogradnji. Zbog svoje krhkosti i niske čvrstoće na lom moraju se adhezivno cementirati. Dugotrajna i stabilna adhezivna veza nadomjestaka od keramika na bazi silicijeva dioksida postiže se kiselinskim jetkanjem fluorovodičnom kiselinom i primjenom silanskog sredstva za spajanje (28). Vrijeme jetkanja i koncentracija kiseline za jetkanje ovisi o kristalnom sadržaju keramike. Na primjer, konvencionalna glinična keramika se jetka sa 9,8% HF kiseline u trajanju od 2 minute, staklokeramika ojačana leucitom s istim

koncentracijom tijekom 1 minute, a litijeve disilikate treba jetkati u najmanje koncentriranom fluorovodičnom kiselinom (npr. 4,6%) samo 20 sekundi. Sredstvo za silanizaciju nanosi se tek nakon čišćenja jetkane površine nadomjeska u ultrazvučnoj kadici. Nakon adekvatne pripreme površine zuba za adhezivno cementiranje nadomjesci se cementiraju kompozitnim cementima (14).

#### Glinična keramika

Predstavnici glinične keramike su VITABLOCS Mark II (VITA Zahnfabrik, Sackingen, Njemačka), VITABLOCS RealLife (VITA) i VITABLOC TriLux Forte (VITA). Neki od ovih također su dostupni u polikromnim, višeslojnim blokovima za postizanje još bolje estetike zahvaljujući različitim nijansama i prozirnosti blokova. Unatoč niskim fizikalnim svojstvima glinične keramike, nekoliko kliničkih studija ukazuju na odličan uspjeh. Utvrđena je 95% stopa preživljavanja CAD/CAM glinično keramičkih (VITABLOCS Mark II) blokova kojima su izvedene krunice na pretkutnjacima i kutnjacima nakon 12 godina praćenja (29). Ljuskice imaju stopu preživljavanja od 94% nakon 9 godina praćenja (30). CEREC *inlayi* i *onlayi* pokazali su vjerojatnost preživljavanja od 88,7% nakon do 17 godina kliničkog praćenja (31). Reiss je pratio *inlaye* izvedene CEREC sustavom u stomatološkoj praksi više od 18 godina. Uspješnost je bila 84,4% nakon 16,7 godina. Stopa preživljavanja za nadomjeske koji su još uvijek u funkciji bila je 89% u 18,3 godine. Na prognozu je utjecala veličina nadomjeska, pozicija zuba (premolari su imali veći uspjeh) i vitalnost (vitalni zubi su imali veći uspjeh) (32).

#### Leucitom ojačana staklokeramika

U novije vrijeme staklokeramika ojačana leucitom u velikoj mjeri zamijenjena je litij disilikatnom keramikom koja ima bolja fizička svojstva, no sa povećanom čvrstoćom u usporedbi s tradicionalnom gliničnom keramikom i visokom prozirnosti, ova skupina materijala posebno se koristi za krunice na prednjim zubima ili *inlaye* i *onlaye* na stražnjim zubima. Zahtijeva adhezivno cementiranje kompozitnim cementima. Nadomjesci na stražnjim zubima pokazali su 5-godišnju stopu preživljavanja od 96% za CEREC blokove i 94,6% za staklokeramičke blokove Empress CAD blokove ojačane leucitom (Slika 4.) (33). Guess i suradnici izvijestili su o stopi preživljavanja od 100% za nadomjeske od prešanog litijevog disilikata (IPS e.max, Ivoclar Vivadent, Schaan, Švicarska) i 97% za nadomjeske od leucitom ojačane staklene keramike (ProCAD, Karlsruhe, Njemačka) nakon 3 godine (34).

### Litij-silikatna keramika

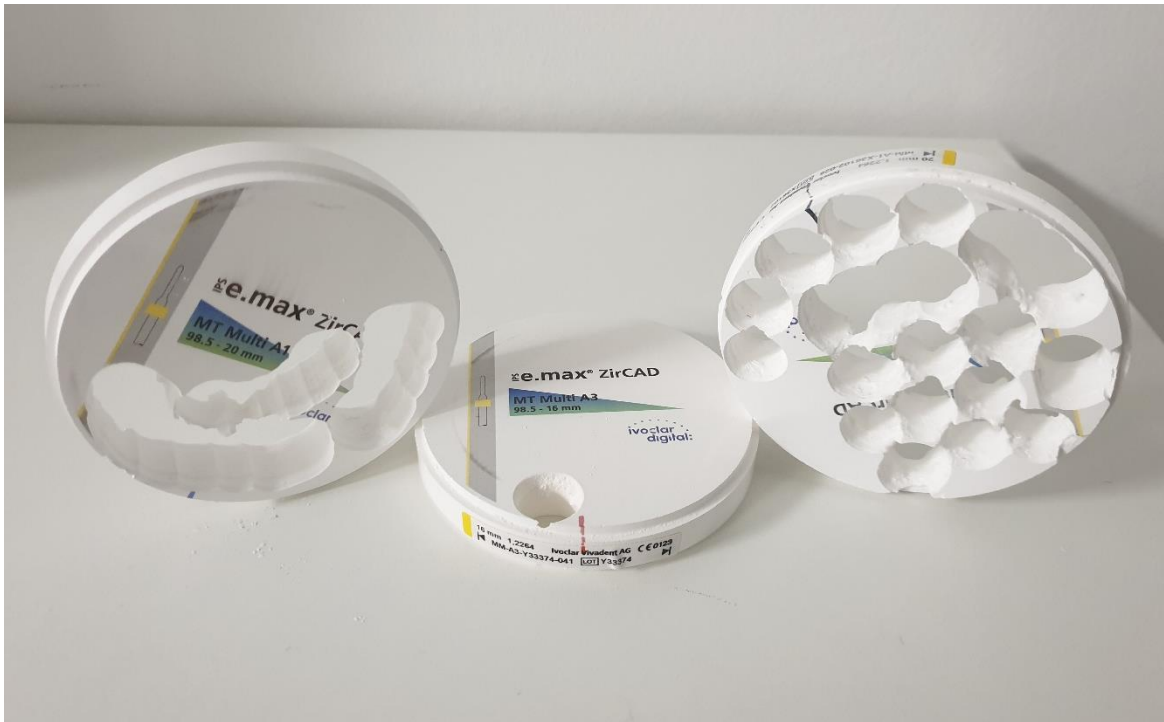
Litij-silikatna keramika ima kristaličnu fazu koja se sastoji od litijevog disilikata i litijevog ortofosfata, što povećava otpornost na lom bez negativnog utjecaja na translucenciju. Nakon što su glodalicom izvedeni, nadomjesci se moraju kristalizirati u peći za sinteriranje te nakon toga dodatno bojati i glazirati. Sa čvrstoćom od oko 407 MPa, smatraju se najjačom keramikom na bazi silicija za uporabu u dentalnoj medicini (25). U ovoj je skupini izuzetno popularan IPS e.max CAD (Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenštajn) blok te litij silikatna keramika ojačana cirkonijevim oksidom: VITA Suprinity PC (VITA Zahnfabrik, Sachingen, Njemačka) i Celtra Duo (Dentsply Sirona, York, Pennsylvania, SAD) blokovi. U kombinaciji s titanskom bazom, ovi se materijali mogu koristiti za izradu monolitnih krunica na implantatima (14).



Slika 4. Blokovi materijala za glodalicu. Preuzeto s dopuštenjem autora: prof.dr.sc. Zoran Kovač

## Oksidna keramika

Materijal koji se sastoji od jedno ili višekomponentnih metalnih oksida, sa vrlo malo ili ništa staklene faze, odlikuje se izvrsnim mehaničkim svojstvima. Savojna čvrstoća od 1000 do 1500 MPa omogućava konvencionalno cementiranje nadomjestaka te izradu potpunih krunica (25). Većina oksidnih keramika je neprozirna ili sa niskom razinom prosvjetljenja stoga ih je potrebno obložiti sa silikatnom keramikom. Najnovije generacije cirkonijoksidne keramike pokazuju nešto veći stupanj prosvjetljenja pa dostupni višeslojni visoko prozirni blokovi nude više estetskih mogućnosti za izradu nadomjestaka na prednjim zubima. Veća translucencija postiže se malim promjenama sadržaja itrijevog oksida (5 mol% ili više umjesto 3 mol%), što rezultira većom količinom čestica kubične faze. Više kubičnog cirkonijevog oksida nudi znatno veći prolazak svjetla, ali nižu savojnu čvrstoću od klasičnih cirkonijevih oksida, između 550 i 800 MPa (35). Neki od često korištenih visoko translucentnih blokova cirkonijeva oksida za CAD/CAM sustave su: CEREC Zirconia (Dentsply Sirona, York, Pennsylvania, SAD), Katana Zirconia blok (Kuraray Noritake Dental, Inc, Tokyo, Japan), VITA YZ (VITA Zahnfabrik, Sachingen, Njemačka), Lava Zirconia blok (3M ESPE, Maplewood, Minnesota, SAD) i IPSe.max ZirCAD (Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenštajn) (Slika 5.) (36). Izglodani nadomjesci izvedeni od presinteriranih blokova su nešto predimenzionirani kako bi se kompenziralo 20 – 25% skvrčavanja materijala nakon postupka sinteriranja kao završne obrade. U peći za sinteriranje, primjer CEREC Speedfire (Dentsply Sirona, York, Pennsylvania, SAD) pri brzom programu, sinteriranje jedne krune može se izvršiti u roku od 19 minuta (nakon suhog glodanja) do 30 minuta (nakon mokrog glodanja). Cirkonijoksidni nadomjesci obično se konvencionalno cementiraju sa stakloionomernim cementima ili samoadhezivnim cementima na bazi smola (37). Nadomjesci poput ljuskica mogu se cementirati i kompozitnim cementima, no da bi se uspostavila dugotrajna i stabilna veza za cirkonijev oksid tada je potrebna predpriprema površine nadomjeska koja uključuje pjeskarenje sa česticama aluminijskog oksida. Čestice su veličine 50–60 mikrometara pri niskom tlaku (<200 kPa [2 bara]). Sljedeći korak uključuje nanošenje posebnog keramičkog premaza (npr. Clearfil Ceramic Primer Plus, Kuraray Noritake) koji sadrži fosfatne monomere (10- methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate) i pokazao se kao posebno dobar za vezanje na metalne okside. Nakon pripreme slijedi cementiranje kompozitnim cementima bilo s dvostrukim stvrdnjavanjem ili samostvrdnjavajućim (npr. Panavia V5, Kuraray Noritake, Kurashiki, Okayama, Japan) (38).



Slika 5. Cirkonijoksidni blok za glodalicu. Preuzeto s dopuštenjem autora: prof.dr.sc. Zoran Kovač

### 2.6.2. Završna obrada izglođanih keramičkih nadomjestaka

Završna obrada izglođanih keramičkih nadomjestaka može se postići mehaničkim poliranjem površine nadomjestaka, glaziranjem površine nadomjestaka ili postupkom naknadnog dodavanja materijala (cut-back tehnika).

- Mehaničko poliranje provodi se pomoću SEM-a (skenirajuća elektronska mikroskopija) kako bi se dobila glatka površina nadomjeska i time bila estetski približno slična prirodnoj caklini zuba (39).
- Glaziranje omogućuje postizanje prirodnog sjaja nadomjeska, a koji je ponekad superiorniji od jednostavnog mehaničkog poliranja. Postupak toplinske obrade te glaziranje poboljšavaju mehanička svojstva nadomjeska mogućim uklanjanjem mikropukotina uzrokovanim glodanjem (40).

- Cut-back tehnika (dodavanje i naknadno sinteriranje na dijelovima nadoknade) podrazumjeva da se protetski nadomjestak reducira na njegovom vestibularnom i/ili incizalnom dijelu zahvaljujući mogućnosti dizajna u CAD softveru, te se taj strateški dio kasnije personalizira kako bi se zadovoljili visoki estetski zahtjevi naročito na prednjim zubima (23).

## 2.7. CAD/CAM sustavi i implantologija

Korištenje samo dijagnostičkih modela i ortopantomografskih snimki daje nam samo dvodimenzionalni uvid u trodimenzionalne strukture što može dovesti do pogrešne procjene i komplikacija tijekom ugradnje implantata. Također, za izradu imedijatnih protetskih nadomjestaka na implantatima potrebno je prethodno odrediti njihov položaj kako u meziodistalnom tako i u bukolingvalnom smjeru te utvrditi njihovu angulaciju u čeljusti. Stoga se u posljednje vrijeme u implantologiji sve više upotrebljavaju kirurški predlošci izrađeni na osnovi CBCT snimka. Kirurški predložak je pomoćno sredstvo kojim se implantati postavljaju na prethodno određena mjesta u čeljusti. Njegova upotreba posebno je indicirana na mjestima gdje može doći do oštećenja anatomskih struktura, u slučajevima kada je potrebno osigurati visoku estetiku te u izradi protetskih nadomjestaka radi imedijatnog opterećenja (41).

Izvedba kirurškog predloška varira ovisno o dizajnu predloška tako da se razlikuju: kirurški predlošci bez ograničenja, kirurški predlošci s djelomičnim ograničenjem i kirurški predlošci s potpunim ograničenjem (42).

- Kirurški predložak bez ograničenja

Ovakav predložak kirurgu daje smjernicu gdje će se nalaziti predviđeni budući protetski nadomjestak u odnosu na područje implantacije. Taj oblik kirurškog predloška predviđa samo idealno mjesto za implantaciju, ali kirurgu ne daje točno određen smjer, nagib i dubinu preparacije. Izrađen je iz termooblikovane folije kod kojeg perforacija na okluzalnoj površini samo pokazuje mjesto optimalno za postavu implantata, ali ne određuje smjer i nagib implantata. Prednost takvog oblika predloška je jednostavnost izrade i niska cijena, ali nedovoljnu preciznost te zahtijeva iskustvo kirurga u procjeni smjera preparacije ležišta za implantat (41, 42).

- Kirurški predložak s djelomičnim ograničenjem

Predložak služi samo za određivanje smjera preparacije ležišta s pilotnim svrdlima, dok se ostatak preparacije izvodi prostoručno bez predloška. Za izradu predloška s djelomičnim ograničenjem potrebna je izrada mjernog predloška pomoću kojeg se na radiogramu određuje mjesto i smjer budućeg implantata (42).

- Kirurški predložak s potpunim ograničenjem

Ovaj tip predloška ograničava sva svrdla prilikom preparacije ležišta implantata u bukolingvalnom i meziodistalnom smjeru te jasno određuje dubinu preparacije. Njegova prednost je visoka preciznost i predvidljivost tijekom implantacije. Moguća je izrada privremenih protetskih nadomjestaka za imedijatno opterećenje. Nedostatak takvog nadomjeska je izloženost pacijenta većim dozama zračenja kako bi se isplanirao kirurški predložak, zatim složenost planiranja postavljanja implantata i tehnike izrade predloška te visok trošak za pacijenta. Najčešće se danas ovakav kirurški predložak planira i izrađuje pomoću računala te se koriste nazivi kao što su „računalno vođena implantologija”, „navođena implantologija” i „trodimenzionalno planirana i navođena implantologija” (41).

### **2.7.1. CAD/CAM kirurški predložak**

CAD/CAM kirurški predložak može biti poduprt sa kosti, sluznicom ili zubima. Predlošci poduprti sa kosti bili su prvi koji su se koristili za protetsku rehabilitaciju bezubih čeljusti. Glavna prednost ovakvih predložaka je bolja vizualizacija kirurškog polja, omogućavajući bolju kontrolu same postave implantata (43).

- Kirurški predložak poduprt sa kosti

Kirurški predložak poduprt sa kosti indiciran je kod potpune ili djelomične bezubosti gdje će biti izvedena imedijatna implantacija, gdje postoji potreba za alveoloplastikom ili prikazivanje koštanog grebena zbog prisutnih nepovoljnih anatomskih struktura (44). Kod predloška poduprtog kosti nužno je imati stabilan dosjed predloška na kost pa se izvodi podizanje mukoperiostalnog režnja i tako osigurava adekvatnu vidljivost u području implantacije. Nedostatak predloška poduprtog kosti je duže vrijeme trajanja operativnog zahvata i duži



oporavak pacijenta, te često nemogućnost osiguranja adekvatnog koštanog ležišta na nepcu (45).

- Kirurški predložak poduprt sluznicom

Kirurški postupak bez odizanja režnja sluznice (Slika 6.) uključuje brojne prednosti, a to su manje traume na tvrdim i mekim tkivima tijekom operacije, skraćeni postupak implantacije, brže zacjeljivanje, manje postoperativnih komplikacija, smanjeni rizik od infekcije te povećanu udobnost pacijenata tokom zahvata (46).

Kod predloška poduprtog sluznicom moramo biti veoma oprezni i biti sigurni da čvrsto leži na predviđenom mjestu jer zbog pomičnosti sluznice može doći do pomaka predloška, a to može dovesti do postavljanja implantata na mjestu koje nije predviđeno, zato se dodatna retencija postiže s minimalno tri retencijska vijka koja su jednakomjerno raspoređena s vestibularne strane, izvan područja implantacije, kako ne bi ometali postavu implantata (47). Predložak poduprt sluznicom najčešće se izvodi kod osoba s potpuno bezubom čeljusti i s minimalno 2 mm koštanog tkiva bukalno i lingvalno od predviđenog mjesta za implantaciju zbog povećanog rizika od perforacije kortikalne kosti koja može biti posljedica neodizanja mukoperiostalnog režnja i ograničene vidljivosti operacijskog područja (45).



Slika 6. Kirurški predložak poduprt sluznicom.

- Predložak poduprt zubima

Ovakav predložak indiciran je kod pacijenta s djelomičnom bezubošću uz uvjet da su preostali zubi stabilni u čeljusti te osiguravaju adekvatnu potporu predlošku, što je potrebno provjeriti prije samog početka planiranja njegove izrade. Korištenje predloška poduprtog zubima preporučuje se kod nadomještanja gubitka jednog zuba jer omogućuje implantaciju bez odizanja mukoperiostalnog režnja što daje najbolje estetske rezultate (48).

### **2.7.2. Izrada CAD/CAM kirurškog predloška**

CAD/CAM kirurški predložak dizajniran je i izrađen pomoću računalne tehnologije. Za izradu kirurškog predloška za računalno navođenu implantologiju najprije je potrebno izraditi CBCT snimak područja u koje želimo postaviti implantat. Sljedeći korak je da se CBCT snimak superponira s intraoralnom snimkom ili snimkom anatomskog modela čeljusti, te se zatim može predvidjeti položaj, veličina i oblik budućeg protetskog nadomjeska. Oblik i položaj protetskog nadomjeska odredit će najpogodniji položaj implantata u čeljusti. Nakon planiranja slijedi računalno oblikovanje predloška i njegova izrada. CAD/CAM kirurški predložak može se izraditi tehnikom glodanja, SLA (eng. stereolithography) 3D printanjem ili FDM (eng. fused deposition modeling) 3D printanjem (49).

Digitalni tijek izvedbe uključuje: prikupljanje podataka iz CBCT snimke i optičko skeniranje (intraoralne snimke čeljusti ili snimke anatomskog modela čeljusti), obradu prikupljenih podataka, virtualno planiranje implantacije pomoću računalnog softvera, planiranje dizajna kirurškog predloška i zatim izradu kirurškog predloška za navođenu implantologiju te u konačnici kirurški postupak ugradnje implantata (50).

#### **Prikupljanje podataka**

Postupak uključuje CBCT snimanje i optičko skeniranje. CBCT snimanje izvodi uređaj za radiološku dijagnostiku koji prikazuje anatomske strukture u panoramskoj i ortoradijalnoj projekciji kako bi se što preciznije odredila kvantiteta i kvaliteta koštanog tkiva, utvrdila raspoloživa širina i visina koštanoga tkiva, debljina kortikalne kosti te položaj bitnih anatomskih struktura i susjednih zuba (51). CBCT snimanje izvodi se sa ili bez radiološkog predloška kod pacijenata koji nisu bezubi, dok je dvostruka metoda snimanja preporučljiva kod

potpuno bezubih pacijenata. Jedna je snimka proteze, a druga, pacijenta sa protezom u ustima. Tehnike izravnog snimanja sluznice još su u fazi istraživanja (52). Nedostatak CBCT uređaja uključuje loš kontrast mekih tkiva i distorziju. Distorzija snimka može biti uzrokovana ili pomicanjem pacijenta tokom snimanja ili artefaktima (materijali velike gustoće kao što su kompozitni materijal, metalne restauracije i implantati). Distorzija utječe na kvalitetu slike, pa stoga može utjecati na točnost implantacije pomoću kirurškog predloška (53).

Da bi se smanjio postotak pogreške; CBCT snimak superponira se sa intraoralnim skenom ili skenom anatomskeg modela čeljusti. Intraoralno optičko skeniranje bilježi prisutne površine zuba i konture mekih tkiva. Svaki zubni luk treba skenirati pojedinačno, a zatim zajedno u okluziji kako bi se utvrdila artikulacija. Kod indirektno metode laboratorijskim skenerom snima se ili otisak ili gipsani model čeljusti. CBCT podaci se spremaju u DICOM formatu, a optički otisak u STL formatu (54).

#### Obrada prikupljenih podataka i virtualno planiranje implantata

Podaci (DICOM i STL datoteke) uvode se u softver za digitalno planiranje implantata. Oblikuje se budući protetski nadomjestak s obzirom na oblik i veličinu susjednih zuba te zuba antagonista. Program omogućuje automatski izbor prikladnog oblika i veličine zuba koji se trebaju nadomjestiti. U slučaju nedostatka jednog zuba može se koristiti i funkcija preslikavanja oblika kontralateralnog zuba (50). Slijedi virtualno planiranje ugradnje implantata ulaskom u ponuđenu softversku bazu implantata različitih proizvođača. Moguće je odabrati model i veličinu implantata kojeg se želi postaviti. Nakon odabira implantata slijedi njegovo pozicioniranje prema okolnim anatomskim strukturama i zubima. Položaj i os implantata prilagođavaju se ovisno o dostupnoj kosti. Opcija za paraleliziranje implantata može se koristiti u slučaju postavljanja više implantata. Većina programa pruža mogućnost postavljanja sigurnosne granice oko i između implantata. Parametri za implantaciju bez odizanja reznja ili koštanu augmentaciju unose se u program u ovoj fazi (55).

#### Dizajn kirurškog predloška

Nakon što je virtualni plan dovršen kreće dizajn kirurškog predloška. Najprije se bira vrsta podupiranja (zub, sluznica, kost ili bilo koja kombinacija), zatim veličina vodilice (duljina i promjer) i visina vodilice (udaljenost između sliva i platforme implantata) za preparaciju ležišta (50). U programu se nadalje definira granica i mjesto sidrenja kirurškog predloška te svi dodatni

retencijski elementi ako se izrađuje predložak poduprt sluznicom i kosti. Kada se planira kirurški predložak koji je poduprt zubima potrebno je planirati otvore u predlošku pomoću kojih se prije operativnog zahvata provjerava ako je predložak pravilno postavljen na predviđeno mjesto na zubima. Preporučuje se i planiranje dovoljno otvora na predlošku koji će osigurati adekvatno hlađenje koštanog tkiva tijekom implantacije. Nakon završetka faze dizajniranja predloška datoteka se izvozi u STL format te se kreće u fazu izvedbe (56).

#### Izrada kirurškog predloška

CAD/CAM kirurški predložak može se izraditi na više načina; tehnikom glodanja, zatim SLA (eng. stereolithography) 3D printan ili FDM (eng. fused deposition modeling) 3D printanjem. Najčešće se izrađuje SLA 3D printanjem kojim se postiže najbolji omjer preciznosti i cijene. Nakon izrade kirurškog predloška jednom od navedenih metoda, metalne vodilice za izabrani sustav implantata inkorporiraju se u predložak (57).

#### Digitalno navođena implantacija

Prije zahvata treba provjeriti pravilnost u dosjedu kirurškog predloška i stabilnost. Svaki kirurški set za digitalno navođenu implantaciju specifičan je za svaki pojedini sustav implantata te je važno da kliničar bude upoznat sa svim pripadajućim komponentama prije nego što implantacija krene. Ključna je adekvatna irigacija koštanog tkiva tijekom cijelog zahvata jer kirurški predlošci mogu onemogućiti dovoljnu irigaciju stoga povećavaju toplinu koštanog tkiva (58). *In vitro* studije otkrile su da digitalno navođena implantacija stvara veću toplinu nego klasična metoda implantacije bez predloška međutim, dodatna inducirana toplina bila je unutar prihvatljivog temperaturnog praga (59).

Iako je digitalno navođena implantologija postala vrlo predvidljiva i pretpostavlja se da je točna i pouzdana uvijek može postojati odstupanje između virtualnog plana i onog izvedenog naročito zbog višestrukih koraka u digitalnom tijeku rada. Mnogi faktori mogu utjecati na stabilnost predloška, a mini implantati i pričvrtni vijci mogu dodatno stabilizirati vodilicu i povećati točnost implantacije (60).

## **2.8. CAD/CAM prednosti i nedostaci**

Korištenje CAD / CAM tehnologije u dentalnoj medicini ima brojne prednosti u odnosu na tradicionalne tehnike, a uključuju brzinu, jednostavnost uporabe i kvalitetu. Digitalno otiskivanje brže je i lakše za razliku od konvencionalnih metoda otiskivanja jer su eliminirane pojedine faze u protokolu izrade samog protetskog nadomjeska pa se time ubrzava cijeli postupak, smanjuje se broj dolazaka pacijenata i na kraju pojednostavljuje i ubrzava rad dentalnoga tehničara. Sam postupak otiskivanja ugodan je kako za pacijenta tako i za terapeuta. Digitalni otisci, osim što su jednostavniji za pohranu jer ne zauzimaju prostor u odnosu na konvencionalne modele, omogućuju lakše vođenje evidencije statusa pacijenta. Imati glodalicu u ordinaciji znači mogućnost izrade protetskog nadomjeska na licu mjesta, čime pacijent u istom danu može dobiti dogovoreni nadomjestak bez ponovnog dolaska. Kvaliteta CAD/CAM nadomjestaka izuzetno je visoka jer je sam postupak izrade vrlo precizan. Ušteda vremena i rada može potencijalno smanjiti troškove, a brža izrada kvalitetnih nadomjestaka trebala bi se svidjeti pacijentima (61).

Pod nedostatke digitalnih sustava može se navest visoka cijena ulaganja i održavanja opreme i softvera, strah od nepoznatog, nedostatak volje za učenjem novih tehnologija, odbijanje promjena u praksi, trošenje vremena i novca na dodatnu edukaciju za CAD / CAM tehnologije, negativni komentari od strane nekih kolega, mali broj korisnika, veličina uređaja za skeniranje i glodalice, nedostatak želje za promjenom kliničkih postupaka, zabrinutost zbog podudaranja boje nadomjestaka sa prirodnim zubima, kvalitete i dugovječnosti nadomjestaka (13).

## **2.9. Pregled CAD/CAM sustava**

Neki od najpopularnijih sustava bit će opisani u ovome radu. CEREC (Dentsply Sirona, York, Pennsylvania, SAD) i Planmeca FIT (Planmeca, Helsinki, Finska) kao kompletan in office CAD/CAM sustav, zatim intraroralni skener TRIOS (3 Shape, Copenhagen, Danska) koji sa TRIOS Design studiom i glodalicom Programill One tvrtke Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenštajn, također predstavlja kompletan sustav direktne izrade nadomjestaka u ordinaciji. Nadalje bit će opisani i ostali često korišteni intraoralni skeneri poput iTero (Cadent, San Jose, California, SAD) i Virtuo Vivo (Dental Wings, Montreal, Kanada) te najčešće korištene CAM

jedinice poput Ceramill (Amann Girrbach, Koblach, Austrija), DgShape DWX Series (RolandDg, Hamamatsu, Japan) i Coritec (Imes-icore, Eiterfeld, Njemačka).

### **2.9.1. CEREC (Dentsply Sirona, York, Pennsylvania, SAD)**

CEREC (CERamic REConstruction) sustav na tržištu se pojavio 1985. godine kao sustav neposredne izrade nadomjestaka u ordinaciji, koji je kombinirao intraoralni skener i jedinicu za glodanje. Omogućio je izradu keramičkih radova iz tvornički pripremljenih blokova (18).

CEREC sustav danas čine intraoralne kamere CEREC Omnicam, CEREC Primescan i CEREC Bluecam, CEREC Software 4.4 i glodalice MC, MC X i MC XL.

CEREC Omnicam intraoralni skener jednostavnim kontinuiranim pomicanjem kamere 0- 15 mm iznad površine zuba snimljene podatke pretvara se u 3D model u boji. Snimanje bez praha je osobita prednost ove kamere pri snimanju cijelog zubnog luka.

CEREC sustav s CEREC Omnicam kamerom dostupan je u više izvedbi ovisno o tome da li su skener i računalo povezani u zajedničko kućište (CEREC AC) ili nemaju zajedničko kućište (CEREC AF) čime se skener onda lakše može prenositi između ordinacija. CEREC AI dostupan je u varijanti u sklopu stomatološke jedinice TENEO (Sirona).

- CEREC AC (Acquisition Center) – pokretna jedinica s kućištem

U ovoj verziji svi dijelovi, uključujući skener Omnicam ili Bluecam, osobno računalo sa softverom i zaslom, spojeni su u zajedničkom mobilnom kućištu pa je prednost ove verzije mobilnost između ordinacija. Zahvaljujući mogućnosti rada na bateriju, ima se dovoljno radnog vremena da se jedinica koristi u više ordinacija.

- CEREC AF (Acquisition Flex) – jedinica bez zajedničkoga kućišta

Skener i računalo nisu povezani u zajedničko kućište pa se kamera može lako prenositi među ordinacijama. Velika prednost je naročito za grupne prakse ili prakse koje nisu na istim lokacijama. Snimanje i dizajn mogu biti odrađeni odvojeno, primjerice u jednoj ordinaciji može se krenuti sa dizajniranjem nadomjeska, a u drugoj se može krenuti sa novim snimanjem.

- CEREC AI (Acquisition Integrated) – integrirana, ekonomična izvedba

U ovoj izvedbi CEREC Omnicam i računalo sa zaslonom dolaze u sklopu TENE0 stomatološke jedinice (Sirona).

CEREC Bluecam intraoralni skener jednostavnim kontinuiranim pomicanjem kamere po površini zuba prekrivenih prahom stvara uzastopne pojedinačne slike te snimljene podatke pretvara u 3D prikaz (62).

CEREC Primescan (Slika 7.) najnoviji je model koji pruža bolje performanse u smislu veće rezolucije i bržeg postupka snimanja. Značajka je 21,5-inčni tanki zaslon osjetljiv na dodir. Potpuno novi sustav baterija omogućuje dugotrajniji rad. Može izdržati 5 sati u stanju čekanja te do 60 min kod postupka skeniranja. Također se u potpunosti napuni u 1 h nakon uključanja u strujno napajanje. Datoteke je moguće dijeliti sa vanjskim sustavima (63).



Slika 7. CEREC Primescan i računalo sa softverom za dizajn. Preuzeto s dopuštenjem autora: prof.dr.sc. Zoran Kovač



CEREC software 4.4.

Biostatističkim izračunom softver predlaže izgled budućeg nadomjeska prema podacima dobivenim skeniranjem zubi u ustima. Softver sam prepoznaje o kojem je tipu nadomjeska riječ, bez da manualno moramo odrediti vrstu nadomjeska koji želimo napraviti. Potrebno je samo na slikovnom prikazu gornjega i donjega zubnog luka označiti zub koji se radi i navesti materijal koji ćemo koristiti. Nakon što smo odabrali materijal i označili zub, slijedi skeniranje. Skeniramo bataljak, susjedne zube i suprotnu čeljust te registriramo zagriz, odnosno bukalnu projekciju. Slijedi određivanje osi i ucrtavanje granica preparacije, koje je također softverom predloženo pa možemo samo ispraviti dijelove koji nam se čini nejasnim. Osim samog oblika zuba, možemo mijenjati čvrstoću kontaktne točke, zaglađivati površinu i provjeriti kako se dizajnirani nadomjestak uklapa u zubni luk. Kako bismo imali jasniji prikaz, možemo nadomjestak izolirati iz ostatka virtualnoga modela i tako ga pregledati i doraditi sa svih strana. Iz skeniranih podataka prikupljaju se i podatci o boji. Softver predlaže boju budućeg nadomjeska. Kada je dizajn gotov, biramo blok odgovarajućega materijala i veličine i unosimo ga u glodalicu. Prije pokretanja procesa glodanja, na zaslonu je prikazan budući nadomjestak uklopljen u blok koji smo odabrali (18, 64).

Softver nudi i još dodatnih aplikacija poput virtualnog artikulatora gdje prikazuje put kretanja čeljusti čime se prilagođavaju statičke i dinamičke kontaktne površine i postiže ispravna funkcionalna okluzija uklanjanjem ranih kontakata u okluziji samo klikom miša. Aplikacijom smile design kojom, nakon što unesemo pacijentovu 2D fotografiju i odradimo dizajn nadomjeska možemo pacijentu pokazati krajnji rezultat terapije (65).

CEREC glodalica može se koristiti za mokru i suhu obradu. Suho glodanje štedi vrijeme izrade samog nadomjeska jer nema potrebe za sušenjem prije sinteriranja, a prašina se lako uklanja kratkim, integriranim programom čišćenja. Time je moguća izrada restauracija u jednoj posjeti. Nema razlike u kvaliteti između nadomjestaka dobivenih suhim ili mokrim glodanjem.

Kako bi udovoljili potrebama tržišta, tvrtka Dentsply Sirona nudi različite glodalice (CAM jedinice) koje cijenom i opsegom djelovanja zadovoljavaju različite potrebe, a to su CEREC MC, CEREC MC X i CEREC MC XL glodalica.

- CEREC MC glodalica može izglodati *inlay*, *onlay*, krunicu te ljuskicu iz širokoga spektra blokova materijala veličine do 20 mm. Glodalica namijenjena prvenstveno za izradu pojedinačnih nadomjestaka u jednoj posjeti.

- CEREC MC X uz iste restauracije kao i CEREC MC, izrađuje i nadogradnje, mostove te kirurške predloške iz blokova do veličine 40mm.
- CEREC MC XL (Slika 8.) namijenjena je praksama s dentalnim laboratorijem te uz sve već navedeno, izrađuje mostove velikih raspona, baze mosnih konstrukcija, prilagođene nadogradnje na implantatima, prečke i teleskopske krunice, koristeći blokove do 85mm s mogućnošću korištenja CAD/CAM blokova svih materijala (plastika, metal, keramika) (65, 66).



Slika 8. Glodalica CEREC MC XL. Preuzeto s dopuštanjem autora: prof.dr.sc. Zoran Kovač

### 2.9.2. Planmeca FIT (Planmeca, Helsinki, Finska)

Od intraoralnog skeniranja do softvera za dizajn i glodalice Planmeca nudi cjelovit CAD/CAM tijek rada.

Planmeca intraoralni skeneri imaju otvoreni sustav koji u potpunosti podržava izvoz i uvoz STL datoteka čime je omogućeno dijeljenje snimljenih podataka između ordinacija ili laboratorija.

- Planmeca PlanScan

Intraoralni skener može biti integriran u dentalnu jedinicu ili se koristi uz prijenosno računalo. Radi na principu triangulacije s plavim laserom kao izvorom svjetlosti. Ima razvijen sustav koji sprječava magljenje kamere za vrijeme intraoralnoga skeniranja. Skenira čeljust po sekstantima i ne zahtijeva upotrebu praha titanijevog dioksida.

- Planmeca Emerald i Emerald S

Novi ultrabrzi intraoralni skeneri omogućavaju snimanje kvadranta ili cijele čeljusti u svega nekoliko minuta, uz stvaranje 3D modela u boji. Značajka Emerald S skenera je i integriran pomoćnik za određivanje boje; skeniranjem površine zuba automatski prepoznaje boju zuba te mogućnost detekcije početnih interproksimalnih karijesnih lezija transiluminacijom.

#### Planmeca PlanCAD Easy

Otvoreni CAD softver omogućuje dizajn nadomjestaka poput *inlaya*, *onlaya*, pojedinačnih krunica, ali i mostova. Planmeca PlanCAD Easy sastavni je dio Romexis softverske platforme koja nudi i dizajn implantata, dizajn kirurških predložaka te dizajn hibridnih suprastruktura.

#### Planmeca PlanCAD Premium

Najnoviji softver omogućuje oblikovanje širokog spektra nadomjestaka uključujući krunice i mostove, *inlaye*, *onlaye*, ljuskice, dizajn voštanih modela, teleskopske krunice, individualizirane nadogradnje na implantatima bilo za cementiranje ili retinirane na vijak, dizajniranje prečki i mostova na implantatima, nagrizne udlage i drugo. Planmeca PlanCAD

Premium nudi i veliki izbor virtualnih artikulatora, a dostupne su i sveobuhvatne biblioteke implantata na tržištu za individualizirani dizajn nadogradnji na implantatima.

#### Planmeca PlanScan 40 S

Glodalica s 4 osi i reznom brzinom od 80 000 okretaja u minuti (*dual spindle*) omogućuje izradu nadomjestaka za 8 – 10 minuta. Sustav automatske promjene svrdala ovisno o materijalu od kojeg se nadomjestak izrađuje te automatska zamjena svrdala ukoliko su istrošena ili oštećena, sa pohranom 10 svrdala.

#### Planmeca PlanScan 30 S

Glodalica s 4 osi za glodanje i reznom brzinom od 100 000 okretaja u minuti (*single spindle*) omogućuje jednposjetnu izradu krunica, *inlaya*, *onlaya*, ljuskica i mostova . Sustav automatski prepoznaje oštećena ili istrošena svrdla te ih zamjenjuje novima, uz pohranu 5 svrdala.

#### Planmeca PlanScan 50 S

5 osna jedinica moćan je izbor za mokro i suho glodanje diskova i blokova te prefabriciranih titanskih ili kobalt- krom nadogradnji. Dizajnirana uglavnom za dentalne laboratorije. Rezna brzina 60 000 okretaja u minuti sa 12 svrdala koji se automatski mijenjaju ovisno o materijalu iz kojeg se nadomjestak izrađuje (67).

### **2.9.3. TRIOS (3Shape, Copenhagen, Danska)**

Ovaj sustav pripada otvorenome tipu CAD sustava. Riječ je o intraoralnome skeneru i softveru za dizajn nadomjestaka. Navedeni skener radi na načelu konfokalne mikroskopije s ultra brzim skeniranjem o otprilike 3000 slika u sekundi te je važno istaknuti da ne zahtijeva upotrebu praha titanijevoga dioksida.

Tvrtka nudi više izvedbi skenera pa razlikujemo TRIOS 3 Basic, TRIOS 3 i TRIOS 4. Osim stvaranja digitalnog otiska TRIOS 3 omogućuje bolju suradnju s pacijentom uporabom aplikacija pomoću kojih olakšava vizualizaciju budućeg nadomjeska (TRIOS Smile design) ili

ako govorimo o ortodontskim tretmanima *alignerima* simulaciju pomaka zuba (TRIOS Treatment simulator). TRIOS 4 (Slika 9.) ima i mogućnost detekcije početnih interproksimalnih karijesnih lezija transiluminacijom. Jedini je skener na tržištu koji može raditi bežično.



Slika 9. TRIOS 4 intraoralni skener. Preuzeto s dopuštenjem autora: prof.dr.sc. Zoran Kovač

Softver nudi brojne aplikacije tako TRIOS Design Studio omogućava dizajn i proizvodnju *inlaya*, *onlaya*, ljuskica, standardnih krunica, krunica na implantatima i mostova kratkih raspona. Implant Studio omogućava planiranje, dizajn i izvedbu kirurškog predloška i privremenih vijkom retiniranih krunica na implantatima. Splint Studio omogućuje dizajn i izvedbu udlaga, noćnih štitnika i štitnika zagrizava dok Clear Aligner Studio nudi mogućnost dizajna i izrade ortodontskih alignera (68, 69).

TRIOS je otvoreni sustav tako da se izvedba željenih nadomjestaka dalje izrađuje u isto tako otvorenim CAM jedinicama ili 3D pisačima.

U suradnji sa tvrtkom IvoclarVivadent te njihovom glodalicom PrograMill One predstavljaju *in-office* odnosno *chairside* CAD/CAM sustav.

#### PrograMill One (IvoclarVivadent, Schaan, Lihtenštajn)

PrograMill One je najmanja 5-osna glodalica na svijetu, uz to radi bežično pa se njome može upravljati putem aplikacije s tableta ili pametnog telefona. Kamera integrirana u glodalici automatski bira materijal određene veličine, boje i transucencije te brusna sredstva, odnosno prepoznaje Data Matrix Code printan na bloku materijala za glodanje. Moguća je izrada *inlaya*, *onlaya*, ljuskica, krunica i mostova do 45mm dužine bloka iz litijum disilikatne keramike, leucitne staklo keramike, cirkonijeva oksida i kompozita (70).

#### 2.9.4. iTero (Align Technology, Cadent, San Jose, California, SAD)

Riječ je o intraoralnom skeneru povezanim sa računalom odnosno laptopom, također otvorenome tipu CAD sustava. Sustav automatskoga pohranjivanja kakav nalazimo kod iTero skenera daje sigurnost jer svake dvije sekunde sprema podatke. Čak i u slučaju prekida napajanja električnom energijom, skeniranje podataka je sigurno, tako da nema brige za gubitkom snimljenih podataka. Snimanje se vrši kontinuiranim prelaskom skenera iznad površine zuba. Softver automatski prepoznaje i ponovo postavlja početne i zaustavne točke skeniranja prilikom prelaska na novi položaj skeniranja u skeniranom segmentu te automatski spaja slike i slaže ih u pravilan položaj te otkriva i uklanja meko tkivo. Senzor boja integriran je u objektiv s dvostrukim otvorom leće za istodobno snimanje 2D slika u boji uz visoko precizno 3D lasersko skeniranje. Skeniranje u boji može olakšati razlikovanje gingivalnih i zubnih struktura radi preciznijeg daljnjeg dizajna nadomjeska. Radi na principu paralelnih konfokalnih prikaza, koristeći crveno lasersko svjetlo. Upravo zbog te tehnike, nije potrebna primjena praha.

Tvrtka nudi više izvedbi skenera iTero Element, iTero Element 2, iTero Element Flex i iTero Element 5D kao najnoviji skener sa intraoralnom kamerom te infracrvenim svjetlom koje omogućava detekciju interproksimalnih karijesa. Near-infrared imaging (NIRI) tehnologija omogućava skeniranje unutrašnjih struktura zuba u stvarnom vremenu.

iTero je otvoreni sustav u kojem se STL datoteke dalje šalju u laboratorij za izradu krunica, *inlaya*, *onlaya*, ljuskica, mostova te nadogradnji na implantatima. Uz OrthoCAD softver moguće je napraviti ortodontsku analizu pacijenta; između ostaloga, izračunati pregriz, prijeklop, širinu zuba i zubnog luka, Bolton analizu te napraviti analizu prema Moyers-u. Sve

nabrojene mogućnosti analize, vizualizacije i pohrane podataka čine iTero idealnim partnerom Invisalign ortodontskoga tretmana *alignerima* (69, 71).

### **2.9.5. VirtuoVivo (Dental wings, Montreal, Kanada)**

Intraoralni skener tehnologijom 3D skeniranja spaja snagu četiri mini kamere i jednog projektora čime je olakšano istovremeno skeniranje zuba i mekog tkiva iz više kutova snimajući teško vidljiva ili podminirana područja. VirtuoVivo pruža skeniranje u stvarnom vremenu i realnim bojama što omogućava bolju komunikaciju između terapeuta i pacijenta te lakše označavanje granice preparacije. Integrirana glasovna i gestikulacijska kontrola te svijetleći prsten na skeneru signaliziraju kada su snimljeni podaci skupljeni tako da terapeut ne mora biti fokusiran na ekran na računalo nego se posvetiti pacijentu. Snimljeni podaci spremaju se u STL formatu te mogu biti dalje proslijeđeni. Dolazi u varijanti na mobilnim kolicima sa računalom ili povezan laptopom. DWOS softver integriran sa skenerom omogućava dizajn *inlaya, onlaya*, krunica, ljuskica i nadogradnji na implantatima. VirtuoVivo partner je ClearCorrect ortodontskog tretmana *alignerima* (72, 73).

### **2.9.6. CeraMill (Amann Girrbach, Koblach, Austrija)**

Amann Girrbach tvrtka je koja već desetljećima prati napredak i razvoj dentalne tehnologije kako bi proizvodila jedinice za glodanje koje će biti što preciznije, dovoljno brze i prilagođene za obradu svih dentalnih materijala. Nudi nekoliko tipova glodalica za suho i mokro glodanje, a to su Ceramill mikro 4x, Ceramill mikro 5x i Ceramill mikro Ic (74).

- Ceramill mikro 4x

Glodalica za suho glodanje sa 4 osi pogodna je za obradu blokova cirkonijeva oksida, hibridne keramike, kompozitnih materijala i CoCr legure metala te time izvedbu krunica, mostova, *inlaya, onlaya*, ljuskica, teleskopskih krunica i *attachmenta*.

- Ceramill mikro 5x

Također glodalica za suho glodanje sa 5 osi omogućuje bržu i precizniju obradu materijala pa ima nešto širi raspon izvedbe nadomjestaka, tako da osim gore navedenih materijala obrađuje i PMMA (polimetilmetakrilat) i PEEK (polietereterketon) termoplastične materijale. Moguća je izvedba krunica i mostova sa metalnom osnovom, vijkom retiniranih nadomjestaka sa metalnom osnovom te privremenih nadomjestaka.

- Ceramill mikro Ic

Glodalica za morko glodanje sa 4 osi omogućuje obradu cirkonij-oksida, PMMA akrilata, litijum disilikatne keramike, hibridne i glinične keramike te titanija i time izvedbu nadomjestaka tim materijalima.

### **2.9.7. DgShape DWX series (RolandDg, Hamamatsu, Japan)**

RolandDg korporacija pokrenula je 2017. godine proizvodnju DWX glodalica za dentalnu industriju. DWX- 52D glodalica je za suho glodanje, dok je DWX- 42W glodalica za mokro glodanje (75).

- DWX- 52D

5-osna glodalica za suho glodanje izvodi nadomjeske od širokog raspona blokova materijala. Moguća je obrada cirkonijeva dioksida, voskova, PMMA, kompozita, PEEK termoplastičnog materijala, gipsa te sintranog kobalt kroma. Izvedba nadomjeska vrši se u suhom okruženju pomoću 15 različitih brusnih svrdala u jedinici za glodanje.

- DWX- 42W

Glodalica za mokro glodanje omogućuje izvedbu privremenih nadomjestaka, *inlaya*, *onlaya*, krunica i mostova od staklokeramike i kompozitnih materijala.



### **2.9.8. LabTec (Dental Direkt, Spenge, Njemačka)**

Dental Direkt njemačka je tvrtka osnovana 1997. godine i nudi opremu za dentalnu industriju. Značajne su glodalice sa suho LabTec 25 dry te glodalice LabTec 25 wet i LabTec 35 za suho i mokro glodanje.

- LabTec 25 dry (Slika 10.) je 5-osna jedinica za suho glodanje omogućuje obradu materijala cirkonijeva dioksida, aluminijska oksida, PMMA materijala, kompozita i voska.
- LabTec 25 wet je glodalica za suho i mokro glodanje omogućuje izvedbu nadomjestaka od šireg raspona materijala pa osim najčešće korištenih blokova poput cirkonijeva dioksida, kompozita i PMMA materijala omogućuje obradu staklokeramike i hibridne keramike.
- LabTec 35 je 5-osna glodalica za suho i mokro glodanje koja omogućuje obradu i kobalt krom legura te titanija uz sve ostale materijale (76).



Slika 10. LabTec 25 glodalica. Preuzeto s dopuštanjem autora: prof.dr.sc. Zoran Kovač

### **3. 3D PISAČI**

3D ispis proces je stvaranja 3D objekta iz digitalnog, virtualnog oblika. Glava 3D pisača pomiče se u x- i y-smjeru, određujući tako dužinu i širinu predmeta. Nižući slojeve jedan na drugi u smjeru z- osi, stvara visinu konačnog predmeta. 3D ispis koristi se i u dentalnoj medicini, prvenstveno u implantologiji gdje se koriste ispisani kirurški predlošci, zatim za ispis modela čeljusti iz digitalnog otiska te izradu proteza. 3D ispis kao aditivna tehnologija zasigurno postaje brzo rastuća tehnologija zbog uštede materijala u procesu izvedbe jer se preostali materijal može ponovno koristiti gdje za razliku od suptraktivnih metoda proizvodnje višak materijala od bloka se ne može iskoristiti i stoga se baca (77).

### **3.1. Povijesni razvoj**

3D ispis odnosno aditivna metoda proizvodnje se sve više koristi od 1980-ih. Amerikanac Charles Hull 1983. godine osmislio je prvi 3D pisac koji je koristio tehniku stereolitografije, kao i prvi program za virtualizaciju. Također je zaslužan za STL format u kojem se objekt dizajnira i naposljetku prenosi u 3D pisac. Dr. Crump je utemeljitelj fuzijskog depozicijskog modeliranja (FDM) jedne od tehnologija 3D ispisa te je 1989. osnovao tvrtku Stratasys. Crump je također razvio akrilonitril butadien stiren (ABS) materijal za FDM pisace koji danas koristi većina 3D pisaca. 3D Systems (Rock Hill, South Carolina, SAD) i Stratasys (Rehovot, Izrael) dvije su najveće tvrtke za 3D pisace u svijetu. Carl Deckard i dr. Joe Beaman razvili su selektivno lasersko sinteriranje (SLS) isto jednu od tehnologija 3D ispisa na Sveučilištu u Teksasu sredinom osamdesetih godina. Dok su SLA i FDM bili uspješni u izradi plastičnih i najlonskih dijelova, nijedna tehnologija nije mogla napraviti prototipove metala. SLS je bila jedina tehnologija u to vrijeme za izradu prototipskih dijelova u metalima. Tehnologiju je izvorno prodala korporacija DTM, koju je kasnije kupio 3D Systems. Početkom 1990-ih, Massachusetts Institute of Technology (MIT) izumio je inkjet 3D ispis. Od tada sve više raste interes za uporabu u arhitekturi, zrakoplovstvu i telekomunikacijama. Uporaba 3D pisaca u općoj medicini započela je 1990-ih godina (78). Danas se koristi za bioprintanje tkiva i organa za rekonstrukcije u maksilofacijalnoj i općoj kirurgiji, izradu individualnih implantata i proteza u ortopediji, izradu anatomskih modela za planiranje i simuliranje operacija te u farmaceutskoj industriji gdje se koristi za kontrolu metabolizma lijekova na isprintanom organu ili za printanje nestandardnih doza lijekova (79).

### 3.2. Tehnologije 3D ispisa

3D ispis aditivna je metoda koja slojevanjem materijala gradi nadomjestak. Pisač pomoću glave, koja se kreće u x- i y-smjeru, određuje širinu i dužinu objekta, a pomičući platformu prema dolje ili gore niže sloj jedan na drugi u smjeru z- osi i gradi visinu predmeta (77). Postoji više vrsta pisača koji se razlikuju po načinu rada pa s obzirom na način rada postoji više vrsta tehnologija za 3D ispis, a to su stereolitografija (engl. Stereolithography, SLA), digitalna svjetlosna obrada (engl. Digital light processing, DLP), selektivno lasersko sinteriranje (engl. Selective laser sintering, SLS), selektivno lasersko taljenje (engl. Selective laser melting, SLM), polyjet postupak (engl. Photopolymer jetting, PPJ), powder binder pisači (engl. Powder binder printers, PBP) i fuzijsko depozicijsko modeliranje (engl. Fusion deposition modeling, FDM).

- Stereolitografija (engl. Stereolithography, SLA)

Najpopularnija tehnologija je stereolitografija, a načelo ispisa se temelji na fotoosjetljivoj monomernoj smoli koja tvori polimer i stvrdnjava kad je izložena ultraljubičastoj (UV) svjetlosti. Aparat za stereolitografiju koristi skenirajući laser koji osvjetljava sloj po sloj svjetlosno osjetljivog polimera u posudi s tekućim polimerom i tako izgrađuje objekt. Proces ispisa generiran je putem CAD softvera. Završna obrada uključuje uklanjanje suvišne smole i postupak stvrdnjavanja u UV pećnici (80). Ovom tehnologijom najčešće se izrađuju kirurški predlošci.

- Digitalna svjetlosna obrada (engl. Digital light processing, DLP)

3D ispis izvodi se tako da svjetlo iz projektora polimerizira sloj po sloj tekuće smole postupnim odizanjem platforme dok se ne izgradi potpuni objekt obrnutim smjerom. Od materijala koriste se polimeri osjetljivi na svjetlo i vosku slični materijali (81).

- Selektivno lasersko sinteriranje (engl. Selective laser sintering, SLS)

Ova je tehnologija dostupna je od sredine 1980-ih. Postupak 3D ispisa izvodi se tako da kada valjak donese sloj materijala u prahu na platformu pisača, laserska se zraka putem skenera usmjerava na materijal gdje zagrijava prah do temperature taljenja i spaja čestice praha u veće nakupine. Nakon što se prvi sloj sinterira postupak se slijedno ponavlja sve dok se ne izgradi željeni objekt. Ovim postupkom izrađuju se anatomske studijske modeli, kirurški predlošci, dentalni modeli i drugo. Materijali koji se najčešće koriste ovom tehnologijom su fleksibilni elastomeri, najloni sa ili bez metalnih dodataka, kompoziti i polietereketoni (PEEK) (82).

- Selektivno lasersko taljenje (engl. Selective laser melting, SLM)

Također je opisano i kao izravno lasersko sinteriranje metala. Laserska zraka sinterira sloj po sloj metalnog praha te spaja čestice u veće aglomerate. Postupak se ponavlja sve dok se ne izgradi željeni objekt. Širok je raspon metala i legura metala na raspolaganju, uključujući titanij, legure titanij, legure kobaltnog kroma i nehrđajući čelik. 3D ispisane djelomične proteze i baze proteza zatim baze mosnih konstrukcija na implantatima izrađuju se ovom tehnologijom (83).

- Polyjet postupak (engl. Photopolymer jetting, PPJ)

Tehnologija pisača koristiti stacionarnu platformu i dinamičnu ispisnu glavu ili stacionarnu ispisnu glavu i dinamičnu platformu. Glava za ispis nalikuje onima u tintnim (inkjet) pisačima, ali je znatno skuplja. Svjetlosno polimerizirajući polimer izgrađuje se na platformi prolaskom glave za ispis i biva polimeriziran UV svjetlom sloj po sloj. Može se tiskati raznolike materijale, uključujući smole i voskove za lijevanje, kao i neke silikonske gumene materijale. Koriste su za ispis dentalnih ili anatomske studijske modela te kirurških predložaka. Prednost ove tehnologije je u tome što uporaba više glava za ispis omogućuje istovremeno ispis s različitim materijalima pa primjerice izrađeni objekt može sadržavati fleksibilne i krute dijelove (predlošci za indirektno lijepljenje bravica u ortodontici) (82).

- Powder binder pisači (engl. Powder binder printers, PBP)

3D ispis izvodi se pisačima koji se sastoje od tintne glave koja izbacuje kapljice obojene tekućine koja povezuje te stvrdnjava čestice praha rasutih na platformi. Kada je izrađen prvi sloj, valjak nanosi novi sloj praha i proces se ponavlja dok se objekt ne izgradi. Na kraju se pore koje su ostale između čestica praha popunjavaju cijanoakrilatom ili epoksi smolom te se time povećavaju čvrstoća i površinska tvrdoća. Materijali koji se koriste su gips i cement pa se ovom metodom većinom izrađuju gipsani modeli čeljusti. Zanimljivost ove metode je mogućnost ispisa u boji (84).

- Fuzijsko depozicijsko modeliranje (engl. Fusion deposition modeling, FDM)

Početni materijal je u krutom stanju te se zagrijavanjem prolazeći kroz mlaznicu rastapa, a hlađenjem poprima konačan oblik. Glava pisača izbacuje kapljice materijala gradeći početni sloj i veže svaki sljedeći sloj za prethodni (85). Koriste se uglavnom termoplastični materijali; često biorazgradiv polimer polilaktične kiseline za ispis anatomskih modela bez prevelike složenosti kao što su bezube mandibule (86).

### 3.3. Materijali

Jedna od glavnih prednosti tehnologije 3D ispisa jest ušteda materijala u izvedbi nadomjestaka. Najčešće korišteni materijali su polimeri, keramika i metali.

- Polimeri

Polimeri koji se najčešće koriste za 3D ispis su polikaprolakton (PCL), polilaktična kiselina (PLA), akrilonitril butadien stiren (ABS) i polilaktična koglikolna kiselina (PLGA). 3D pisači imaju mogućnost obrade polimera i to sa više tehnologija 3D ispisa; SLA, DLP, SLS, FDM i PPJ.

#### Polikaprolakton (PCL)

PCL je polukristalna termoplastična smola koja ima dobra mehanička svojstva i dugo vrijeme resorpcije, ali slabu osteokonduktivnost. Prisutnost laktonske skupine u PCL-u pruža dobru biorazgradljivost i biokompatibilnost. Visoko je toplinski stabilan; s molekulskom masom 80 000 i talištem od 60 °C. Izabran je kao dentalni materijal često kao biološki držač mjesta dok tkivo zarasta oko njega (87).

#### Polilaktična kiselina (PLA)

PLA je polimer netopljiv u vodi kojeg odlikuje dobra biokompatibilnost, biorazgradivost, lakoća obrade i toplinska stabilnost te vlačna i savojna čvrstoća. Najsličniji je kosti. Preporučene temperature 3D ispisa su na 180–210 °C (87).

#### Akilonitril butadien stiren (ABS)

ABS je polimer na uljnoj osnovi, te izdržljiv i lagan materijal. Preporučene temperature 3D ispisa su na 230–250°C (87).

#### Polilaktična-koglikolna kiselina (PLGA)

PLGA je kopolimer polilaktične kiseline (PLA) i poliglikolne kiseline (PGA). Različiti omjeri monomera mogu proizvesti različite vrste PLGA. Na primjer: PLGA 75:25 označava polimer koji se sastoji od 75% mliječne kiseline i 25% glikolne kiseline. Za razliku od polimera čiste mliječne kiseline ili glikolne kiseline, koji su manje topljivi, PLGA predstavlja širi raspon topljivosti. Može se otopiti u raznim otapalima, uključujući klorirana otapala, tetrahidrofuran, aceton i etil acetat. Uništavanje esterske veze uzrokuje degradaciju PLGA, a stupanj razgradnje se mijenja s promjenom omjera monomera. Što je udio glikozida veći, to je lakši degradirati. Zanimljivo je kad je omjer dva monomera 50:50, brzina degradacije je brža. Proizvod razgradnje PLGA su mliječna kiselina i glikolna kiselina, koji su ujedno i nusproizvodi ljudskog metaboličkog puta. Zahvaljujući biorazgradivosti i biokompatibilnosti našli su primjenu u medicini (87).



- **Keramika**

U dentalnoj medicini je upotreba keramike, posebno cirkonij-oksidge keramike, za izvedbu nadomjestaka široko promovirana zbog iznimnih estetskih svojstava. Korištenjem suvremenih protokola takvi nadomjesci uglavnom se izrađuju iz digitalnih proizvodnih sustava poput CAD/CAM sustava. 3D ispis keramike je ciljana proizvodnja kako bi se izbjegli visoki troškovi CAD/CAM izvedbe i sinteriranja nakon glodanja; a proizvodi 3D ispisa očekivano trebaju biti vrlo precizni kao i oni izvedeni CAD/CAM tehnologijom. 3D pisači koji omogućuju obradu keramike jesu SLS, SLA i PBP (88).

- **Metali**

Postupkom 3D ispisa najčešće se izrađuju nadomjesci iz kobalt-krom legura te titanija. Od 3D pisača u dentalnoj medicini metali se obrađuju postupkom selektivnog laserskog taljenja (SLM). Co-Cr legure odlikuju se visokim indeksom tvrdoće, visokom savojnom čvrstoćom, izvrsnom otpornošću na habanje i dobrom otpornošću na koroziju, lagane su no nešto teže obradive. Titanij odlikuje izvrsna otpornost na koroziju, izvanredna mehanička svojstva i zadovoljavajuća biokompatibilnost te je lagan materijal. Neki od najčešće korištenih 3D pisača za ispis metala su: PM 100/PXM (Phenix Systems, Riom, Francuska), Eosint M270/M280 (EOS GmbH, Munich, Njemačka) i Bego (Bego Medical, Bremen, Njemačka) (89).

### **3.4. 3D pisači u implantoprotetici**

Digitalni tijek rada 3D ispisa temelji se na tri elementa. Prvo je prikupljanje podataka koju čine tehnologije za skeniranje čime se dobiva optički otisak i CBCT snimka. Nakon toga slijedi obrada podataka koja uključuje virtualni dizajn objekta pomoću CAD softvera. Kad je definiranje objekta dovršeno, STL-datoteka se uvozi na softver pisača gdje se specificiraju varijable i parametri potrebni za ispis te generiranje podataka potrebnih za kontrolu 3D pisača. Sljedeći korak je izrada nadomjestaka od željenog materijala pomoću računalne proizvodnje uporabom 3D pisača te na kraju završna obrada koja uključuje čišćenje u ultrazvučnoj kupki i/ili dodatno izlaganje svjetlu u polimerizacijskom uređaju. U završnu obradu ubraja se poliranje i bojanje te zaglađivanje spojnih mjesta i to najbolje prema uputama proizvođača kako bi se izbjegla potencijalna oštećenja (78, 79).

Posljednjih 20 godina zahtjevi za implantoprotetskom rehabilitacijom u porastu su stoga je razvoj digitalnih tehnologija uvelike pridonio realizaciji predvidljivih restorativnih opcija za djelomično ozubljene ili potpuno bezube pacijente. Primjena tehnologije 3D ispisa stekla je popularnost u implantologiji zbog uvođenja smjernica kirurškog zahvata za postavljanje zubnih implantata te time smanjenog rizika od operativnih komplikacija. Pozicioniranje implantata na nepravilnim mjestima ima za posljedicu smanjenu retenciju proteza podržanih implantatima.

Točnost kirurških predložaka proizvedenih stereolitografijom prilično je precizna, s kutnim odstupanjem od 2mm i linearnim odstupanjem od 1,1 mm na vratu te 2 mm na vršku implantata (90).

Procesom selektivnog laserskog taljenja mogu izrađivati individualizirani upornjaci za implantate željene veličine i oblika, metalne osnove za krunice i mostove te metalne baze proteza najčešće iz titanija ili kobalt-krom legura. Ovom metodom uspješno se izrađuju i implantati složene geometrije i porozne površine za povećanje procesa oseintegracije te su uspješno testirani na pacijentima (91).

Uporaba aditivne proizvodne tehnike u dentalnoj protetici nalazi brojnu primjenu. Počevši od ispisa anatomskih modela čeljusti, zatim ispisa individualnih žlica za otiske te privremenih protetskih nadomjestaka najčešće iz polimernih materijala. Nadalje izrađuju se akrilatne proteze. Iz izgorivog polimera mogu se izraditi i konstrukcijski modeli za lijevanje baza proteza. Na tako ispisanom modelu dalje se konvencionalnim putem izrađuje metalni odljev baza proteza. U istraživanju Inokoshija i sur. uspoređivane su akrilatne potpune proteze izrađene konvencionalnim putem te one izrađene aditivnom proizvodnjom kod deset pacijenata. Prema procjeni pacijenata, estetika, konačni oblik proteze, stabilnost i udobnost bile su ocijenjene jednako kod obje tehnike, dok prema procjeni protetičara stabilnost i estetika bile su bolje ocijenjene kod konvencionalne tehnike izrade. Vrijeme izrade duže je kod aditivne proizvodnje, a sveukupno zadovoljstvo ocijenjeno je jednakim (92).

### 3.5. Preciznost 3D ispisa

Točnost proizvedenih konstrukcija razlikuje se ovisno o složenosti geometrije koja se ispisa, načinu proizvodnje i materijalima koji se koriste. SLA može proizvesti strukture sa slojem debljine 25  $\mu\text{m}$ . Inkjet tiskanjem može se postići debljina sloja od 12  $\mu\text{m}$ , dok se pokazalo da FDM ima točnost oko 127  $\mu\text{m}$ . Kod TIJ pisača preciznost ovisi o veličini kapljice i ona iznosi od 10 – 150 pikolitara. Individualne nadogradnje na implantatima imaju vertikalni razmak od 11  $\mu\text{m}$ . Kirurški predlošci za digitalno navođenu implantologiju proizvedeni korištenjem aditivne tehnologije pokazuju dimenzijsku pogrešku od 0,4 mm i kutna odstupanja manja od  $5^\circ$  (89).

Yeong i sur. na provedenom istraživanju koji je imao cilj usporediti preciznost izrade CAD/CAM anatomskih modela i 3D modela koristeći SLA; uspoređivane su vrijednosti ukupno 20 modela od kojih 10 izrađenih 3D ispisom, a 10 glodalicom. Zaključili su da je veća preciznost kod anatomskih modela izrađenih 3D pisačem (93).

Istraživanje Arora i sur. uspoređivalo je baze za krunice izrađene od kobalt krom legura izrađenim trima metodama; konvencionalnim putem, printanjem baze od smola pomoću SLA pisača u kombinaciji s konvencionalnim lijevanjem metalne baze i printanjem metala metodom izravnog laserskog sinteriranja. Iako je marginalni i unutarnji dosjed u svim trima metodama bio unutar klinički prihvatljivih vrijednosti, najbolji marginalni dosjed pokazao se kod metalnih baza izrađenih izravnim laserskim sinteriranjem, dok su najbolji unutarnji dosjed imale metalne baze izrađene u potpunosti konvencionalnim putem (94).

Wang i sur. uspoređivali su preciznost izrade cirkonijoksidnih krunica CAD/CAM-om i tehnikom izravnog injekcijskog printanja analizirajući okluzalnu plohu te unutrašnju, marginalnu te ostale vanjske površine krunica i zaključili da aditivna metoda izrade keramičkih krunica ne zaostaje za suptraktivnom metodom odnosno izradom CAD/CAM-om (95).

Treba razjasniti razliku između rezolucije, preciznosti i ponovljivosti te istinitosti 3D ispisa. Rezolucija je definirana mogućnošću razaznavanja sitnih detalja i obilježje je koje je specifično za svaku tehnologiju i pisač. Rezolucija 3D pisača trebala bi biti određena na svakoj x, y i z-osi u  $\mu\text{m}$  ili u točkama po inču (dpi), pri čemu z-os normalno odgovara debljini sloja. Preciznost ili ponovljivost je sposobnost 3D pisača da izrađuje objekte s točno istim zadanim 3D dimenzijama ili koliko su ponovljeni otisnuti predmeti jedan drugome slični ili odstupaju, dok

se istinitost 3D ispisa odnosi na odstupanje između ispisanog predmeta i stvarnih dimenzija željenog nadomjeska. Uporabom digitalnih protokola u radu može se očekivati odstupanja. Štoviše, odabrana tehnologija, 3D pisac koji se koristi, kao i materijal izabran za aditivnu proizvodnju željenog nadomjeska već čine razliku. Nisu svi pisaci koji proizvode predmet istom tehnologijom iste mogućnosti rezolucije. Dakle, svaki pisac ima određenu razlučivost koju pruža njihov proizvođač. Svaki materijal ima svoje područje valne duljine, snage i vremena ekspozicije potrebnog za izvedbu pomoću 3D pisca. Stoga nisu svi materijali kompatibilni sa svim pisacima. Nadalje, postupci naknadne obrade nadomjeska moraju se pažljivo provoditi kako ne bi došlo do daljnjih izobličenja ispisanog nadomjeska. Različiti čimbenici, poput brzine lasera, intenziteta, kuta i smjera laserske zrake, broj slojeva ispisa, softver, skupljanje između slojeva te postupci naknadne obrade mogu utjecati na točnost (preciznost i istinitost) ispisanog nadomjeska (96).

3D ispis i razvoj digitalnih protokola snažno utječu na sve grane dentalne medicine. 3D ispis omogućuje preciznu izvedbu složenih konstrukcija uporabom različitih tehnologija ispisa i materijala. Gotovo svaki potreban implantoprotetski nadomjestak može biti izveden 3D pisacem, no i dalje jedna tehnologija nije dovoljna za sve potrebe našeg pacijenta. Postupak implantacije uporabom kirurških predložaka ispisanih pomoću 3D pisca postao je više predvidljiv i manje invazivan. Proizvodnja metalnih konstrukcija 3D ispisom sve više se prakticira. 3D pisaci na tržištu postaju sve više pristupačni, kao i trošak materijala i održavanje (84).

### **3.6. Pregled tržišta**

3D ispis kao prilično nova tehnologija u dentalnom sektoru sve više se usvaja. Povrat investicije korištenjem aditivne proizvodnje je brz stoga uporaba 3D pisca sve više raste zahvaljujući brojnim prednostima. Navode se isplativost; primjerice višestruki 3D ispis svega dizajniranog sa platforme za izradu na 3D pisacu. To omogućava uštedu vremena i novca u procesu proizvodnje. Sveukupno racionaliziranje proizvodnih procesa omogućuje korisnicima da značajno smanje svoje troškove (79, 86). Jednostavniji je tijek rada jer prelazak na digitalne tehnologije uvelike smanjuje količinu ručnog rada u zubotehničkim laboratorijima. Mogućnost

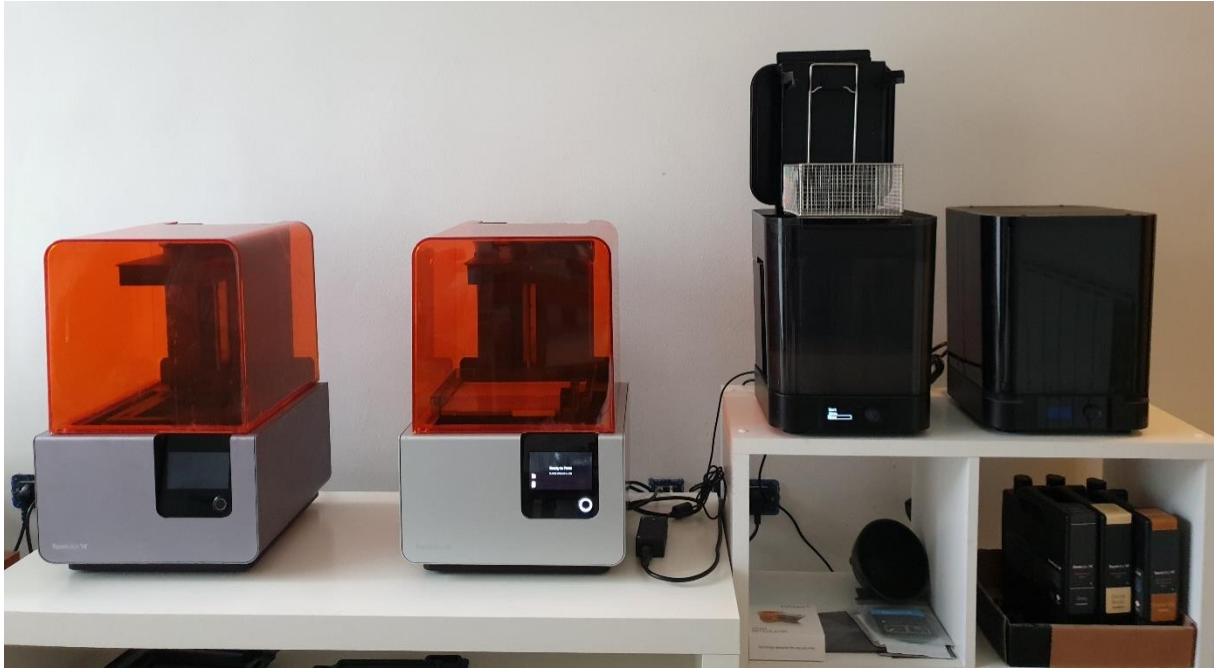
brzog i lakog dijeljenja datoteka te pohrana datoteka također pojednostavljaju proces rada. Kvalitetni materijali uvelike poboljšavaju učinkovitost proizvodnih procesa u zubnim laboratorijima bez ugrožavanja kvalitete krajnjih proizvoda koji ili odgovaraju ili premašuju standarde konvencionalnih metoda proizvodnje u dentalnoj proizvodnji. Kombinirana upotreba 3D skeniranja i 3D ispisa od strane stomatologa omogućava proizvodnju individualiziranih nadomjestaka u kratkom vremenskom periodu čime se povećava učinkovitost liječenja i udobnost pacijenata (77).

### 3.6.1. 3D pisači polimera

3D pisači koji koriste smolu kao materijal za 3D ispis temelje se na SLA ili DLP tehnologijama gdje se smola koja se nalazi u spremniku stvrdnjava svjetlosnim izvorom (laserom ili projektorom) kako bi formirao konačni nadomjestak. Vrlo su precizni, neki čak dosežu i razlučivost od 20 mikrona. Visoka razlučivost ispisa posebno je važna za 3D ispisane krunice. Površina 3D ispisanih predmeta koji izlaze iz SLA ili DLP 3D pisača također je mnogo glađa nego kod FDM 3D pisača. Među najpoznatijim proizvođačima zubnih 3D pisača koji koriste smole kao materijal su Formlabs, Asiga i DWS Systems (97).

- Form 3 (Formlabs, Somerville, Massachusetts, SAD)

SLA 3D pisac visoke preciznosti s razlučivošću od 25 mikrona, snagom laserske zrake od 250 mW i ispisu sloja 25 do 300 mikrona. Dizajn nadomjeska moguć je u bilo kojem CAD softveru i prenosi se u STL ili OBJ formatu u PreForm print softver nakon čega se daje naredba za ispis nadomjeska. Nakon ispisa nadomjestak se čisti u Form Wash uređaju 15 minuta izopropilnim alkoholom i završno svjetlosno polimerizira u Form Cure uređaju kako bi se dobila maksimalna mehanička svojstva. Uređaj zagrijava nadomjestak na 80 stupnjeva celzijevih i emitira LED svjetlo valne duljine od 405 nm kroz 1 minutu (Slika 11.). Moguć je ispis krunica i mostova, radnih modela, kirurških predložaka za digitalno navođenu implantologiju, baze proteza, privremenih protetskih nadomjestaka, parcijalnih skeleta dentalnih proteza, totalnih proteza te udlaga (98).



Slika 11. 3D pislač, kadica za ispiranje i uređaj za polimerizaciju. Preuzeto s dopuštenjem autora: prof.dr.sc. Zoran Kovač

- Max UV (Asiga, Sydney, Australija)

LED DLP 3D pislač visoke preciznosti i rezolucije od 62 mikrona, kompatibilan za stvrdnjavanje svih materijala pri valnoj duljini LED svjetla od 385 nm. Otvoren sustav omogućuje osim uporabe njihovih i uporabu ostalih na tržištu kompatibilnih materijala. Na izbor nude sljedeće materijale: DentaMODEL (radni modeli), DentaGUM (gingiva i meka tkiva), DentaCAST (skeleti proteza), DentaCLEAR (kirurški predlošci i udlage), DentaBASE (baze proteza), DentaTOOTH (zubi za proteze, privremene krunice i *inlayi/onlayi*) (99).

- XFAB ( DWS Systems, Thiene, Italija)

SLA 3D pisac koristi lasersku zraku koja emitira ultraljubičasto zračenje koje očvršćuje sloj po sloj fotoosjetljive smole debljine 10 do 100 mikrona, omogućujući stvaranje izuzetno složenih i preciznih trodimenzionalnih modela. Fictor je softver za XFAB® seriju te koristi unaprijed postavljene parametre za svaki materijal čime olakšava korisniku mogućnost ispisa, a za one sa više iskustva moguće je i individualno postaviti parametre poput prilagodbe debljinu sloja ispisa te ispravljanje kontura nadomjeska kako bi se osigurao visokokvalitetni ispis visoke rezolucije. Moguć je ispis krunica i mostova, radnih modela , kirurških predložaka za digitalno navođenu implantologiju, baze proteza, privremenih protetskih nadomjestaka, parcijalnih skeleta dentalnih proteza i udlaga (100).

### 3.6.2. 3D pisaci metala

3D pisaci metala mogu stvoriti visokokvalitetne metalne nadomjeske iako je početna investicija visoka. Selektivno lasersko taljenje (engl. Selective laser melting, SLM) najčešća je tehnologija 3D ispisa metala koja se koristi, no na tržištu ima i 3D pisaca koji koriste tehnologiju direktnog taloženja energije (engl. Directed Energy Deposition, DED), fuzijsko depozicijsko modeliranje (engl. Fusion deposition modeling, FDM) te Jetting postupak (engl. Material Jetting) (36, 85). Neki od najčešće korištenih 3D pisaca metala na tržištu su koji koriste SLM tehnologiju su: ProX DMP 300 (3D Systems, Rock Hill, South Carolina, SAD), Mori LASERTEC 30 SLM (DMG dental, Hamburg, Njemačka), M 100 (EOS, Munich, Njemačka), RenAM 500M (Renishaw, Gloucestershire, Ujedinjeno Kraljevstvo), MYSINT100 (Sisma, Vicenza, Italija) te SLM 500 HL (SLM Solutions, Lubeck, Njemačka) (89). Direktno taloženje energije (DED) usporedivo je s FDM tehnologijom gdje metalni materijal prolazi kroz posebnu mlaznicu te snažna laserska zraka odmah stvrdnjava materijal na mjestu taloženja. Neki od 3D pisaca sa ovom tehnologijom na tržištu su: Modulo 400 (BeAM machines, Cincinnati, SAD) te L – Series (Formalloy, Spring Valley, California, SAD). Jetting 3D pisaci sastoje se od različitih tintnih glava (pomalo sličnih 2D ispisu) gdje se nanosi i postupno stvrdnjava sloj po sloj "metalne tinte". Neki od korištenih Jetting 3D pisaca su: S- Print (ExOne, Irwin, Pennsylvania, SAD) i DMP 2500 (Digital Metal, Hoganas, Švedska). Fuzijsko depozicijsko modeliranje ispisa odvija se u metalnom kućištu gdje se zagrijava materijala (u ovom slučaju metalne čestice) koje se istiskuju kroz mlaznicu pomiješane sa sredstvom za vezanje. Potrebna je naknadna obrada

sinteriranjem da bi se postigao konačni oblik nadomjeska. FDM 3D pisači su: FFD 150 (3d – figo, Salzkotten, Njemačka), ExAM 255 (AIM3D, Rostock, Njemačka), Metal X (MarkForged, Watertown, Massachusetts, SAD) te Metal Studio (DesktopMetal, Burlington, Vermont, SAD). Metali koji se mogu ispisati su aluminij, titanij, čelik, legure kobalt kroma te plemeniti metali poput zlata, srebra i platine (101).

### **3.6.3. 3D pisači PEEK i PEI materijala**

Posebnu skupinu čine 3D pisači za ispis PEEK (polietereterketon) i PEI (polieterimid) termoplastičnih materijala koji imaju izvrsna mehanička, kemijska i termička svojstva u usporedbi sa ostalim termoplastičnim materijalima. PEEK i PEI (ULTEM®) su abrazivni materijali i vrlo otporni na toplinu stoga zahtijevaju određene protokole izvedbe nadomjestaka koje u ovom trenutku pruža vrlo malo 3D pisača. 3D pisač mora posjedovati ekstruder za visoke temperature jer je talište za PEEK materijale 343°C. To znači da ekstruder mora biti u stanju dostići tu temperaturu ili više, mora biti u cijelosti metala te biti otporan na abraziju od ovih agresivnih materijala. Za ispis polimera također je obvezno grijano postolje na temperaturu od 120°C. To osigurava ispravno prijanjanje i ukupnu kvalitetu 3D ispisa. Zatvorena i grijana komora uređaja isto je važna jer ako temperatura nije stalna, to može uzrokovati da se nadomjestak prilikom ispisa deformira. Zato je potrebno zatvoreno, grijano unutarnje okruženje za dobru dimenzijsku stabilnost. U idealnom okruženju komora bi trebala održavati temperaturu na ili iznad 143 °C što je PEEK materijalu temperatura prelaska u staklenu fazu. Ova je značajka možda jedna od najtežih za naći, jer su ovakve vrste sustava grijanja složene za implementaciju. 3D pisači PEEK i PEI materijala su sljedeći: Ultra (miniFactory, Seinajoki, Finska), Apium P220 (Apiumtec, Karlsruhe, Njemačka), F340 (3DGence, Przyszwice, Poljska) (102).



#### **4. RASPRAVA**

Globalna dentalna industrija iznimno se brzo razvija i mijenja. Izvedba implantoprotetskog nadomjeska suočena je s promjenama u svom proizvodnom procesu, od tradicionalnog ručnog do potpuno digitalnog, a ključna tehnologija koja je taj napredak omogućila čini CAD/CAM sustav (1). Razvoj digitalnih protokola rada od 2000. godine eksplozivno raste zbog kontinuiranog napretka 3D tehnologija skeniranja i računalne grafike. U počecima CAD /CAM sustave činili su iznimno nezgrapni 3D skeneri i industrijske više- osne glodalice integrirane s tradicionalnim CAD/CAM softverom. Danas napretkom tehnologije sve je više proizvođača opreme sa automatiziranim optičkim skenerima, dimenzijski manjim ali efikasnim glodalicama i prilagođenim softverima za planiranje dizajna nadomjestaka kako bi se povećala učinkovitost i produktivnost dentalnih ordinacija i laboratorija (4). Pored toga, tehnologija 3D ispisa koja posljednjih godina također uživa brz rast sve se više primjenjuje u području digitalne dentalne medicine. 3D ispisom izrađuje se željeni nadomjestak na temelju aditivne proizvodnje.

Digitalni otisak predstavlja snimanje geometrijskih podataka iz pacijentovih usta. Zatim se 3D virtualni podaci snimljene površine zuba ili dentalnog modela mogu generirati i stvoriti 3D STL model koji dalje služi za virtualno planiranje budućeg implantoprotetskog nadomjeska u CAD softveru, a koji će nadalje biti izveden u glodalici ili 3D pisaču (9).

Glodalice ovisno o njihovom broju osi uključuju one sa 3, 4 ili 5 osi. Glodalice s 3 osi imaju stupnjeve pomicanja u tri prostorne ravnine. Stoga su točke glodanja jedinstveno definirane x - , y - i z - vrijednostima. Svi uređaji s 3 osi mogu okretati nadomjestak za 180 ° tijekom obrade. Prednosti ovih glodalica su kratko vrijeme glodanja i pojednostavljeno upravljanje preko tri osi. Takvi uređaji za glodanje obično su jeftiniji od onih s 4 ili 5 osi. Glodalice s 5 osi, osim u tri prostorne dimenzije i rotirajućim držačem bloka materijala (4. os) imaju i mogućnost rotacije glave stroja (5. os) što omogućava glodanje najsloženijih konstrukcija (8, 14).

3D ispis je tehnologija koja omogućava brzu i automatiziranu izradu nadomjestaka izravno iz virtualnih 3D računalno dizajniranih nadomjestaka također u CAD softveru. 3D ispis kao aditivna tehnologija zasigurno postaje brzo rastuća tehnologija zbog uštede materijala u procesu izvedbe. Preostali materijal može ponovno koristiti gdje za razliku od suptraktivne tehnologije izvedbe u glodalicama višak materijala od bloka se ne može iskoristiti i stoga se baca (77, 84).

Budući da su se u samim počecima 3D ispisa koristili većinom polimeri, o njihovoj mogućnosti u izvedbi nadomjestaka se najviše zna. Napretkom tehnologije 3D ispisa danas se mogu modelirati i metali, a u novije vrijeme počela se modelirati i keramika. Ispis keramičkih

nadomjestaka već sada pokazuje obećavajuće rezultate iako još nisu u potpunosti savladane prepreke kao što su volumna kontrakcija materijala i izgaranje polimera (89).

Kada bi se nadalje uspoređivala kvaliteta nadomjestaka dobivenih glodanjem ili 3D ispisom prednost ima metoda glodanja jer pokazuje veću preciznost u izvedbi nadomjeska i kvalitetu površine za razliku od 3D ispisa koji može tvoriti stepenastu površinu i deformaciju nadomjeska zbog načina izrade. 3D ispis može u budućnosti zamijeniti proizvodnju u glodalicama zbog iznimno brzog napretka u razvoju opreme i poboljšanja materijala za 3D ispis. U studiji koju su proveli Yau i Yang gdje su uspoređivali točnost izvedbe modela 5 osnom glodalicom i 3D pisačem zaključili su da se 5-osnom obradom može postići 0,01–0,02 mm razina točnosti koja se obično zahtijeva prema standardu dentalne industrije. Međutim 5 osna glodalica može izvesti samo jedan zadani model u zadanom vremenu rada stroja. 3D ispis pokazuje manju točnost (oko 0,03– 0,05 mm), ali ima prednost zbog mogućnosti višestruke istodobne proizvodnje (103).

## **5. ZAKLJUČAK**

Digitalne dentalne tehnologije rapidno se razvijaju i unaprjeđuju čime se postepeno konvencionalne metode izvedbe protetskih nadomjestaka zamjenjuju potpuno digitalnim protokolima. Ključna tehnologija koja je takvu promjenu omogućila je CAD/CAM sustav.

Uvođenjem digitalnih sustava povećava se učinkovitost dentalne prakse, a time i zadovoljstvo pacijenata i terapeuta. Svakodnevno se pojavljuju novi modeli skenera, glodalica i 3D pisača što rezultira značajnim padom troškova sustava čime će digitalne tehnologije postupno biti povoljnije i time dostupnije većem broju dentalnih praksi.

Imati glodalicu ili 3D pisač u ordinaciji znači mogućnost izrade gotovo svakog protetskog nadomjeska na licu mjesta. Kvaliteta CAD / CAM nadomjestaka izuzetno je visoka jer je sam postupak izrade vrlo precizan.

Postupak protetski navođene implantacije uporabom kirurških predložaka ispisanih pomoću 3D pisača postao je više predvidljiv i precizan te manje invazivan.

Zbog brzine i kvalitete u izvedbi protetskih nadomjestaka uporaba digitalnih tehnologija ima sve značajniju ulogu u dentalnoj medicini i uvelike pridonosi većem broju zadovoljnih pacijenata.

## **6. LITERATURA**

1. Sakr FM, Al Obaidy KG, Assery MQ, Alsanea JA, Adam AI. Digitized dentistry: Technology that peaked up the professionalism of dental practitioners. *Saudi J Oral Sci* 2017;4(1):3-11.
2. Kudva PB. Digital dentistry: The way ahead. *J Indian Soc Periodontol* 2016;20(5):482-3.
3. Guillaume B. Dental implants: A review. *Morphologie*. 2016;100(331):189-98.
4. Sriram S, Shankari V, Chacko Y. Computer aided designing/computer aided manufacturing in dentistry (CAD/CAM)- A review. *Int J of Cur Res Rev*. 2018;10(20):20-4.
5. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD / CAM : current status and future perspectives from 20 years of experience. 2009;28(1):44–56.
6. Gabor AG, Zaharia C, Tudor Stan A, Gavrilovici AM, Negruțiu ML, Sinescu C. Digital dentistry — digital impression and CAD/CAM system applications. *J InterdiscipMed*. 2017;2(1):54-7.
7. Trost L, Stines S, Burt, L. Making informed decisions about incorporating a CAD/CAM system into dental practice. *J Am Dent Assoc*. 2006;137(1):32–6.
8. Albuha Al-Mussawi RM, Farid F. Computer-based technologies in dentistry: types and applications. *J Dent*. 2016;13(3):215–22.
9. Alghazzawi TF. Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. *J Prosthodont Res*. 2016;60(2):72-4.
10. Joda T, Ferrari M, Gallucci GO, Wittneben JG, Brägger U. Digital technology in fixed implant prosthodontics. *J Periodontol* 2000. 2017;73(1):178-92.
11. Mangano F, Shibli JA, Fortin T. Digital dentistry: New materials and techniques. *Int J Dent* [Internet]. 2016 Sep [cited 2019 Aug 15];[about 2 p]. Available from: <https://doi.org/10.1155/2016/5261247>.
12. Greenberg AM. Digital technologies for dental implant treatment planning and guided surgery. *Oral Maxillofacial Surg Clin N Am*. 2015;27(2):319-40.
13. Baroudi K, Ibraheem SN. Assessment of chair-side computer-aided design and computer-aided manufacturing restorations: A review of the literature. *J Int Oral Health*. 2015;7(4):96-04.
14. Blatz MB, Conejo J. The current state of chairside digital dentistry and materials. *Dent Clin North Am*. 2019;63(2):175-97.
15. Roland [Internet]. Dental milling tips and tricks – Tip 1. Choosing the best tools for the best results; 2016 Jun [cited 2019 Sept 6]. Available from: <https://www.rolanddga.com/blog/2016/06/15/17/26/dental-milling-tips-best-milling-tools>.

16. Aegis dental network [Internet]. Sintering furnaces; 2012 Jan [cited 2019 Oct 10]. Available from: <https://www.aegisdentalnetwork.com/idt/2012/01/sintering-furnaces>.
17. Mehulić K. Dentalni materijali. Zagreb: Medicinska naklada; 2017. p. 185-205.
18. Sannino G, Germano F, Arcuri L, Bigelli E, Arcuri C, Barlattani A. CEREC CAD/CAM Chairside System. *Oral Implantol (Rome)*. 2015;7(3):57-70.
19. Davidowitz G, Kotick PG. The use of CAD/CAM in dentistry. *Dent Clin North Am*. 2011;55(3):559-70.
20. Miyazaki T, Hotta Y. CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. *Aust Dent J*. 2011;56(1):97–106.
21. Fasbinder DJ. Materials for chairside CAD/CAM restorations. *Compend Contin Educ Dent*. 2010;31(9):702-09.
22. Ender A, Bienz S, Mormann W. Marginal adaptation, fracture load and macroscopic failure mode of adhesively luted PMMA-based CAD/CAM inlays. *Dent Mater*. 2016;32(2):22–9.
23. Lambert H, Durand JC, Jacquot B, Fages M. Dental biomaterials for chairside CAD/CAM: State of the art. *J Adv Prosthodont*. 2017;9(6):486–95.
24. Magne P, Schlichting LH, Maia HP. In vitro fatigue resistance of CAD/CAM composite resin and ceramic posterior occlusal veneers. *J Prosthet Dent*. 2010;104(3):149–57.
25. Conejo J, Nueesch R, Vonderheide M. Clinical performance of all-ceramic restorations. *Curr Oral Health Rep*. 2017;4(2):112–23.
26. Awada A, Nathanson D. Mechanical properties of resin-ceramic CAD/CAM restorative materials. *J Prosthet Dent*. 2015;114(4):587–93.
27. Vichi A, Carrabba M, Paravina R, Ferrari M. Translucency of ceramic materials for CEREC CAD/CAM system. *J Esthet Restor Dent*. 2014;26(4):224-31.
28. Blatz MB, Sadan A, Kern M. Resin-ceramic bonding – a review of the literature. *J Prosthet Dent*. 2003;89(3):268–74.
29. Otto T, Mormann WH. Clinical performance of chairside CAD/CAM feldspathic ceramic posterior shoulder crowns and endocrowns up to 12 years. *Int J Comput Dent*. 2015;18(2):147–61.
30. Wiedhahn K, Kerschbaum T, Fasbinder DF. Clinical long-term results with 617 Cerec veneers: a nine-year report. *Int J Comput Dent*. 2005;8(3):233–46.
31. Otto T, Schneider D. Long-term clinical results of chairside Cerec CAD/CAM inlays and onlays: a case series. *Int J Prosthodont*. 2008;21(1):53–9.
32. Reiss B. Clinical results of Cerec inlays in a dental practice over a period of 18 years. *Int J Comput Dent*. 2006;9(1):11–2.



33. Nejatidanesh F, Amjadi M, Akouchekian M, et al. Clinical performance of CEREC AC Bluecam conservative ceramic restorations after five years—a retrospective study. *J Dent.* 2015;43(9):1076–82.
34. Guess PC, Strub JR, Steinhart N. All-ceramic partial coverage restorations –midterm results of a 5-year prospective clinical splitmouth study. *J Dent.* 2009;37(8):627–37.
35. Zhang F, Inokoshi M, Batuk M, et al. Strength, toughness and aging stability of highly-translucent Y-TZP ceramics for dental restorations. *Dent Mater.* 2016;32(12):327–37.
36. Skramstad M, DiTolla MC. Single-visit chairside zirconia. *Dent Today.* 2016;35(8):84, 86-7.
37. Blatz MB, Alvarez M, Sawyer K. How to bond to zirconia: the APC concept. *Compend Contin Educ Dent.* 2016;37(9):611–17.
38. Blatz MB, Vonderheide M, Conejo J. The effect of resin bonding on long-term success of high-strength ceramics. *J Dent Res.* 2018;97(2):132–39.
39. Kelly JR, Benetti P. Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice. *Aust Dent J.* 2011;56(1):84-96.
40. Özcan M, Bernasconi M. Adhesion to zirconia used for dental restorations: a systematic review and meta-analysis. *J Adhes Dent.* 2015;17(1):7-26.
41. Wolfart S, Harder S. Rendgenska analiza i kirurški predložak. In: Wolfart S. *Implanto-protetika koncept usmjeren na pacijenta.* Zagreb: Quintessence; 2015. p. 148-70.
42. D'Souza KM, Aras MA. Types of implant surgical guides in dentistry: a review. *J Oral Implantol.* 2012;38(5):643-52.
43. Raico Gallardo YN, Da Silva-Olivio IRT, Mukai E, Morimoto S, Sesma N, Cordaro L. Accuracy comparison of guided surgery for dental implants according to the tissue of support: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res.* 2016;28(5):602–12.
44. Spector L. Computer-aided dental implant planning. *Dent Clin North Am.* 2008;52(4):761–75.
45. Turkyilmaz I, Eskow C, Soganci G. CAD/CAM technology in implant dentistry, current concepts in dental implantology [Internet]. IntechOpen; 2015 Feb [cited 2019 Oct 20]. Available from: <https://www.intechopen.com/books/current-concepts-in-dental-implantology/cad-cam-technology-in-implant-dentistry>.
46. Oh TJ, Shotwell J, Billy E, Byun HY, Wang HL. Flapless implant surgery in the esthetic region: advantages and precautions. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2007;27(1):27-33.

47. Tahmaseb A, Wu V, Wismeijer D, Coucke W, Evans C. The accuracy of static computer-aided implant surgery: A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Impl Res.* 2018;29(16):416–35.
48. Pozzi A, Polizzi G, Moy PK. Guided surgery with tooth-supported templates for single missing teeth: A critical review. *Eur J Oral Implantol.* 2016;9(1):135–53.
49. Ramasamy M, Giri, Raja R, Subramonian, Karthik, Narendrakumar R. Implant surgical guides: From the past to the present. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences.* 2013;5(5):98-02.
50. Al Yafi, Camenisch B, Al-Sabbagh M. Is digital guided implant surgery accurate and reliable?. *Dent Clin North Am.* 2019;63(3):381-97.
51. Scarfe WC, Farman AG. What is cone-beam CT and how does it work? *Dent Clin North Am.* 2008;52(4):707-30.
52. Oh JH, An X, Jeong SM. Digital workflow for computer-guided implant surgery in edentulous patients: a case report. *J Oral Maxillofac Surg.* 2017;75(12):2541–9.
53. Dreiseidler T, Tandon D, Kreppel M, Neugebauer J, Mischkowski RA, Zinser MJ, et al. CBCT device dependency on the transfer accuracy from computer-aided implantology procedures. *Clin Oral Impl Res.* 2012;23(9):1089–97.
54. Vercruyssen M, Laleman I, Jacobs R, Quirynen M. Computer-supported implant planning and guided surgery: a narrative review. *Clinical Oral Implants Research.* 2015;26(12):69–76.
55. Stapleton BM, Lin WS, Ntounis A, Harris BT, Morton D. Application of digital diagnostic impression, virtual planning, and computer-guided implant surgery for a CAD/CAM-fabricated, implant-supported fixed dental prosthesis: A clinical report. *J Prosth Dent.* 2014;112(3):402–8.
56. Coachman C, Calamita MA, Coachman FG, Coachman RG, Sesma N. Facially generated and cephalometric guided 3D digital design for complete mouth implant rehabilitation: A clinical report. *J Prosth Dent.* 2017;117(5):577–86.
57. Ersoy AE, Turkyilmaz I, Ozan O, McGlumphy EA. Reliability of Implant Placement With Stereolithographic Surgical Guides Generated From Computed Tomography: Clinical Data From 94 Implants. *J Periodontol.* 2008;79(8):1339–45.
58. D'haese J, Ackhurst J, Wismeijer D, De Bruyn H, Tahmaseb A. Current state of the art of computer-guided implant surgery. *Perio 2000.* 2016;73(1):121–33.

59. Markovic A, Lazic Z, Misic T. Effect of surgical drill guide and irrigans temperature on thermal bone changes during drilling implant sites – thermographic analysis on bovine ribs. *Vojnosanit Pregl.* 2016;73(8):744–50.
60. Mora MA, Chenin DL, Arce RM. Software Tools and Surgical Guides in Dental-Implant-Guided Surgery. *Dent Clin Nor Am.* 2014;58(3):597–626.
61. Abdullah AO, Muhammed FK, Zheng B, Liu Y. An overview of computer aided design/computer aided manufacturing (CAD/CAM) in restorative dentistry. *J Dent Mater Tech.* 2018;7(1):1-10.
62. Službena stranica Sirona Dentsply [Internet]. About Dentsply Sirona; 2019 [cited 2019 Aug 18]. Available from: <https://corporate.dentsplysirona.com/en/about-dentsply-sirona/history.html>.
63. Skramstad MJ. Welcome to Cerec Primescan AC. *Int J Comput Dent.* 2019;22(1):69–78.
64. Schenk O, Fritzsche G. Cerec software goes 4.4. *Int J Comput Dent.* 2015;18(1):59-64.
65. Službena stranica Sirona [Internet]. Products; 2019 [cited 2019 Aug 18]. Available from: <http://www.sirona.es/en/products/digital-dentistry/>.
66. Oral health group [Internet]. Sirona Grows CAD/CAM Product Line with New Milling Units and Digital Impressioning Systems; 2013 [cited 2019 Aug 18]. Available from: <https://www.oralhealthgroup.com/oral-health/sirona-grows-cad-cam-product-line-with-new-milling-units-and-digital-impressioning-systems-1002387896/>.
67. Službena stranica Planmeca [Internet]. Cadcam; 2019 [cited 2019 Aug 20]. Available from: <https://www.planmeca.com/cadcam/>.
68. Službena stranica 3Shapea [Internet]. ProductsTrios; 2019 [cited 2019 Aug 23]. Available from: <http://www.3shape.com/products/trios/intraoral-scanners#myModal>.
69. Institute of digital dentistry [Internet]. Review of the intra oral scanners at ids; 2019 [cited 2019 Aug 26]. Available from: <https://instituteofdigitaldentistry.com/ids-2019/review-of-the-intra-oral-scanners-at-ids-2019/>.
70. Službena stranica IvoclarVivadent [Internet]. Dental profesional equipment;2019 [cited 2019 Sept 4]. Available from: [https://www.ivoclarvivadent.com/en/dental-professional-equipment/-/cam/programill-one?\\_hstc=15545449.ee59777b24f045ebeda9f8847db68116.1567624276790.1567624276790.1567624276790.1&\\_hssc=15545449.1.1567624276791&\\_hsfp=251715990](https://www.ivoclarvivadent.com/en/dental-professional-equipment/-/cam/programill-one?_hstc=15545449.ee59777b24f045ebeda9f8847db68116.1567624276790.1567624276790.1567624276790.1&_hssc=15545449.1.1567624276791&_hsfp=251715990).
71. Službena stranica iTero [Internet]. Products; 2019 [cited 2019 Aug 26]. Available from: [www.itero.com/en/products](http://www.itero.com/en/products).

72. Universadent [Internet]. Product; 2019 [cited 2019 Aug 26]. Available from: <https://universadent.com/product/virtuo-vivo/>.
73. Službena stranica Dentalwings [Internet]. Products clinics; 2019 [cited 2019 Aug 29]. Available from: <https://dentalwings.com/products-clinics/>.
74. Službena stranica Amanngirrbach [Internet]. Products; 2019 [cited 2019 Sep 1]. Available from: <https://www.amanngirrbach.com/en/products/production-cam/>.
75. Službena stranica Rolanddg [Internet]. Products dental; 2019 [cited 2019 Sep 1]. Available from: <https://www.rolanddg.co.uk/products/dental>.
76. Službena stranica Dental Direkt [Internet]. Produkte technologien fraesmaschinen; 2019 [cited 2019 Sep 1]. Available from: <https://www.dentaldirekt.de/de/produkte/technologien/fraesmaschinen>.
77. Bhargav A, Sanjairaj V, Rosa V, Feng LW, Fuh YHJ. Applications of additive manufacturing in dentistry: A review. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2017;106(5):2058–64.
78. Zaharia C, Gabor A, Gavrilovici A, Tudor Stan A, Idorasi L, Sinescu C et al. Digital dentistry- 3D printing applications. *J Interdiscip Med*. 2017;2(1):50-3.
79. Katkar RA, Taft RM, Grant GT. 3D volume rendering and 3D printing (additive manufacturing). *Dent Clin North Am*. 2018;62(3):393–402.
80. Alharbi N, Wismeijer D, Osman R. Additive Manufacturing Techniques in Prosthodontics: Where Do We Currently Stand? A Critical Review. *The International Journal of Prosthodontics*. 2017;30(5):474–84.
81. Taormina G, Sciancalepore C, Messori M, Bondioli F. 3D printing processes for photocurable polymeric materials: technologies, materials, and future trends. *J Appl Biomater Funct Mater*. 2018;16(3):151–60.
82. Shirazi SF, Gharekhani S, Mehrali M, Yarmand H, Metselaar HS, Adib Kadri N, Osman NA. A review on powder-based additive manufacturing for tissue engineering: selective laser sintering and inkjet 3D printing. *Sci Technol Adv Mater*. 2015;16(3):033502.
83. Khaing MW, Fuh JY, Lu L. Direct metal laser sintering for rapid tooling: processing and characterization of EOS parts. *J Mat Proc Tech*. 2001;113(1-3):269-72.
84. Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *Brit Dent J*. 2015;219(11):521–9.
85. Avneet Y, Kushaldeep, Viram U. Additive prototyping in dentistry- 3D printing and selective laser sintering. *J Dental Sci*. 2018;3(2):1-6.

86. Abarna J, Maragathavalli G. Applications of 3D printing in dentistry – areview. *J Pharm Sci Res.* 2019;11(5):1670-5.
87. Liwei L, Yingfeng F, Yuxuan L, Gang C, Chunxia G, Peizhi Z. 3D printing and digital processing techniques in dentistry: areview of literature. *Adv Eng Mater.* 2019;21(6). doi: 10.1002/adem.201801013.
88. Tappa K, Jammalamadaka U. Novel Biomaterials Used in Medical 3D Printing Techniques. *J Funct Biomater.* 2018;9(1):17.
89. Barazanchi A, Li KC, Al-Amleh B, Lyons K, Waddell JN. Additive technology: update on current materials and applications in dentistry. *J Prosthodont.* 2017;26(2):156-63.
90. Turbush SK, Turkyilmaz I. Accuracy of three different types of stereolithographic surgical guide in implant placement: an in vitro study. *J Prosthet Dent* 2012;108(3):181–8.
91. Mangano FG, De Franco M, Caprioglio A, et al. Immediate, non-submerged, rootanalogue direct laser metal sintering (DLMS) implants: a 1-year prospective study on 15 patients. *Lasers Med Sci.* 2014;29(4):1321–8.
92. Inokoshi M, Kanazawa M, Minakuchi S. Evaluation of a complete denture trial method applying rapid prototyping. *Dent Mater J.* 2012;31(1):40-6.
93. Jeong YG, Lee WS, Lee KB. Accuracy evaluation of dental models manufactured by CAD/CAM milling method and 3D printing method. *J Adv Prosthodont.* 2018;10(3):245-51.
94. Arora A, Yadav A, Upadhyaya V, Jain P, Verma M. Comparison of marginal and internal adaptation of copings fabricated from three different fabrication techniques: An in vitro study. *J Indian Prosthodont Soc.* 2018;18(2):102-7.
95. Wang W, Yu H, Liu Y, Jiang X, Gao B. Trueness analysis of zirconia crowns fabricated with 3-dimensional printing. *J Prosthet Dent.* 2019;121(2):285-91.
96. Revilla-Leon M, Ozcan M. Additive manufacturing technologies used for processing polymers: current status and potential application in prosthetic dentistry. *J Prosthodont.* 2019;28(2):146-58.
97. Aniwaa [Internet]. 3d scanning and 3d printing for the dental industry; 2019 [cited 2019 Nov 10]. Available from: [https://www.aniwaa.com/3d-scanning-and-3d-printing-for-the-dental-industry/#The\\_best\\_dental\\_3D\\_printers\\_for\\_dental\\_labs\\_and\\_dentists](https://www.aniwaa.com/3d-scanning-and-3d-printing-for-the-dental-industry/#The_best_dental_3D_printers_for_dental_labs_and_dentists).
98. Službena stranica Formlabs [Internet]. 3d printers; 2019 [cited 2019 Nov 10]. Available from: <https://formlabs.com/3d-printers/form-3/>.
99. Službena stranica Asiga [Internet]. Products; 2019 [cited 2019 Nov 10]. Available from: [https://www.asiga.com/products/printers/max\\_series/max/](https://www.asiga.com/products/printers/max_series/max/).

100. Službena stranica Dws systems [Internet]. 3D printers; 2019 [cited 2019 Nov 14]. Available from: <https://www.dwssystems.com/3d-printers/dental-lab-clinic/>.
101. Aniwaa [Internet]. Best of 3d printers; 2019 [cited 2019 Nov 16]. Available from: <https://www.aniwaa.com/best-of/3d-printers/best-metal-3d-printer/>.
102. Aniwaa [Internet]. Best peek 3d printer; 2019 [cited 2019 Nov 16]. Available from: [https://www.aniwaa.com/best-peek-3d-printer-peiuitem/#Overview of PEEK and PEI 3D printers](https://www.aniwaa.com/best-peek-3d-printer-peiuitem/#Overview_of_PEEK_and_PEI_3D_printers).
103. Yau HT, Yang TJ, Lin YK. Comparison of 3-D printing and 5-axis milling for the production of dental e-models from intra-orals. Computer-aided design and applications. 2015;13(1):32–8.

## **7. ŽIVOTOPIS**

Aleksandra Dubrović rođena je 22.05.1986. godine u Rijeci. Nakon završene srednje Medicinske škole u Rijeci, 2004. godine upisuje studij Dentalne medicine na Medicinskom fakultetu u Rijeci. Diplomirala je 2010. godine. Pripravnički staž obavlja u Domu zdravlja Primorsko-goranske županije do 2011. godine te odmah nakon položenog državnog stručnog ispita zapošljava se u privatnoj ordinaciji dentalne medicine. Svoju privatnu praksu dentalne medicine otvara 2015. godine. Poslijediplomski specijalistički studij Dentalne implantologije na Stomatološkom fakultetu u Zagrebu upisuje 2017. godine.