

# Povratno inženjerstvo

---

**Mušura, Mario**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:309948>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-11**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODIJEL  
*Stručni studij Strojарstva*

Mario Mušura  
**POVRATNO INŽENJERSTVO**

Završni rad

Karlovac, 2015.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODIJEL  
*Stručni studij Strojarsva*

Mario Mušura  
**POVRATNO INŽENJERSTVO**  
Završni rad

Mag.ing.stroj. Josip Groš

Karlovac, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu, te stručnu pomoć mentora Josipa Groša mag.ing.stroj. Kojem se zahvaljujem na povjerenju i pomoći kako bi ovaj rad stručno obradio.

Mario Mušura



## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni studij: Strojarska

Usmjerenje: Strojarske konstrukcije

Karlovac, 26.03.2015

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: **Mario Mušura**

Matični broj: 0110612113

**Naslov: POVRATNO INŽENJERSTVO**

Opis zadatka:

Suvremeni razvoj strojeva i metoda digitalizacije nije usko vezan samo na područje Strojarska. Veliku primjenu pronalazi u medicini gdje se sve više koriste mjerne metode (CT) za postavljanje dijagnoze a strojevi polako ulaze u sferu operatera. U dentalnoj medicini trodimenzionalni optički skeneri pronašli su svoju primjenu u digitalizaciji otisaka zubiju. Nakon digitalizacije provodi se obrada podataka gdje zubni tehničar u programskom paketu radi izmjene te nakon toga stl modele šalje na CNC stroj koji izrađuje nove zube u keramici.

Student treba u radu objasniti:

- Objasniti pojam Povratnog inženjerstva
- Faze povratnog inženjerstva
- Glodanje gotovih modela na CNC glodalici

Koristiti odgovarajuću dostupnu literaturu, priručnike i podatke.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

12.02.2015

14.04.2015

21.04.2015

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Josip Groš mag.ing.stroj.

Marijan Brozović dipl.ing.stroj.

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	II
SAŽETAK.....	III
1. UVOD.....	1
2. POVRATNO INŽENJERSTVO .....	2
2.1. Primjena povratnog inženjerstva.....	5
3. PROCES POVRATNOG INŽENJERSTVA .....	7
3.1. 3D skeniranje .....	7
3.1.1. Vrste skenera.....	8
3.1.2. Prednosti i nedostaci 3D skeniranja .....	10
3.1.3. Procesuiranje točaka .....	11
3.2. Izrada CAD modela .....	13
3.3. CAM izrada.....	16
4. GLODANJE .....	18
4.1. Vrste glodala .....	18
4.2. Podjela glodanja .....	19
5. POVRATNO INŽENJERSTVO U DENTALNOJ PROTETICI.....	22
5.1. Ukratko o tvrtki Zirkonzahn .....	22
5.2. Optički otisak .....	23
5.3. Skener.....	25
5.4. Glodalica M5.....	28
5.5. Prednosti CAD/CAM sustava .....	30
6. ZAKLJUČAK.....	32
PRILOZI.....	33
LITERATURA.....	34

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Proces povratnog inženjerstva [1].....	3
Slika 2.	NURBS model automobila.....	4
Slika 3.	Prijenos podataka u IGES formatu.....	4
Slika 4.	Primjer povratnog inženjerstva u Mercedes Benzu [6].....	6
Slika 5.	Optički trodimenzionalni skener [6].....	9
Slika 6.	Oblak točaka.....	11
Slika 7.	Oblak točaka pretvoren u poligonalni model sastavljen od trokuta (STL).....	12
Slika 8.	CAD proces.....	14
Slika 9.	Prikaz poprečnih presjeka u izradi CAD model.....	15
Slika 10.	Poligonalni prikaz u izradi CAD modela.....	16
Slika 11.	CAD/Computer Aided Manufacturing.....	17
Slika 12.	Obodno ravno glodanje-protusmjerno [18].....	20
Slika 13.	Obodno ravno glodanje-istosmjerno.....	20
Slika 14.	Čeono ravno glodanje (simetrično, asimetrično) [18].....	21
Slika 15.	CAD/CAM sustav tvrtke Zirkonzahn.....	23
Slika 16.	3D intraoralna kamera.....	24
Slika 17.	Optički otisak.....	24
Slika 18.	Skeniranje gornje čeljusti.....	25
Slika 19.	Prikaz skenirane gornje čeljusti.....	25
Slika 20.	SCANNER S600 ARTI.....	26
Slika 21.	Program za skeniranje i proces skeniranja.....	26
Slika 22.	Virtualni otisak dobiven digitalizacijom otiska (negativa) pomoću SCANNER S600 ARTI.....	27
Slika 23.	Projekcija linija na odljevak putem 3D digitalizacije SCANNER S600 ARTI....	27
Slika 24.	Projektor i kamere SCANNER S600 ARTI.....	27
Slika 25.	Cirkonski blok u CAD/CAM obradi.....	28
Slika 26.	Glodalica M5.....	29
Slika 27.	Grubo glodanje i fino glodanje.....	29
Slika 28.	Prikaz sinteriranog rada na radnom modelu.....	30

## SAŽETAK

Tema diplomskog rada je „Povratno inženjerstvo“. Obrada zadatka bavi se problematikom procesa povratnog inženjerstva, te uporabom CAD/CAM sustava u cilju pojednostavljenja procesa i vremena programiranja, te same izrade. Za izradu rada odabran je CAD/CAM sustav tvrtke ZIRKONZAHN sa sjedištem u Gaisu, Južni Tirol koja se bavi proizvodnjom dentalnih CAD/CAM sustava za proizvodnju keramičkih krunica, inlaya, onlaya i ljuskica.

Uvodni dio rada obuhvaća opis pojma povratnog inženjerstva, njegovu primjenu. U daljnjoj obradi prikazan je proces povratnog inženjerstva, djelovi procesa i integracija povratnog inženjerstva s naprednim tehnologijama. U nastavku je objašnjena primjena CAD/CAM sustava u dentalnoj medicini, te proces povratnog inženjerstva kroz primjer dentalnog CAD/CAM sustava tvrtke Zirkozahn. Završni dio rada donosi zaključak o prednostima koje donosi CAD/CAM tehnologija u izradi zubnih nadomjestaka.

## SUMMARY

The topic of the thesis is reverse engineering. It deals with the very process of reverse engineering, with the use of CAD/CAM system for the purpose of simplifying the process and time of programming, as well as with the manufacturing itself. The case study has been conducted on the CAD/CAM system of the Zirkozahn company based in Gais, South Tyrol, which manufactures dental CAD/CAM systems for the production of ceramic dental crowns, inlays, onlays and shellacs.

The first part of the thesis describes the notion of reverse engineering and its application. The following section treats the process of reverse engineering, the components of the process, and the integration of reverse engineering with high technologies. The application of CAD/CAM system in dental medicine is looked into next, as well as the process of reverse engineering on the example of dental CAD/CAM system of the Zirkozahn company. The final section offers conclusions concerning the advantages offered by the CAD/CAM technology in producing dental replacements.



## **1. UVOD**

U današnjem izrazito konkurentnom globalnom tržištu kompanije konstantno traže nove načine koji bi skratili vrijeme razvoja novih proizvoda i ispunili sva očekivanja kupaca. Tako se razvoj novih proizvoda temelji na već postojećim proizvodima ili fizičkim modelima koji se rekonstruiraju u nekom od CAD sustava kako bi se dobio kompjuterski model prikladan za daljnje projektiranje, izradu i pripremu proizvodnje [1].

Postupak rekonstrukcije gotovog proizvoda u oblik iz kojeg se mogu ponovno proizvesti novi proizvodi temeljeni na postojećim naziva se povratno inženjerstvo (eng. reverse engineering).

Danas kompanije na sve dinamičnijem i konkurentnijem tržištu sve više ulažu u nove tehnologije CAD/CAM , rapid prototyping koje im pružaju niz prednosti. Sve to dovodi do toga da povratno inženjerstvo postane jedan od najpopularnijih procesa koji se brzo razvija i postaje neizbježan alat. Povratno inženjerstvo se smatra procesom koji pruža poslovne prednosti u skraćivanju ciklusa razvoja proizvoda za nekoliko dana.

## 2. POVRATNO INŽENJERSTVO

Intezivnim razvojem novih tehnologija sam pojam povratnog inženjerstva dobio je na značenju. Pojam se može susresti u različitim inženjerskim područjima, od kojih svako ima svoje specifičnosti.

Ipak, moguće je dodati jednu općenitu definiciju povratnog inženjerstva bez obzira o kojem području da se radi:

Povratno inženjerstvo je proces rekonstrukcije gotovog proizvoda u oblik iz kojeg se može ponovno proizvesti novi proizvod temeljen na postojećem. Ovaj proces služi za bolje razumjevanje objekata zbog dizajniranja novog predmeta iste funkcije, samo bez kopiranja originalnih dijelova [4].

Inženjerstvo je proces dizajniranja, proizvodnje, montaže i održavanja proizvoda i sistema. Tako imamo dvije vrste inženjerstva:

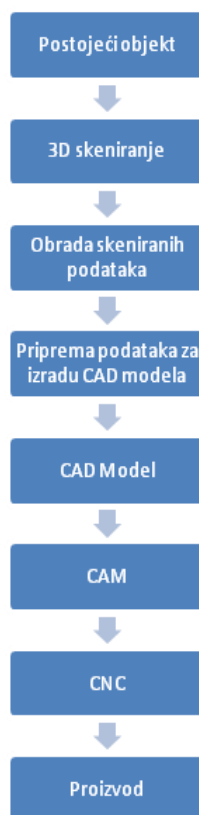
a) inženjerstvo unaprijed

Inženjerstvo „unaprijed“ je tradicionalan postupak kod kojeg iz višeg nivoa apstrakcije prelazimo na niže slojeve projektiranja i izvođenja. Ovakvom inženjerstvu je dodan opis „unaprijed“ samo da bi ga se moglo kao tradicionalni pristup razlikovati od novijeg pristupa, a to je povratno inženjerstvo. U nekim situacijama može postojati fizički dio bez ikakvih tehničkih pojedinosti: crteža, liste dijelova i komponenti koji se potrebni za izradu proizvoda. Proces povratnog inženjerstva poznat kao proces duplikacije postojećeg dijela, sklopa ili proizvoda, bez pomoći tehničke dokumentacije. Na temelju iznesenog povratno inženjerstvo definiramo kao proces dobivanja CAD modela iz oblaka točaka, skeniranjem postojećeg proizvoda [6].

b) povratno inženjerstvo

Povratno inženjerstvo (eng. Reverse Engineering- Computer Aided Desing) označava dio procesa povratnog inženjerstva do stvaranja CAD modela [5]. Razvojem kompjutorski podpomognutog dizajna (CAD) povratno inženjerstvo postaje prihvatljiva metoda za izradu 3D virtualnih modela postojećih fizičkih predmeta za daljnje korištenje u 3D CAD-u i ostalim programskim paketima [6].

Proces povratnog inženjerstva uključuje mjerenje oblika predmeta, rekonstruiranje njegovog 3D modela. Slika 1. prikazuje dijagram tijeka procesa povratnog inženjerstva.



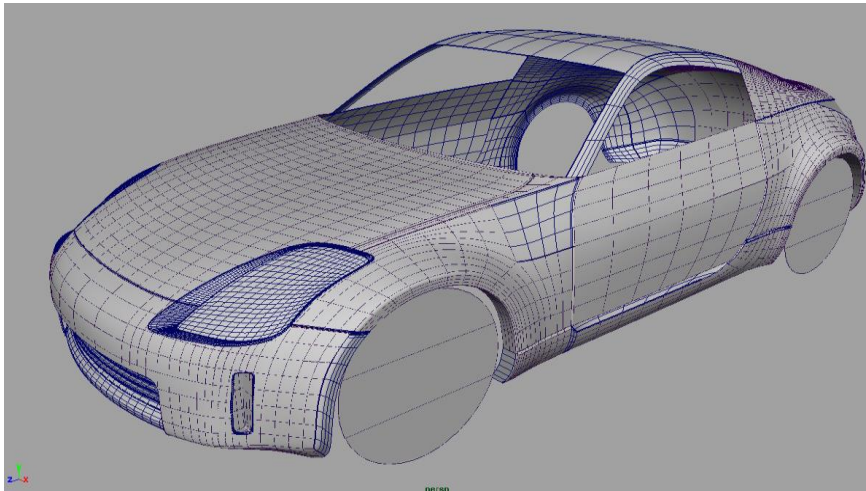
**Slika 1. Proces povratnog inženjerstva [1]**

Objekat se mjeri pomoću 3D sustava za digitalizaciju ZIRKONZAHN, dobiveni podaci se zatim obrađuju kako bi se dobila detaljna poligonizirana mreža koja detaljno opisuje digitalizirani predmet. Rezultat optičke digitalizacije je oblak točaka u prostoru. Daljnom obradom podataka u programskom paketu za rekonstrukciju CAD modela ZIRKONZAHN dobivaju se:

a) površinski (NURBS)

NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline) je matematički model za generiranje i prikaz krivulja i površina koje koriste današnji 3D računalni programi za prikaz i manipulaciju objektima. NURBS 3D modele prikazuje pomoću krivulja i površina. Rezultat je glatka površina bez nazubljenosti rubova neovisno o veličini monitora ili rezoluciji. Geometrija NURBS-a bazira se na Bazierovoj krivulji koju program

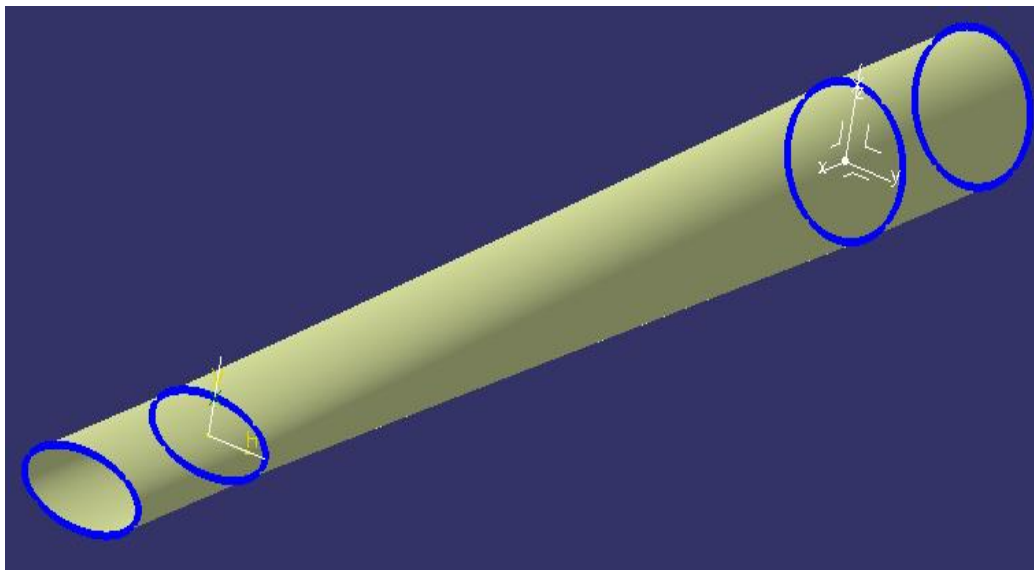
automatski iscrtava između kontrolnih vrhova. Svaka krivulja ima početak, kraj i zakrivljenost. Slika 2. prikazuje NURBS model automobila.



**Slika 2. NURBS model automobila**

b) volumenski modeli (STEP IGES)

STEP i IGES su neutralni formati podataka koji dozvoljavaju prijenos podataka između različitih CAD softvera. Slika 3 prikazuje prijenos podataka u IGES formatu.



**Slika 3. Prijenos podataka u IGES formatu**

Jedno od pitanja koje se nameće na samom početku rekonstrukcije CAD modela objekta je da li se želi dobiti model koji u potpunosti opisuje fizički objekt ili CAD model koji će reflektirati originalnu zamisao njegovog dizajna.

## 2.1. Primjena povratnog inženjerstva

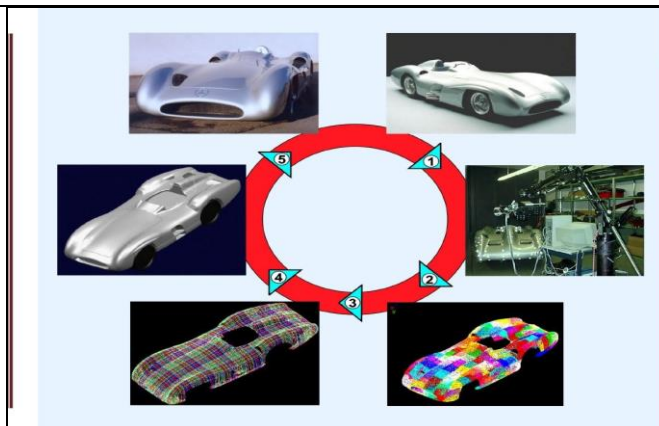
Ne postoji niti jedan aspekt današnjeg života u koji nije uključen rad inženjera. Napravljene zgrade, oprema koja se koristi, vozila koja se voze direktni su proizvodi inženjerskih aktivnosti. Inženjerstvo i proizvodnja zajedno predstavljaju najveću ekonomsku aktivnost većine zemalja.

Tehnika povratnog inženjerstva danas se primjenjuje u različitim granama proizvodnje, ekonomiji, organizaciji, softverskom inženjeringu, zabavnoj industriji, kemijskoj, elektronskoj i strojarскоj industriji. Povratno inženjerstvo, u sprezi s ostalim tehnikama i tehnologijama, doprinosi smanjenju troškova i skraćanju vremena potrebnom da proizvod izađe na tržište.

U strojarstvu, povratno inženjerstvo provodi se iz nekih od razloga [7]:

- Dizajn ili redizajn postojećih dijelova, posebno ako se radi o složenim površinama,
- Neadekvatna, nepotpuna ili izgubljena tehnička dokumentacija o proizvodu,
- Originalni proizvođač više ne proizvodi, ne želi ili nije sposoban proizvesti određeni proizvod, odnosno zahtijeva visoke cijene za pojedinačne proizvode,
- Postojeći CAD model nije pogodan za modifikacije i primjenu aktualnih proizvodnih procesa,
- Potreba za redizajniranjem proizvoda radi otklanjanja loših karakteristika proizvoda odnosno pojačanja dobrih karakteristika proizvoda temeljenih na iskustvu iz dugoročne primjene,
- Ažuriranja zastarjelih materijala ili zastarjelih proizvodnih procesa sa modernijom opremom i jeftinijim tehnologijama,
- Analiziranja dobrih i loših karakteristika konkurentskog proizvoda i istraživanja novih načina za poboljšanje performansi i karakteristika proizvoda,
- Usvajanja metoda za testiranje (ispitivanje) proizvoda u cilju razumijevanja konkurentskih proizvoda i razvoja boljih proizvoda.

Slika 4 prikazuje primjer povratnog inženjerstva u Mercedes Benz.



Slika 4. Primjer povratnog inženjerstva u Mercedes Benzu [6]

Povratno inženjerstvo se u kombinaciji sa brзом izradom prototipova (RP – engl. Rapid Prototyping) primjenjuje kod:

- Projektiranja i vizualizacije sklopova,
- Rekonstruktivnoj i ortopedskoj kirurgiji, stvaranju protetičkih i ortopedskih pomagala (proizvodnja implantata i pomagala točno prema potrebi svake osobe), medicinska vizualizacija (fizički model pomaže liječnicima da bolje razumiju i vizualiziraju problem radi pronalaženja rješenja, kao i da ih lakše objasne pacijentima)
- Ugradnje modifikacija zahtjevnih na nivou prodaje (od strane kupca) direktno u kompjuterski model.
- Izrade jedinstvenih tekstura na kompleksnim geometrijama (3D štampa sa mogućnošću izrade makro-teksture na složenim površinama).
- Realizacije 3D faksova,
- Kreiranja računalnih modela za grafičku, filmsku i industriju zabave.

### 3. PROCES POVRATNOG INŽENJERSTVA

Povratno inženjerstvo, odnosno Reverse Engineering je proces koji se sastoji od dva osnovna koraka:

1. digitalizacije (skeniranja) fizičkog dijela
2. 3D modeliranja dijela na osnovu podataka dobivenih digitalizacijom.

Kada se dobiju površine iz digitaliziranih podataka, modelom se dalje može manipulirati uz pomoć uobičajenih CAD/CAM aplikacija. Naposljetku modele se može proizvesti Rapid Prototypingom ili CNC strojnom obradom.

Sama strategija povratnog inženjerstva mora uzeti u obzir:

- razloge za primjenu tehnike povratnog inženjerstva na nekom dijelu,
- broj dijelova koji će biti skenirani,
- složenost dijela koji se skenira i njegova veličina,
- materijal, te
- potrebnu točnost.

#### 3.1. 3D skeniranje

Razvojem kompjutorski potpomognutog dizajana (CAD) povratno inženjerstvo postalo je prihvatljiva metoda za izradu 3D virtuelnih modela postojećih fizičkih predmeta (objekata) za daljnje korištenje u 3D CAD, CAM, CAE, te ostalim programskim paketima. Sam proces povratnog inženjerstva u prvoj fazi uključuje mjerenje objekta, skeniranje dok u drugoj fazi slijedi izrada 3D CAD modela.

Trodimenzionalna digitalizacija objekta, često se naziva i 3D digitalizacijom. 3D je termin koji se odnosi na stvaranje digitalnih modela stvarnih objekata. Može se reći da je 3D digitalizacija proces prikupljanja podataka s trodimenzionalnog objekta i njihovo predstavljanje u kompjuterski razumljivom obliku.

Trodimenzionalna digitalizacija objekta je proces registriranja i obrade točaka sa površine objekta, te rekonstruiranje njihovih prostornih koordinata u računalu s ciljem dobivanja računalne kopije površine objekta [8].

Uređaj kojim se provodi digitalizacija naziva se digitalizator (3D skener). To je uređaj koji analizira neki stvarni predmet ili okoliš u svrhu skupljanja podataka o obliku i izgledu istog.

Skupljeni podaci kasnije se mogu koristiti za stvaranje 3D modela. 3D skener stvara oblak točaka geometrijskog uzorka na površini predmeta. Te točke mogu se koristiti za ekstrapoliranje oblika skeniranog predmeta (proces rekonstrukcije). 3D skeneri vrlo su slični kamerama, kao i kamere imaju vidno polje oblika stošca, te mogu skupljati podatke samo o površinama koje su vidljive. Kamera prikuplja boje na površinama predmeta unutar vidnog polja, dok skeneri prikupljaju informacije o udaljenosti površina unutar vidnog polja. U većini slučajeva jedno skeniranje nije dovoljno za stvaranje kompletnog modela predmeta. Potrebno je nekoliko skeniranja, da bi se dobile informacije o nekom predmetu. Na kraju se sva skeniranja moraju dovesti u zajednički referentni sustav, taj proces se zove poravnavanje ili registracija, te daje cijeloviti model [9].

Uređaji za skeniranje su dostupni kao namjenski uređaji ili kao dodatak postojećem CNC stroju. Danas u primjeni imamo razne vrste trodimenzionalnih skenera, ovisno o primjeni 3D tehnologije digitalizacije postoje aktivne i pasivne metode. Laserski skeneri danas su jedna od zanačajnijih grupa. Oni odašilju lasersku zraku prema površini objekta. Zraka se odbija i vraća do skenera koji ovisno o vremenu putovanja zrake računa položaj točke na površini objekta. Primjena lasera je aktivna metoda, jer dolazi do interakcije s objektom koji se digitalizira. Neke od interakcija s objektom osim lasera su : strukturirano svjetlo i kontakt s objektom (ticalo). Pasivne metode nemaju interakciju sa objektom i uglavnom se koriste u istraživanjima vizualizacije u informatici, gdje se oblik predmeta dobiva na temelju jedne ili više digitalnih slika.

### **3.1.1. Vrste skenera**

Pri rekonstrukciji geometrijskih formi i oblika 3D skeneri su od vitalne važnosti. 3D skeneri su se razvijali kroz nekoliko generacija. Postoje dvije vrste skenera [10]:

- Kontaktni skeneri
- Optički trodimenzionalni skener

Različite tehnologije ne kontaktnog skeniranja koje su dostupne na tržištu prikupljaju podatke bez fizičkog kontakta sa dijelom koji se skenira. Ne kontaktni uređaji koriste lasere, optiku i CCD (eng. charge-coupled device) senzore kako bi prikupili potrebne podatke. Na Slici 5. prikazan je optički trodimenzionalni skener.





**Slika 5. Optički trodimenzionalni skener [6]**

Ne kontaktni 3D skeneri prikupljaju velike količine podataka u relativno kratkom vremenskom razdoblju, tako da se javljaju i problemi vezani za ovu vrstu tehnologije skeniranja a odnose se na:

- Ne kontaktni skeneri imaju problem kod prikupljanja podataka sa površina koje su paralelne osi lasera
- Ne kontaktni skeneri koriste svjetlost u procesu prikupljanja podataka, te što stvara probleme kad svjetlost pada na sjajne površine, zbog čega površine treba premazati prahom prije skeniranja
- Tolerancija ne kontaktnog skeniranja je između  $\pm 0,02$  do  $0,2$  (mm)

Kod ne kontaktnih digitalizatora, najzastupljeniji princip rada je digitalizacija uz korištenje kamere i strukturiranog svjetla. Strukturirano svjetlo dobiva se korištenjem laserskog linijskog modula ili projekcijom strukturiranog svjetlosnog obrasca na površinu snimanog objekta. Uz poznate parametre kamere, vrši se računalna rekonstrukcija površine, koja kao početni rezultat daje oblak točaka, a predstavlja geometrijske uzorke promatrane površine. Točke se zatim matematički obrađuju koristeći triangulaciju, čime točke bivaju povezane u trokute, a rezultat navedenog je površina pogodna za vizualizaciju i daljnju obradu.

Kontaktni skeneri su uređaji koji koriste kontaktne sonde koje slijede konturu neke površine, odnosno ispituju objekt kroz fizički dodir. Ove sonde su bazirane na CMM (eng. coordinate measuring machine) tehnologiji. Uglavnom se koristi u proizvodnji i može biti vrlo precizna. Nedostatak CMM-a je taj da zahtjeva kontakt sa objektom koji se skenira. Znači da kod skeniranja objekt možemo oštetiti ili izmjeniti. Slučaj je češći pri skeniranju osjetljivih i vrijednih predmeta. Drugi nedostatak CMM-a je sporost u odnosu na druge metode skeniranja. Najbrži CMM stroj može raditi na nekoliko stotina herca, dok laserski skeneri, odnosno optički sistemi mogu raditi na 10 do 500 kHz [11].

Kontaktni skener radi na principu da snima predmet pomoću dodira. Mora se dodirivati površina predmeta za svaku trodimenzionalnu točku koja se želi skenirati. Ovi uređaji imaju armaturnu „ruku“ koja je pričvršćena za postolje, a na kraju se nalazi sonda. Zglobni sistem omogućuje dodirnoj sondi slobodno kretanje u prostoru. Spojevi na sondinoj armaturi su povezani sa potenciometrima koji vrše očitavanja u specifičnim točkama. Kada se izmjere točke, može se konstruirati mreža iz čvorova. CMM je uređaj za mjerenje (snimanje) kordinata i primjer je takvog 3D skenera.

### **3.1.2. Prednosti i nedostaci 3D skeniranja**

Proces dobivanja probnog uzorka započinje 3D skeniranjem, preuzimanjem fizičkih svojstava objekta. Za 3D skeniranje koriste se ne kontaktne optičke metode, dok najbolje rezultate daju laserski skeneri. Skeniranjem se prikupljaju podaci u obliku „oblaka točaka“, o cjelokupnoj površini nekog objekta. Nizom programskih alata obrađuju se točkice, poligoni i plohe, kako bi se dobila površina 3D modela, koja u potpunosti odgovara originalnom objektu. Može se reći da rezultati skeniranja ovise o više parametara, te se razlikuju od relativno jednostavnih do vrlo složenih oblika, predmeta skeniranja. Vrijeme, trošak i nivo potrebne komunikacije raste zajedno sa potrebitim rezultatima. Iz ovih razloga važno je napomenuti prednosti i nedostatke 3D skeniranja [12].

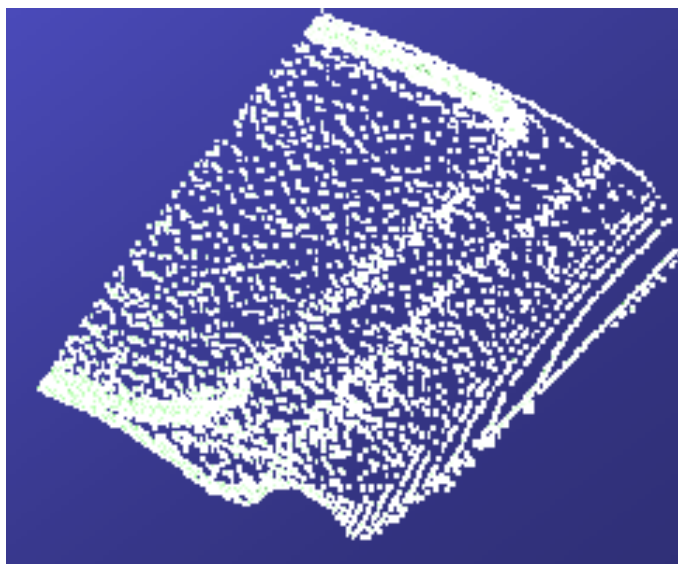
Prednosti 3D skeniranja:

- Povećava efektivnost rada sa zahtjevnim dijelovima i oblicima.
- Kod starijih CAD modela, 3D skeniranje omogućuje novu verziju
- Pomaže u dizajniranju proizvoda za prilagođavanje nekom drugom dijelu, ali i zamjenu starih dijelova ili dijelova koji nedostaju.
- Nedostaci 3D skeniranja:
- Skenirani model je površinski
- Površine koje su zaklonjene teško je ili nemoguće skenirati
- Glatki i sjajni objekti se ne mogu skenirati i zahtjevaju matiranje površine prahom ili sprejem
- 3D skeneri sa projekcijom linija traže zamračen prostor.

### 3.1.3. Procesuiranje točaka

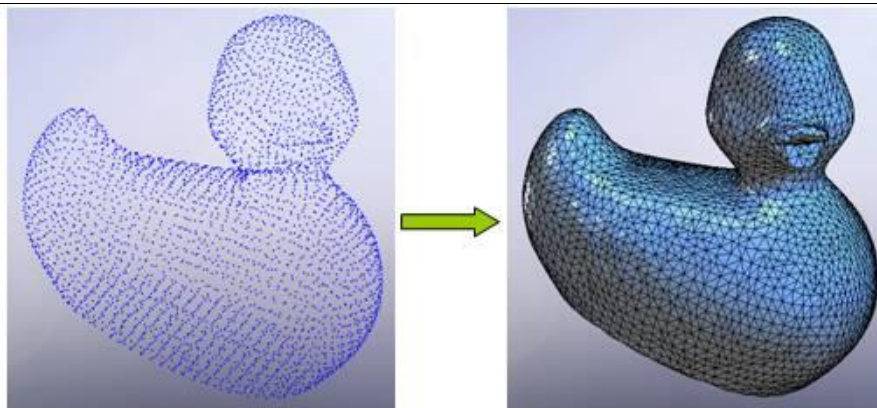
Prva faza procesa povratnog inženjerstva je 3D digitalizacija, u okviru koje se vrši prikupljanje podataka o koordinatnim točkama sa površina objekta i njihovo prevođenje u digitalni oblik. 3D skeniranje je važna faza u samom procesu povratnog inženjerstva, s obzirom da, u najvećem broju slučajeva određuje kvalitetu rezultata CAD modela.

Rezultat 3D digitalizacije je skup točaka, koji se često u literaturi, zbog oblaka koji zauzima u prostoru naziva i „oblak točaka“. Te točke se softverski povezuju u površine i tako nastaje „Facet“, geometrijsko tijelo zatvoreno velikim brojem ravnih površina. Faza obrade točaka uključuje uvođenje oblaka točaka, smanjenje šuma, odnosno grešaka mjerenja i reduciranje prevelikog broja točaka. Ova faza omogućuje spajanje više dijelova skeniranih podataka. Ponekad je potrebno više puta skenirati određeni predmet kako bi bili sigurni da su skenirane sve osobine. Uključuje rotiranje dijela, a svaki skenirani podatak postaje vrlo bitan, što utječe na fazu obrade točaka. Sam tijek obrade točaka polazi iz oblaka točaka koje prikuplja skener.



**Slika 6. Oblak točaka**

Na slici 6 prikazan je oblak točaka (eng. point cloud) koji se sastoji od seta točaka postavljenih unutar trodimenzionalnog koordinatnog sustava. Te se točke dobivaju 3D skeniranjem i koriste se u strojarstvu, geodeziji i povratnom inženjerstvu. Ovisno o mogućnosti lasera i željene brzine oblaci točaka mogu biti različite gustoće. Po potrebi oblak točaka se može automatiziranim procesom pretvoriti u poligonalni model, a iz poligonalnog modela u NURBS krivulje ili solid model, koji će biti naveden u nastavku rada.



**Slika 7. Oblak točaka pretvoren u poligonalni model sastavljen od trokuta (STL)**

Pošto se model skenira sa nekoliko strana, više neovisnih skenova mora se spojiti u cijelinu, odnosno jednu veću površinu. Kod obrade točaka omogućeno je automatsko uklanjanje skeniranih dijelova koji se preklapaju i svih točaka koje odstupaju od ostalih točaka. Do odstupanja pojedinih točaka dolazi zbog vrste i kvalitete površine (odbljesci, vrsta osvjetljenja) koja se skenira.

Prema nekim istraživanjima 90% vremena u procesu povatnog inženjerstva otpada na fazu obrade površinskog modela, a djelomična i potpuna automatizacija ove faze značajno bi doprinjela povećanju produktivnosti procesa povratnog inženjerstva.

Podfaze obrade točaka su : filtriranje grešaka i reduciranje točaka. S obzirom da je svako realno mjerenje praćeno greškama, prisustvo šuma, odnosno grešaka koje se javljaju, predstavlja neizbježnu prepreku koja značajno može pokvariti točnost rekonstrukcije objekta. Greške mjerenja se mogu podijeliti na slučajne i sistemske. Slučajne greške su posljedica određenih poremećaja u sistemu mjerenja, te se njihova pojava ne može objasniti određenim pravilima. Za razliku od njih sistemske greške se događaju po nekim pravilima i njihov uzrok se može uvijek otkriti , a mogu se promatrati kao posljedica primjene tehnologije (osjetljivost skenera), osobina objekta (hrapavost površine, odsjaj, mekoća materijala), uvjeti okoline (temperatura, vlažnost, vibracija, buka) ili osobe koja mjeri. Slučajne greške se očituju u tzv. točkama izvan opsega (eng. outliers), odnosno impulsnom šumu, dok su sistemske vezane za pojavu pikova (eng. spikes) koji su uzrok problema neuglačanosti obradivih površina.

Problem velikog broja točaka proizlazi iz činjenice da se tokom faze skeniranja objekta, prikupi velika količina točaka, što je posebno karakteristično za lasersko skeniranje. Činjenica je da zahtjevnija površina objekta zahtjeva i veći broj točaka za rekonstrukciju. Međutim velika količina podataka može negativno utjecati na sam proces obrade podataka koji slijedi,

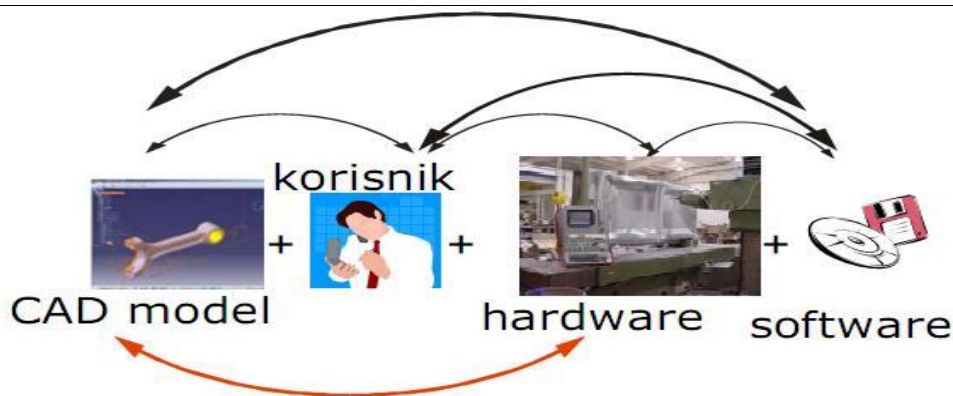
što usporava proces. Drugim riječima CAD sistemi, u nekim slučajevima nisu sposobni da obrade ogromnu količinu točaka dobivenih skeniranjem. Problem obrade velike količine skeniranih podataka je jedna od osnovnih prepreka za automatizaciju povratnog inženjerstva, uz neophodnosti ručne digitalizacije dijelova koji imaju kompliciranu geometriju. U skladu s time neophodno je podatke obraditi prije prosljeđivanja u neki od softvera za rekonstrukciju površina.

Prikaz modela moguć je i trianguliranom površinom. Triangulacija je postupak pretvaranja oblaka točaka u površinu. Broj trokuta je proporcionalan broju skeniranih točaka, odnosno rezoluciji skenera. Tako dobiven model potrebno je obraditi kako bi se popravila površina modela.

Da bi se došlo do kvalitetnog modela potrebna je obrada poligona od kojih se sastoji površina. Na razini poligona softver dozvoljava krpanje rupa, poravnavanje bridova, te zaglađivanje dijelova površine. Ovaj dio završne obrade ima zapis u STL formatu. Ovaj se zapis često koristi pri radu u rapid prototyping sustavima ili za potrebe vizualizacije objekta. Modeli zapisani u STL formatu sadrže podatke o geometriji.

### **3.2. Izrada CAD modela**

CAD (Computer Aided Desing) tehnologija je orijentirana uporabi računala pri kreiranju, promjeni, analizi i optimizaciji konstrukcija. To je tehnologija koja koristi računalne sustave za pomoć u stvaranju, mijenjanju i optimizaciji dizajna. Po ovoj definiciji svaki računalni program sa računalnom grafikom ili program koji sadrži inženjerske funkcije potrebne za proces dizajniranja može biti označen kao CAD softwer. Proces povratnog inženjerstva zahtjeva izradu CAD modela tj. virtualnog prototipa proizvoda, a obuhvaća 3D modeliranje modela na osnovu podataka dobivenih digitalizacijom. CAD je skraćenica engleskog pojma „Computer Aided Desing“. Taj pojam predstavlja sustave koji omogućuju računalom podpomognuto konstruiranje. Slika 8. prikazuje CAD proces.



Slika 8. CAD proces

CAD alati obuhvaćaju geometrijske alate za baratanje oblicima na jednom kraju, do programa za posebne primjene poput analize i optimizacije na drugom kraju. Između se nalaze alati za analizu tolerancija, računanje fizikalnih svojstava, modeliranje konačnim elementima, vizualizaciju rezultata analize i drugi. Najvažnija zadaća koju CAD treba ispuniti je određivanje geometrije dizajna odnosno modela, nekog strojnog dijela, građevinske cjeline, jer izgled modela osnova je za sve daljnje aktivnosti u procesu povratnog inženjerstva. Modeli napravljeni u ovom sustavu prenose se i koriste kao osnova u CAM sustave.

CAD sustavi razvijeni su radi preciznijeg opisivanja dizajna, a služe za :

- Dizajniranje pomoću računala,
- Dizajniranje, projektiranje i crtanje pomoću računala,
- Projektiranje, dizajn i razvoj proizvoda uz podršku računala putem odgovarajućih programskih rješenja,
- Razne metode koje analiziraju, koje služe za podršku u procesu dizajna,

Na temelju navedenog može se reći da su zadaće CAD sustava, još i : konstruiranje sklopova, elemenata i detalja, određivanje dimenzija, konceptualni dizajn, kreiranje i razvoj proizvoda, modifikacija itd.

CAD model izrađuje se na temelju 3D skenirane geometrije. Skenirani modeli dodatno se obrađuju u specijaliziranom softveru, te služe za izradu CAD modela u procesu povratnog inženjerstva. Razvojem kompjuterski potpomognutog dizajna (CAD) povratno inženjerstvo, postala je prihvatljiva metoda za izradu 3D virtualnih modela te daljnje korištenje slijedećim fazama procesa CAM i CNC, do gotovog proizvoda.

RE-CAD (eng. Reverse Engineering-Computer Aided Desing) označava dio procesa povratnog inženjerstva do stvaranja CAD modela. Pri izradi CAD modela mogu se slijediti različiti

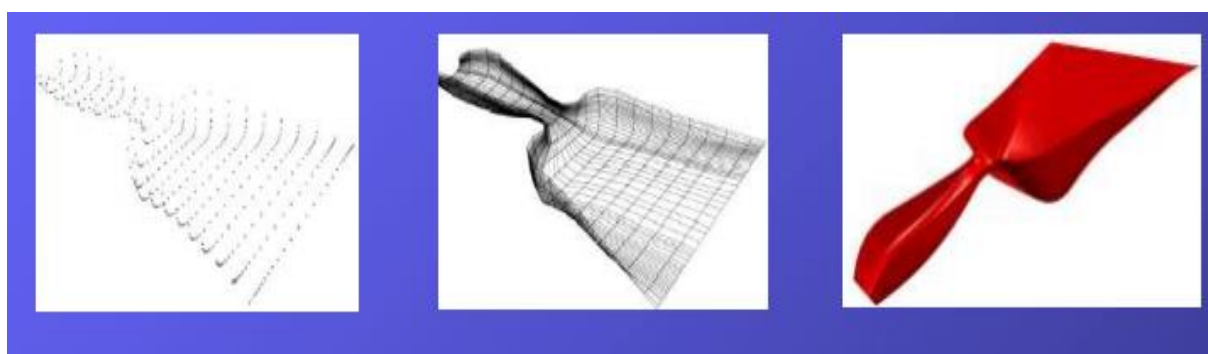
pristupi. „Exact“ pristup ili pristup „kako je napravljeno“ se odnosi na rekonstrukciju pomoću NURBS površina. NURBS površine su matematički modeli koji kompliciranu geometriju dijeli na veći broj manjih površina, te svaku površinu matematički definira. Parametarski pristup ili „kako je zamišljeno“ pristupom se rekonstruiraju tehničke forme. Dok postoji i hibridni pristup koji kombinira predhodna dva pristupa.

Obradom skeniranih podataka u CAD programskim paketima za rekonstrukciju CAD modela dobivaju se površinski (NURBS), odnosno volumenski (STEP, IGES) modeli. Cilj ove faze u procesu povratnog inženjerstva je kreiranje površinskog, a zatim solid modela u matematičkom obliku, na osnovu predprocesuiranih rezultata. U geometrijskoj obradi površine se obrađuju na temelju aproksimacije na osnovu krivih ili preko poligonalne aproksimacije. Prikaz poprečnih presjeka primjenjuje se u inženjerskom projektiranju, a uključuje generiranje površinskog modela na temelju poprečnog presjeka, koji je kreiran na određenoj rezoluciji prema složenosti površine. Kod drugog, poligonalnog pristupa, 3D površinski model se dobiva konvertiranjem oblaka točaka u poligonalnu mrežu koja se zatim prebacuje u površinski model. Većina CAD sustava za modeliranje površina opisuje oblike kroz parametarske jednadžbi kao što su Bezier ili B-Spline metoda. Najčešće u praksi se koristi B-Spline metoda, koja predstavlja standard za opis složenih površina i oblika u aktualnim CAD sustavima. Slika 9 prikazuje prikaz poprečnih presjeka u izradi CAD modela koji se sastoji od :

a) oblak točaka

b) NURBS

c) gotovi digitalni model



**Slika 9. Prikaz poprečnih presjeka u izradi CAD model**



Slika 10 prikazuje poligonalni prikaz u izradi CAD modela koji se sastoji od:

a) oblak točaka

b) poligonalni model

c) CAD model



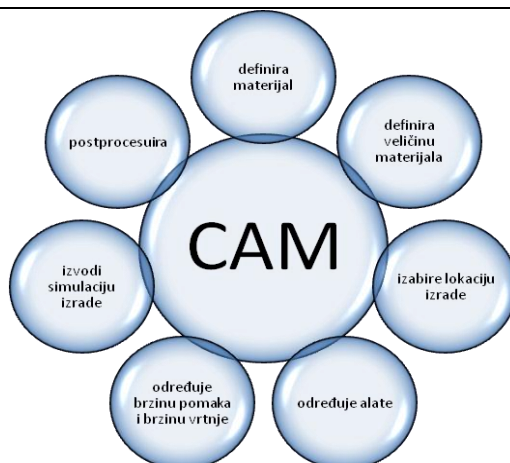
**Slika 10. Poligonalni prikaz u izradi CAD modela**

Na postojeće poligone program postavlja površine koje oblikuju model, na kraju dolazi do potpuno definiranih NURBS (eng. Non Uniform Rational B-Spline) površina. NURBS je matematički model za generiranje i prikaz krivulja i površina koji koriste današnji 3D računalni programi. Zadnja faza dozvoljava ispis modela u IGES ili STEP formatu koji se mogu dalje koristiti u CAM programu. Zbog načina izrade, modele je lako mijenjati prema zahtjevima inženjerske analize, te nije potrebno iznova otpočeti raditi novi model čime se značajno štedi vrijeme samog procesa izrade. CAM programi preuzimaju modele iz CAD programa kako bi na osnovu njih proizveli CNC kod, primjenjiv na pojedinom CNC stroju.

### **3.3. CAM izrada**

Četvrta faza u procesu povratnog inženjerstva je CAM (Computer Aided Manufacturing) računalom upravljani proizvodni proces. Danas se sve vrste obrada temelje na CAM tehnologijama. Slika 11 prikazuje CAD/Computer Aided Manufacturing-kompjuterski podpomognutu proizvodnju.





**Slika 11. CAD/Computer Aided Manufacturing**

CAD (Computer Aided Design) i CAM (Computer Aided Manufacturing) je softver koji pomaže pri konstruiranju, razvoju i optimizaciji dijelova. Zamjena su za tradicionalno inženjerstvo. CAD omogućuje konstruiranje i razvoj rada na ekranu, ispis dokumentacije, te omogućuje da se rad pohrani za daljnje korištenje, te prilagođavanje postojećeg modela kod modeliranja novog. CAM je skraćenica engleskog pojma „Computer Aided Manufacturing“. Ovaj pojam predstavlja programske pakete koji omogućuju inženjerima izradu prototipova komponenata proizvoda. CAM je računalom podržana priprema za proizvodnju, a obuhvaća prevođenje projektnih informacija u tehnološke informacije i proizvodnju sa različitim razinama automatizacije. To se ostvaruje različitim tipovima NC (Numerical Control), odnosno CNC (Computer Numerical Control) strojevima kao što su CNC glodalice, CNC bušilice i mnogi drugi slični strojevi. Kako je CAM oblik proizvodnje koja koristi računala, da bi sama proizvodnja bila što jednostavnija, postoji uska integracija sa CAD-om koja je u realnosti ostvarena prebacivanjem CAD modela u CAM iz kojeg CNC stroj crpi podatke.

CAM je programski alat koji omogućuje proizvodnju fizičkih modela koristeći CAD programe. Jedna od većih prednosti svih sustava povratnog inženjerstva je u tome što se podaci CAD/CAM modela šalju izravno na obradu bez potrebe za dodatnim postupcima.

## 4. GLODANJE

Glodanje je postupak obrade odvajanjem čestica (rezanjem) obradnih površina proizvodnih oblika. Najvažniji je postupak obrade metala skidanjem čestica nakon tokarenja. Tim postupkom možemo obraditi ravne plohe, prizmatične žljebove i utore, zupčanike, navoje, te uzdužno i prostorno profilirane površine.

Izvodi se alatnim strojevima, pretežno na glodalicama i obradnim centrima, pri čemu je glavno gibanje kružno kontinuirano i pridruženo je alatu. Posmično gibanje je kontinuirano, proizvodnog oblika i smijera, te je najčešće pridruženo obradku. Os okretanja glavnog gibanja zadržava svoj položaj prema alatu bez obzira na smjer brzine posmičnog gibanja.

Alat za glodanje je glodalo definirane geometrije reznog dijela, s više glavnih reznih oštrica koje se nalaze na zubima glodala. Rezne oštrice periodično ulaze u zahvat s obratkom i izlaze iz njega tako da im je dinamičko opterećenje jedno od osnovnih obilježja. Istodobno je u zahvatu s obratkom samo nekoliko reznih oštrica.

### 4.1. Vrste glodala

Postoji više kriterija podjele glodala, a najčešće se dijele prema načinu izrade, prema obliku zubi i prema obliku tijela [16]:

1. Prema načinu izrade glodala se dijele na:
  - Glodala sa glodalnim zubima
  - Glodala sa natražno tokarenim i brušenim zubima
  - Glodala ili glave s umetnutim zubima
  
2. Prema obliku zubi glodala se dijele na:
  - Glodala s ravnim zubima
  - Glodala s spiralnim zubima
  - Glodala s križnim zubima

#### 1. Prema obliku tijela glodala se dijele na:

- Valjkasta glodala
- Valjkasta čeona glodala
- Valjkasto glodalo za ozubljenje
- Valjkasta glodala za navoje
- Pločasta (plosnata) glodala
- Pločasta glodala sa umetnutim zupcima
- Pilasta glodala
- Profilna glodala
- Modulna glodala
- Glave za glodanje
- Vretenasta glodala
- Konusna (stožasta) glodala
- Specijalna glodala

Sve vrste glodala izrađuju se za rezanje u lijevom ili desnom smjeru okretanja. Rezni dio glodala izrađuje se od materijala znatno veće tvrdoće od obrađivanog materijala, a najčešće se koriste brzorezni čelici, tvrdi metali, cermet, keramika, te kubni nitrid bora. Od brzoreznog čelika izrađuje se cijelo glodalo.

#### 4.2. Podjela glodanja

Glodanje je postupak obrade skidanja čestica kod kojeg alat obavlja glavno gibanje. Posmično gibanje je uvijek pod nekim kutom u odnosu na os rotacije alata i obavlja ga ili obradak ili alat. Obavlja se s alatima s više jednakih oštrica ili sa sastavljenim alatima. Sve oštrice tog alata nisu istodobno u zahvatu. Zato je glodanje složenija operacija od tokarenja ili bušenja zbog većeg broja oštrica alata i promjenjivog presjeka strugotine koju skida pojedini zub za vrijeme obrade. Zubna glodala dolaze jedan za drugim u zahvat materijalom i za vrijeme zahvata jako se mijenja opterećenje zuba [17].

Prema kombinaciji glavnog i posmičnog gibanja, glodanje se dijeli na obodno i čeono.

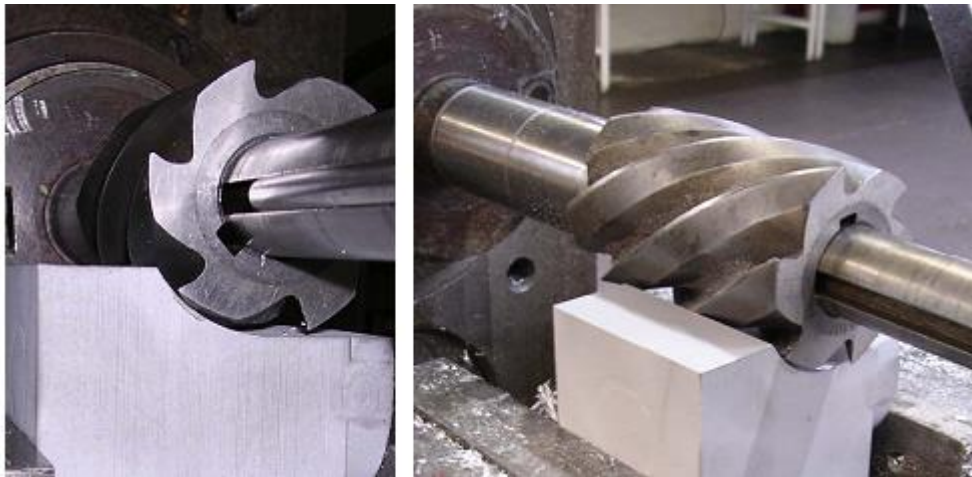
##### 1. Obodno glodanje može biti :

- plošno (pravocrtno) glodanje
- kružno glodanje

Kod obodnog plošnog glodanja skidanje čestica obavlja se obodom glodala koje izvodi glavno gibanje, dok je posmak pravocrtan.

Plošno glodanje se dijeli na:

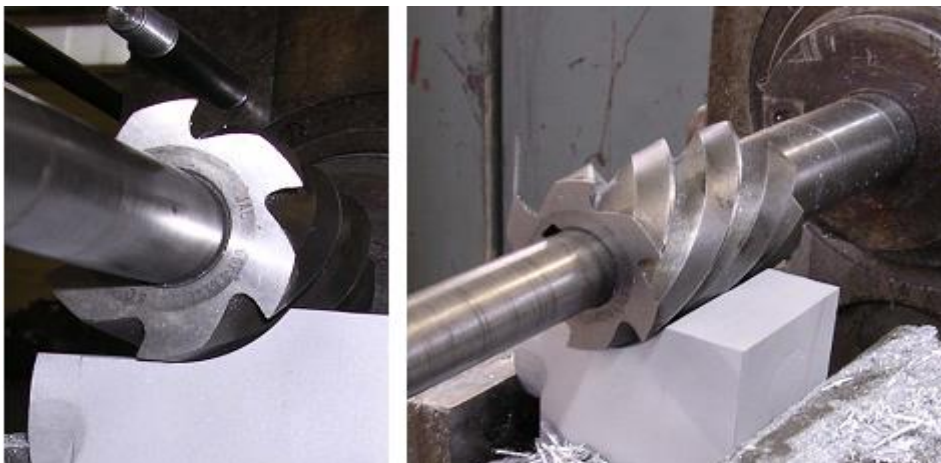
- Protusmjerno glodanje (konvencionalno glodanje) prikazano na slici 12.



**Slika 12. Obodno ravno glodanje-protusmjerno [18]**

- Istosmjerno glodanje

Rotacija alata (glavno gibanje) je u obrnutom smjeru od smjera posmaka. Strugotina se stvara od malog prema većem presjeku. Sile koje nastaju prilikom glodanja su prema gore i žele izbiti obradak iz stezne naprave. Slika 13 prikazuje Obodno ravno glodanje-istosmjerno.



**Slika 13. Obodno ravno glodanje-istosmjerno**

Rotacija alata kod istosmjernog glodanja je u istom smjeru kao smjer posmaka. Strugotina se stvara od većeg prema najmanjem presjeku. Sile koje nastaju prilikom glodanja su prema dolje i žele zabiti obradak u škripac. Postoji još i obodno kružno glodanje kod kojeg se

skidanje čestica obavlja obodom glodala koje izvodi glavno gibanje, dok je posmak kružni. Ovisno o izgledu alata i smještaju obratka kružno glodanje može biti vanjsko, unutarnje ili obilazno[18].

2. Čeono glodanje skida čestice materijala zubima koji su smješteni na čelu glodala ili glave alata i može biti simetrično i asimetrično. Slika 14 prikazuje Čeono ravno glodanje (simetrično, asimetrično).



**Slika 14. Čeono ravno glodanje (simetrično, asimetrično) [18]**

Osim navedene podjele glodanje se može podijeliti na osnovi više kriterija podjele[18]:

1. Prema proizvedenoj kvaliteti obrađene površine
  - a) grubo glodanje
  - b) završno glodanje
  - c) fino glodanje
2. Prema kinematici postupka
  - a) Istosmjerno
  - b) protusmjerno
3. Prema obliku elementarne površine
  - a) ravno (plansko)
  - b) okretno (okruglo, neokruglo)
  - c) profilno (glodanje utora raznih profila, modulno glodanje)
  - d) oblikovno (kopirno ili CNC)

## 5. POVRATNO INŽENJERSTVO U DENTALNOJ PROTETICI

CAD/CAM sustavi su danas široko rasprostranjena tehnologija. U dentalnoj medicini i protetici su se počeli koristiti sredinom osamdesetih godina 20. stoljeća, do tada su se zbog dugotrajnosti izrade protetskog rada koristili samo u dentalnim laboratorijima, CAD/CAM sustavi su ubrzo postali jako korištena tehnologija. Prije svega zbog brze izrade nadomjestka. Često nema potrebe za uzimanjem klasičnog otiska otisnim materijalima te tako nema potrebe za dentalnim laboratorijem. Sve to uvelike skraćuje vrijeme, ujedno i smanjuje broj faza izrade protetskog rada, što u konačnici rezultira manjim brojem pogrešaka.

CAD/CAM tehnologija predstavlja revoluciju u izradi zubnih nadomjestaka, a temelji se na računalnim 3D programima. CAD/CAM sustavi imaju izrazitu preciznost rada, te u potpunosti isključuju mogućnost ljudske pogreške. CAD/CAM u dentalnoj medicini predstavlja proces kojim se od gotovih keramičkih blokova, procesom finog glodanja, dobivaju keramičke krunice. Razvoj te tehnologije išao je od strojno kopirajućeg glodanja (engl. Copy milling) pa sve do računalom potpomognutih sustava. Proces povratnog inženjerstva u stomatologiji obuhvaća; 3D skeniranje, softver, odnosno kompjuterski program za modeliranje (CAD-Computer Aided Design), te strojna jedinica za izradu nadomjestka (CAM-Computer Aided Manufacturing), glodanje.

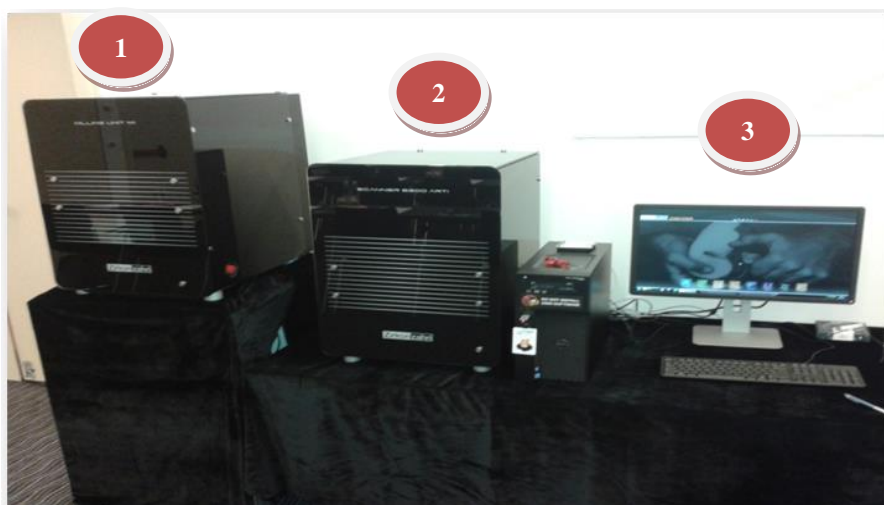
### 5.1. Ukratko o tvrtki Zirkonzahn

Firmu ZIRKONZAHN osnovao je Enrico Steger 2003 godine u Gaisu, Južni Tirol. Te iste godine tvrtka je prva patentirala Zirkograph ručnu kopir glodalicu MAD/MAM (Manually Aided Design/ Manually Aided Manufacturing). Aparat ima mogućnost izrade krunica mostova do šesnaest članova, individualnih abutmenta, vijkom reteniranih radova i sl. Dimenzije veličine radnog stola ovaj aparat je u mogućnosti frezati u pet osovina. Rad s aparatom je kompletno ručni tako da se analogni model skenira pomoću ticala.

Daljim razvojem i napretkom tehnologije tvrtka Zirkonzahn stvorila je dentalni CAD/CAM sustav koji je izrađivao nadomjestke u jednoj posjeti. Njegov sustav se temeljio na snimanju kaviteta intraoralnom kamerom, skeniranju otiska 3D skenerom, te direktnom izradom inlaya u glodalicama. Zirkonzahn sustava danas je jedan od najbolje prihvaćenih dentalnih CAD/CAM sustava.

Sustav tvrtke Zirkonzahn je CAD/CAM sustav za obradu cirkonijeva oksida. Sastoji se od 3D skenera ili intraoralne kamere (o čemu ovisi način uzimanja otiska), računala sa softwerom kojim se planira i proračunava izgled nadomjestka, te strojne jedinice (glodalice) koja izrađuje nadomjestak iz keramičkog bloka. Na slici 15 prikazan je CAD/CAM sustav tvrtke Zirkonzahn koji se sastoji od:

1. Skenera
2. Glodalice
3. Softwera



**Slika 15. CAD/CAM sustav tvrtke Zirkonzahn**

Prednosti korištenja Zirkonzahn CAD/CAM sustava su u tome što pruža kvalitetno korištenje novih materijala, skraćuje tijek izrade protetskog nadomjestka, smanjuje troškove izrade, te omogućuje kontrolu kvalitete izrade. Zirkonzahn je CAD/CAM sustav za obradu cirkonijevog oksida, a sastoji se od 3D skenera, računalnog softwera i glodalice, a sam proces povratnog inženjerstva na primjeru CAD/CAM sustava tvrtke Zirkonzahn nalazi se u daljnjem tekstu rada.

## **5.2. Optički otisak**

Postupak započinje brušenjem zuba kojeg provodi stomatolog u ovisnosti vrsti keramike koju će upotrijebiti za određeni klinički slučaj. Nakon pripreme i brušenja sljedi uzimanje otiska. Otisak se može uzeti intraoralnom kamerom ili klasičnim putem, nakon čega sljedi skeniranje modela pomoću skenera.

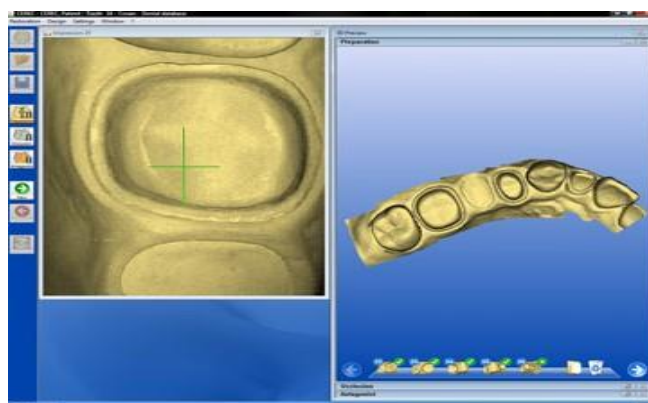


Temelj za modeliranje i izradu CAD/CAM nadomjestka čini dobra prezentacija podataka dobivenih 3D skeniranjem i intraoralnom kamerom. Za razliku od klasičnog otiska digitalni otisak nudi bržu i efikasniju izradu protetskog rada. Zirkonzahn sustav za razliku od drugih sustava ima jedinstvenu mogućnost skeniranja bataljka u ustima. Skeniranje se izvodi 3D intraoralnom kamerom i računalom koje procesira podatke i šalje ih u CAD/CAM jedinicu za glodanje. Slika 16 prikazuje 3D intraoralnu kameru koja se koristi za uzimanje otisaka, a dio je CAD/CAM sustava tvrtke Zirkonzahn.



**Slika 16. 3D intraoralna kamera**

3D intraoralnom kamerom se uzima digitalni otisak gornje i donje čeljusti, te zagriža pacijenta. Na temelju toga CAD/CAM sustav rekonstruira virtualni model čeljusti slika 14 prikazuje uz intraoralnu kameru i virtualni model čeljusti. Intraoralna kamera omogućuje izuzetno precizan optički otisak zuba u tri dimenzije slika 17. Skeniranje po zubu traje 15-20 sekundi.



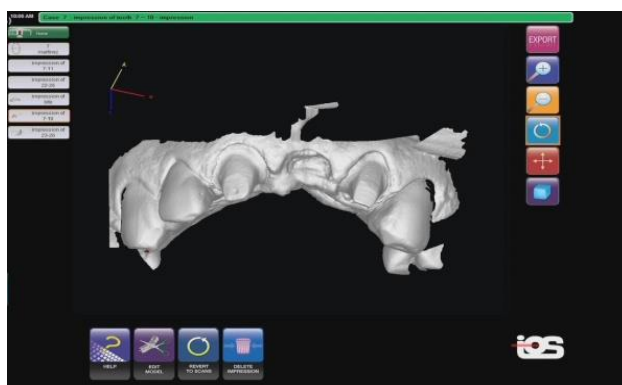
**Slika 17. Optički otisak**



Softver nam omogućuje 3D prikaz skeniranih zubi, te upućuje na greške u preparaciji kod brušenja slika 18 .Slika 19 prikazuje skeniranu gornju čeljust.



**Slika 18. Skeniranje gornje čeljusti**



**Slika 19. Prikaz skenirane gornje čeljusti**

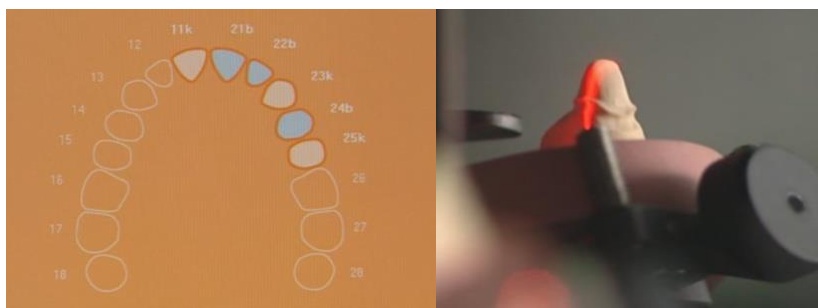
### 5.3. Skener

Ovaj sustav uz skeniranje otisaka intraoralnom kamerom nudi i mogućnost skeniranja otiska skenerom za što je potrebno uzeti standardni otisak otisnim materijalom, a sustav skenira model. Nekoliko sustava na tržištu nudi ovu opciju otiskivanja, tvrtka Zirkozahn u ponudi uz intraoralnu kameru ima i optički sustav za 3D digitalizaciju. Optički sustav za 3D digitalizaciju SCANNER S600 ARTI tvrtke Zirkozahn iz Italije omogućuje detaljno bilježenje oblika kompliciranih predmeta slika 20. Lako se može prilagoditi veličini mjernog objekta, tako da se uspješno trodimenzionalno digitaliziraju objekti od desetak milimetara. Namješten za snimanje malih objekata SCANNER S600 ARTI stvara mrežu mjernih točaka s razmakom svega 0,05 mm, odnosno 400 točaka po kvadratnom milimetru.



**Slika 20. SCANNER S600 ARTI**

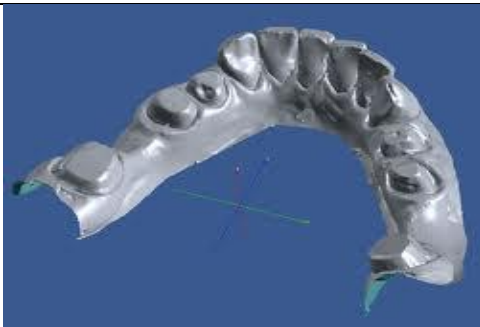
Za digitalizaciju površinskih podataka primjenom SCANNER S600 ARTI može se direktno skenirati površina modela. Skener ima laserski čitač koji omogućuje skeniranje bataljka na sadrenom modelu. Prije skeniranja u softver se unesu određeni podaci vezani za pacijenta i zube koji se rade vidljivo na slici 21. U nekim slučajevima dovoljno je skeniranje bataljka, a računalni program sam dizajnira oblik buduće cirkonij oksidne jezgre.



**Slika 21. Program za skeniranje i proces skeniranja**

Sustav Zirkonzahn nudi mogućnost skeniranja radnog modela u ordinaciji, te nakon što se dobije digitalni oblik modela koji se može poslati u laboratorij.

Na slici 22 prikazan je rezultat trodimenzionalne digitalizacije donjeg zubala pomoću ZIRKONZAHN sustava. Sniman je otisak zubala u plastičnoj masi (negativan oblik), koji se u računalu automatski prebacuje u pozitivan oblik (virtualni odljevak), te daje precizan oblik.



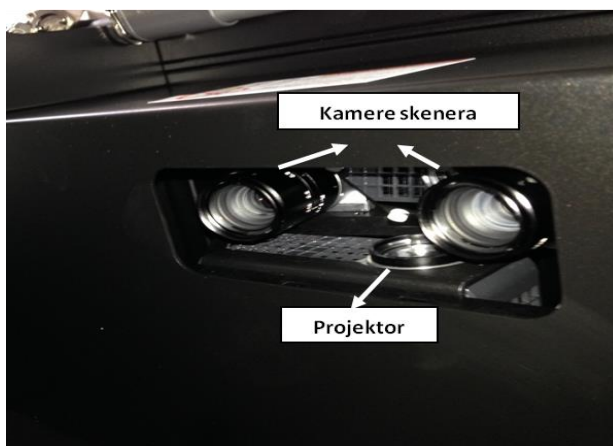
**Slika 22. Virtualni otisak dobiven digitalizacijom otiska (negativa) pomoću SCANNER S600 ARTI**

Sustav za digitalizaciju tvrtke Zirkozahn projicira guste linije na objekt koji treba trodimenzionalno snimiti. Slika 23 prikazuje projekciju linija na odljevak.



**Slika 23. Projekcija linija na odljevak putem 3D digitalizacije SCANNER S600 ARTI**

Snimanje Scannerom S600 ARTI vrši se potpuno automatski pomoću laserskog projektora i dvije kamere. Slika 24 prikazuje projektor i kamere skenera S600 ARTI.

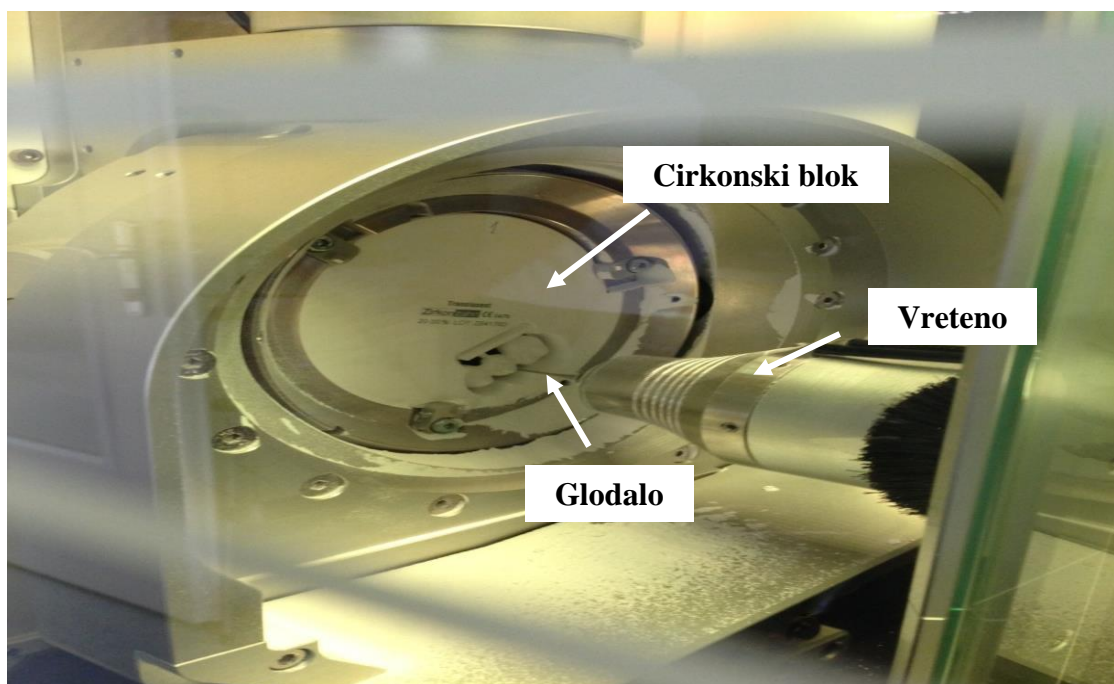


**Slika 24. Projektor i kamere SCANNER S600 ARTI**

Snimanja se ponavljaju sve dok kompletan objekt nije trodimenzionalno snimljen sa svih strana. Poklapanje pojedinih snimaka u jednu cjelinu, odnosno zajednički koordinatni sustav, provodi se potpuno automatski pomoću referentnih točaka. Cijeli proces skeniranja traje oko 2 minute. Sustav Zirkonzahn nudi mogućnost skeniranja radnog modela u ordinaciji, te nakon što se dobije digitalni oblik modela njegovo slanje u laboratorij.

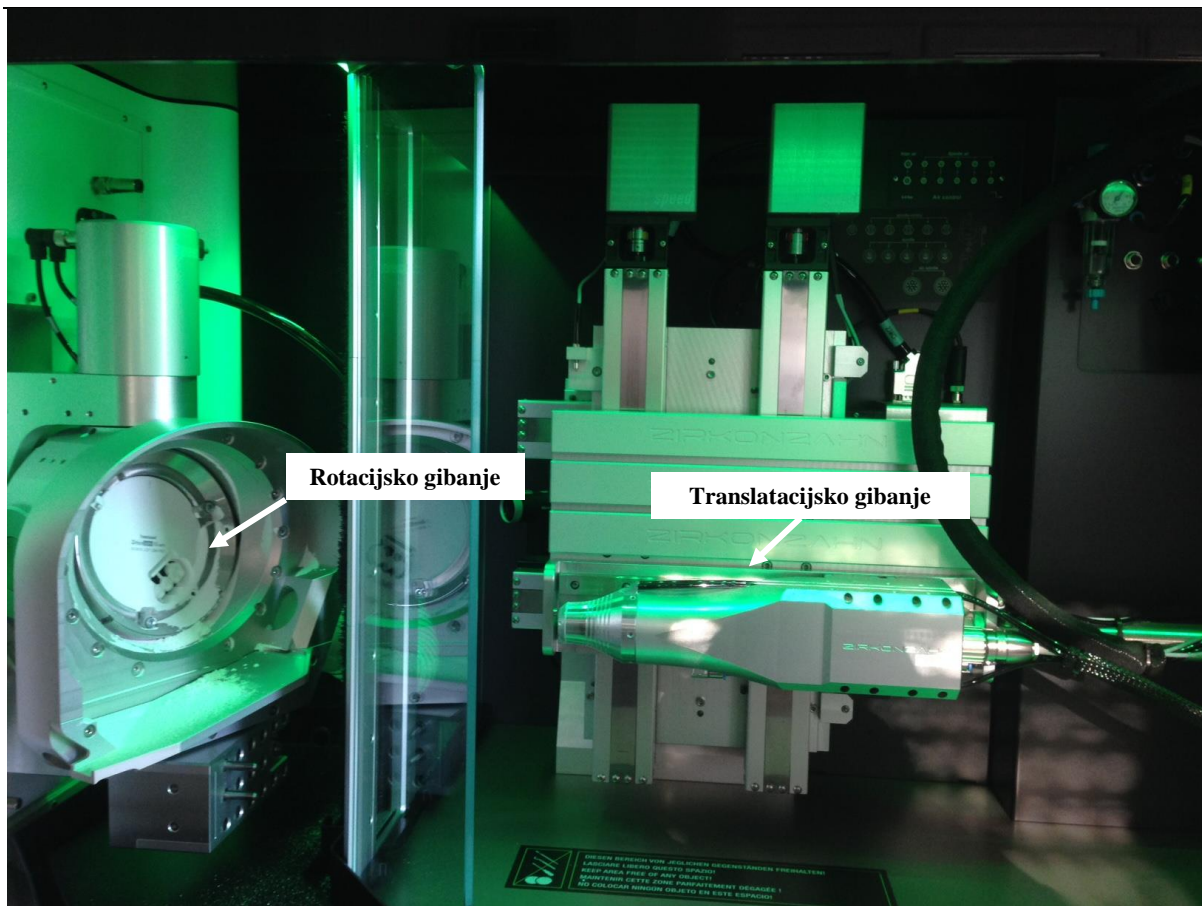
#### 5.4. Glodalica M5

U dentalnoj protetici postupkom strojnog glodanja najčešće se koriste cirkonski blokovi velike čvrstoće. Za glodalicu M5 tvrtke Zirkonzahn koriste se tvornički cirkonski blokovi Slika 25 prikazuje cirkonski blok u CAD/CAM obradi.



Slika 25. Cirkonski blok u CAD/CAM obradi

Restauracija se glode u posebnoj glodalici M5 koja je sastavni dio CAD/CAM sustava tvrtke Zirkonzahn. Nakon završenog skeniranja i obrade u računalnom softveru, informacija se dalje procesira u računalu i daje upute u glodalicu. Glodalica M5 prema uputama iz računala izrađuje željeni nadomjestak. Na slici 26 prikazana je glodalica M5 tvrtke Zirkonzahn.



Slika 26. Glodalica M5

Prije samog početka glodanja potrebno je umetnuti cirkonski blok u glodalicu. Cirkonski blok je fiksiran na nosaču koji omogućuje njegovo umetanje. Kako se cirkonski blok vrti oko svoje osi, tako se i dijamantni disk i brusilo vrte i transliraju gore, dolje oko svoje osi. Za rezanje jednog cirkonskog bloka u fasetu ili inlay potrebna je serija od oko 200-400 nareza. Kretanje dijamantnog diska omogućuje električna vodilica.

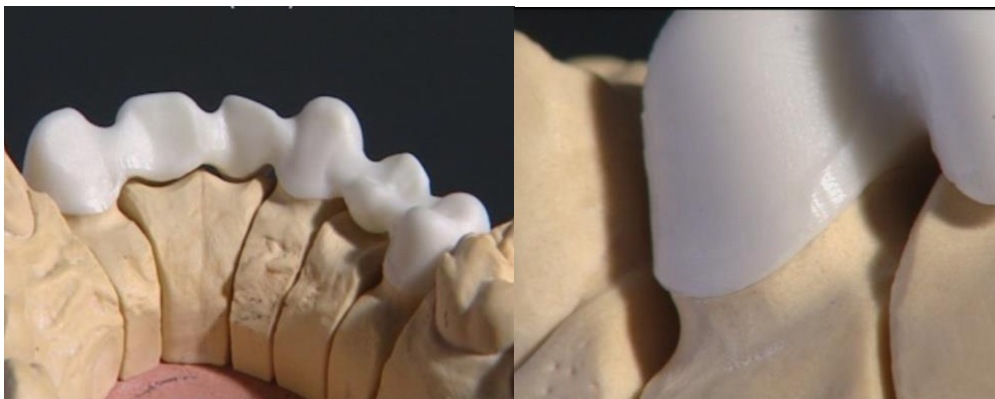
Glodalica M5 glodanje vrši sa dva svrdla. Prvo svrdlo je grubo i skida veće komade cirkonijevog oksida. Nakon toga stroj automatski prelazi na fino svrdlo koje završava glodanje. Slika 27 prikazuje grubo i fino glodanje.



Slika 27. Grubo glodanje i fino glodanje



Cijelokupno glodanje pojedinačne jezgre traje 15 minuta. Svrkla na glodalici M5 mjenjaju nakon svakih stotinu izglodanih članova. Nakon glodanja dobivamo gotov cirkonij oksidni rad koji se potom prilagođava na radni model. Slika 28 prikazuje sinterizirani rad na radnom modelu.



**Slika 28. Prikaz sinteriranog rada na radnom modelu**

Važna karakteristika dentalnog CAD/CAM sustava je značajna ušteda vremena. Nakon unosa digitalnih podataka sustav radi samostalno i ne zahtjeva stalni nadzor.

### **5.5. Prednosti CAD/CAM sustava**

Dentalni CAD/CAM sustavi su moderni sustavi koji omogućuju brzu i kvalitetnu izradu protetskog rada s minimalnom potrebom ili bez potrebe za dentalnim tehničarom. Preciznost takvih sustava je velika prednost nad standardnim radom jer se smanjenim brojem faza izrade umanjuje mogućnost pogreške i skraćuje se vrijeme sanacije protetskog pacijenta. Glavne prednosti CAD/CAM-a su brzina i preciznost izrade, te ugodan rad za pacijenta. Navlake (krunice) za zube, ljuske, inlayi, onlayi tj. restauracije za jedan zub mogu se izraditi za 60-90 minuta. Izrada većih rekonstrukcija (nekoliko zubi, do mostova za čitavu čeljust) moguća je unutar 24 sata, što je višestruko skraćenje u odnosu na klasičan postupak izrade koji traje 3 do 5 dana. Proces izrade protetskog rada najčešće se dovršava u istom posjetu (one visit dentistry). Preciznost CAD/CAM sustava temelji se na mikronskoj preciznosti 3D kamere koja služi za uzimanje digitalnog otiska ili preciznosti skeniranog otiska u skeneru. Na temelju digitalnog otiska Zirkonzahn softver rekonstruira virtualni model čeljusti koji je temelj za dizajn restauracije. Budući da nema klasičnog uzimanja otiska gumastim

materijalima, CAD/CAM je ugodan za pacijente, osobito ako imaju pojačan refleks za povraćanje. Uz sve navedeno neke od prednosti CAD/CAM sustava su :

- uporaba novih biokompatibilnih materijala, posebice cirkonij oksida i titana,
- ujednačena kvaliteta i preciznost,
- mogućnost virtualnog dizajna izrađenih radova,
- brzina izrade i uštede u korištenju ljudskih potencijala.

Iz navedenih prednosti lako je povući paralelu između konvencionalnih postupaka u stomatološkoj protetici i postupaka koji se mogu zamjeniti CAD/CAM sustavom. Iz ovih razloga i prednosti moderni CAD/CAM sustavi postali su neizostavan dio moderne i visoko estetske dentalne medicine i protetike.

## 6. ZAKLJUČAK

Pojam povratnog inženjerstva nije se često susretao u literaturi do prije desetak godina, dok se danas spominje u različitim područjima. Može se definirati kao proces rekonstrukcije gotovog proizvoda u oblik iz kojeg se može ponovno proizvesti novi proizvod temeljen na postojećem.

Tehnika povratnog inženjerstva danas se primjenjuje u različitim granama proizvodnje, tako i u dentalnoj protetici. Bitan dio završnog rada je posvećen samom procesu povratnog inženjerstva koji se odvija od 3D digitalizacije, do izrade CAD modela, prebacivanja u CAM iz kojeg CNC stroj crpi podatke za izradu.

Danas se sve više obrada temelji na CAD/CAM tehnologijama. U završnom radu obrađen je dentalni CAD/CAM sustav tvrtke Zirkonzahn. CAD/CAM u dentalnoj protetici predstavlja proces kojim se od gotovih keramičkih blokova dobivaju keramičke krunice. Proces povratnog inženjerstva u dentalnoj protetici obuhvaća: 3D skeniranje, obradu podataka i završnu obradu modela na numerički upravljanom stroju.



## **PRILOZI**

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija

## LITERATURA

- [1] [www.topomatika.hr/inzenjerstvo.html](http://www.topomatika.hr/inzenjerstvo.html) (12/2014)
- [2] [www.topomatika.hr/inzenjerstvo.html](http://www.topomatika.hr/inzenjerstvo.html) (12/2014)
- [3] [www.topomatika.hr/inzenjerstvo.html](http://www.topomatika.hr/inzenjerstvo.html) (01/2015)
- [4] Editorial Staff 11/2000. Paraform Inc., A, Methodology for Reverse Engineering, 2000.,str.3.
- [5] Resarch Projects, Inteligent Integrated Reverse Engineering.S.L.:Centre for Advanced Manufacturing Resarch, University of Sauth Australia,2001.
- [6] Reengineering & Reverse Engineering Terminology, Washinton: Computer Society, Tehnical Council on Software Engineering,2000.
- [7] [www.izit.hr/usluge/povratno-inzenjerstvo-reverse-engineering](http://www.izit.hr/usluge/povratno-inzenjerstvo-reverse-engineering) (01/2015)
- [8] Hamžić F.: Digitalizacija 3D objekta, seminarski rad,2013.
- [9] Biondić,L.: Analiza upotrebljivosti 3D skeniranja kao tehnologije povratnog inženjerstva/završni rad/diplomski studij, Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje,14.12.2012. str.30. URL://bib.irb.hr//prikazi-rad?lang=en&rad=664633
- [10] Curless, B.: Range Acgquisition-Part II.: Optical Methods, Stanford, University Stanford, California, USA, 1997.
- [11] [www.romer.com](http://www.romer.com) (01/2015)
- [12] Lemeš, S.: Digitalizacija i 3D skeniranje, Predavanje iz predmeta „Računari“, Arhitektonski fakultet u Sarajevu, 2012.
- [13] [tiny.cc/813xox](http://tiny.cc/813xox) (01/2015)
- [14] Gibson, I.: Rapid Prototyping: A Tool for Product Development, Computer-Aided Desing and Applications (tehnical journal) ISSN 1686-4360, str.785-793.
- [15] [www.zirkonzahn.com](http://www.zirkonzahn.com) (12/2014)
- [16] [www.cnt.tesla.hr](http://www.cnt.tesla.hr) (12/2014)
- [17] Strojarski priručnik, Bojan Kraut, Tehnčka knjiga, Zagreb, 2009
- [18] [www.fsb.unizg.hr](http://www.fsb.unizg.hr) (3/2015)