

Brza izrada prototipova i alata

Nastavnik:
Prof. Dr Mladomir Milutinović

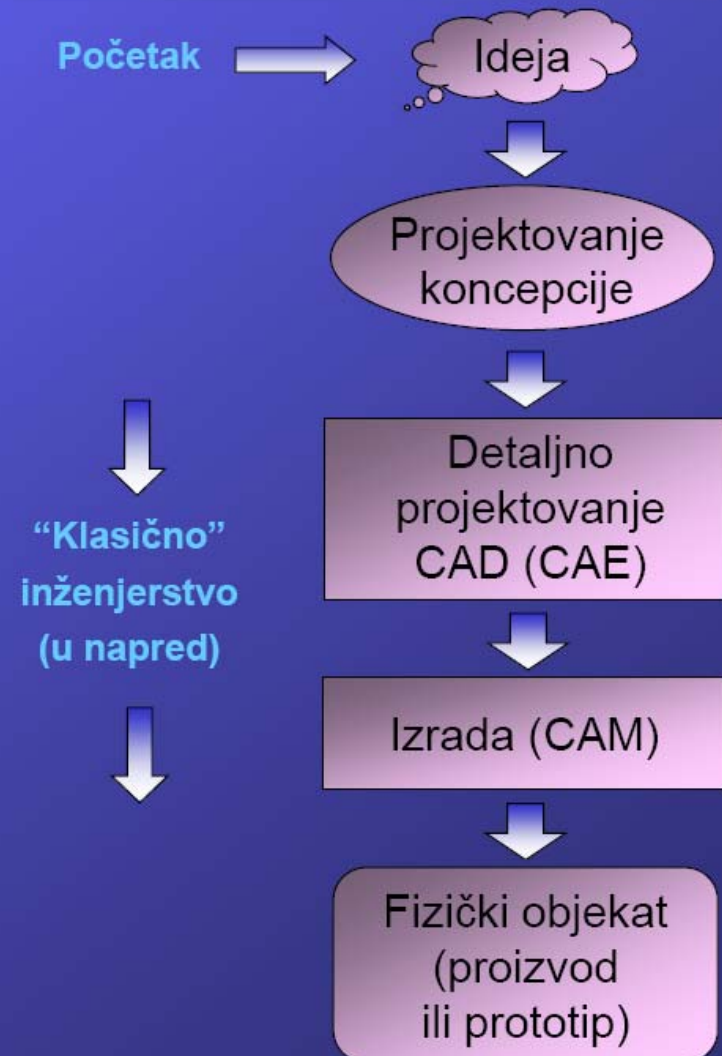
Asistent:
Dejan Movrin

REVERZIBILNO INŽENJERSTVO

Pojam i definicije

Tok operacija, u okviru standardnog automatizovanog proizvodnog okruženja, podrazumeva razradu ideje (apstrakcije), kroz koceptualno projektovanje, a zatim i detaljno CAD projektovanje i na kraju izradu.

Ovakav tok operacija se često naziva **“klasično” inženjerstvo** ili **inženjerstvo u napred**.

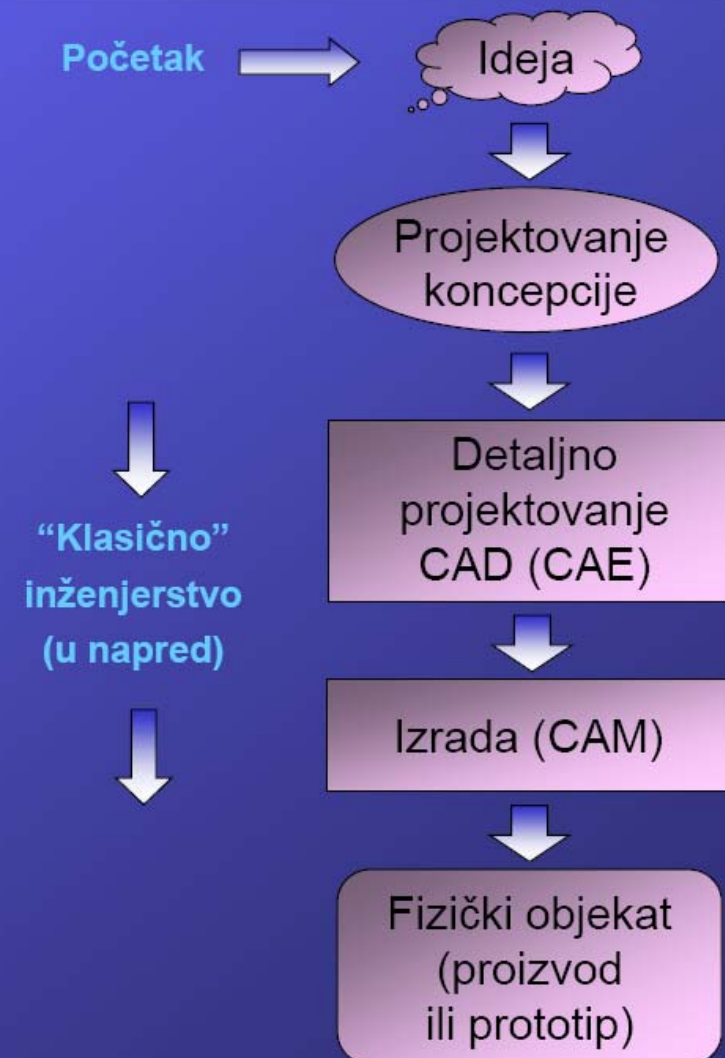


REVERZIBILNO INŽENJERSTVO

Pojam i definicije

Tok operacija, u okviru standardnog automatizovanog proizvodnog okruženja, podrazumeva razradu ideje (apstrakcije), kroz koceptualno projektovanje, a zatim i detaljno CAD projektovanje i na kraju izradu.

Ovakav tok operacija se često naziva **“klasično” inženjerstvo** ili **inženjerstvo u napred**.



REVERZIBILNO INŽENJERSTVO

Pojam i definicije

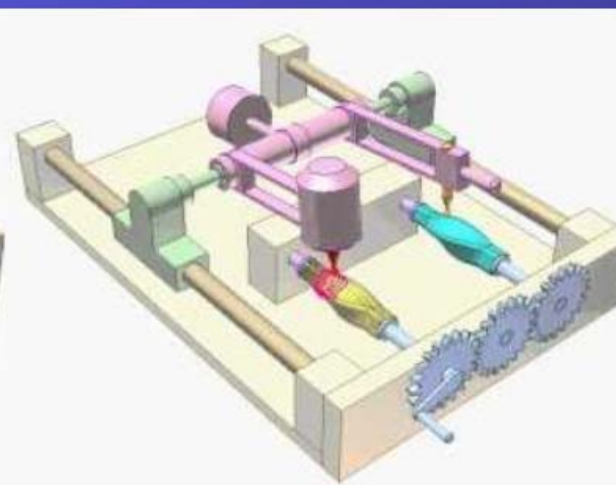
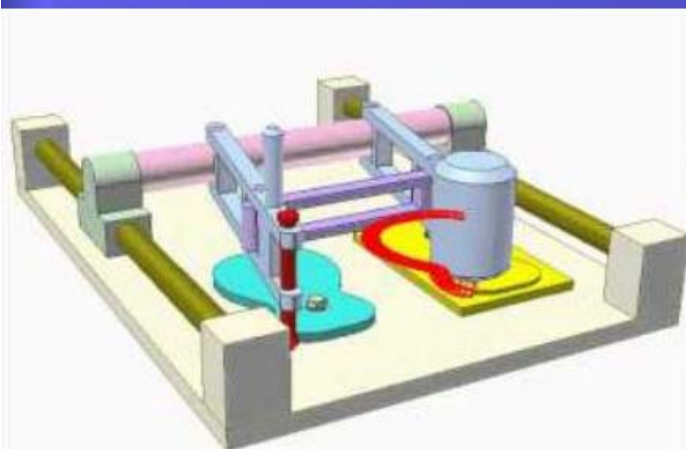
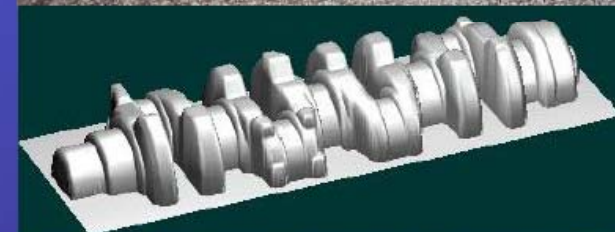
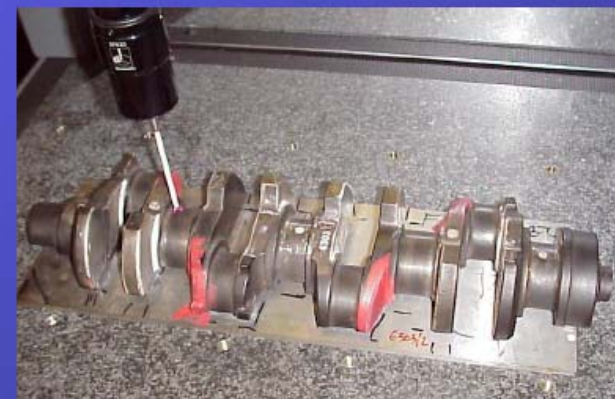
U okviru **mašinstva**, RE se, u **užem smislu**, može definisati kao proces dupliranja neke postojeće komponente, sklopa ili proizvoda, bez pomoći tehničke dokumentacije ili kompjuterskog modela.

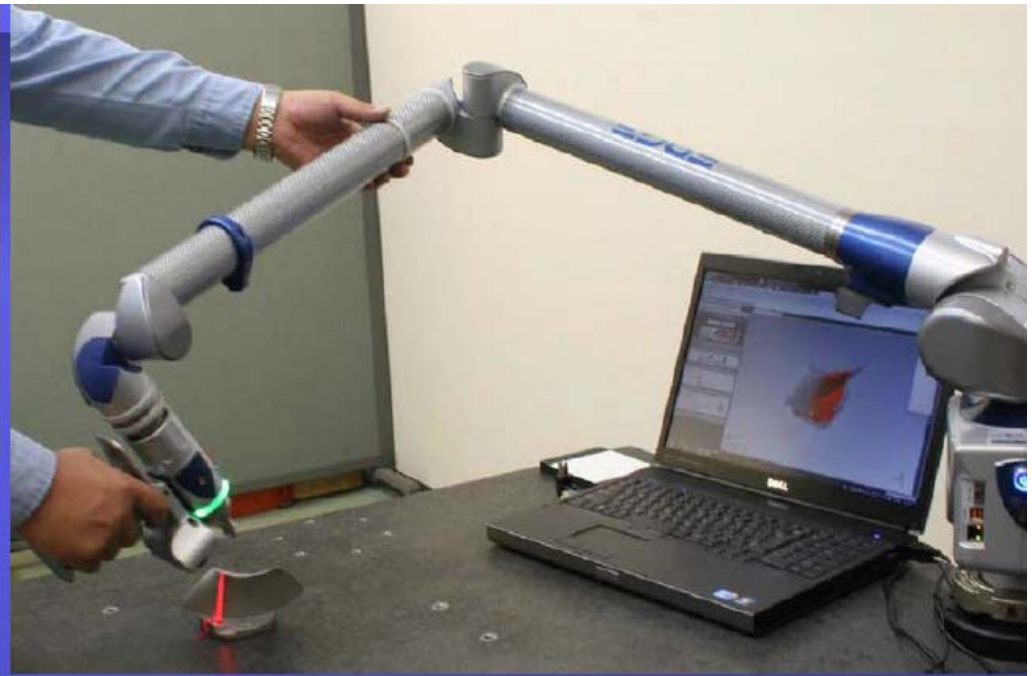
U **širem smislu**, RE se može posmatrati kao sistemski prilaz za analiziranje nekog postojećeg uređaja ili sistema i može se primeniti kako za proučavanje procesa projektovanja (određenog dela/sistema), tako i kao početni korak u procesu redizajniranja.

REVERZIBILNO INŽENJERSTVO

Interpretacije pojma RE - oblasti primene

Izvorna interpretacija pojma RE u okviru mašinstva je vezana za proces **kopiranja postojećeg** dela / sklopa, bez pomoći tehničke dokumentacije ili digitalnog modela.

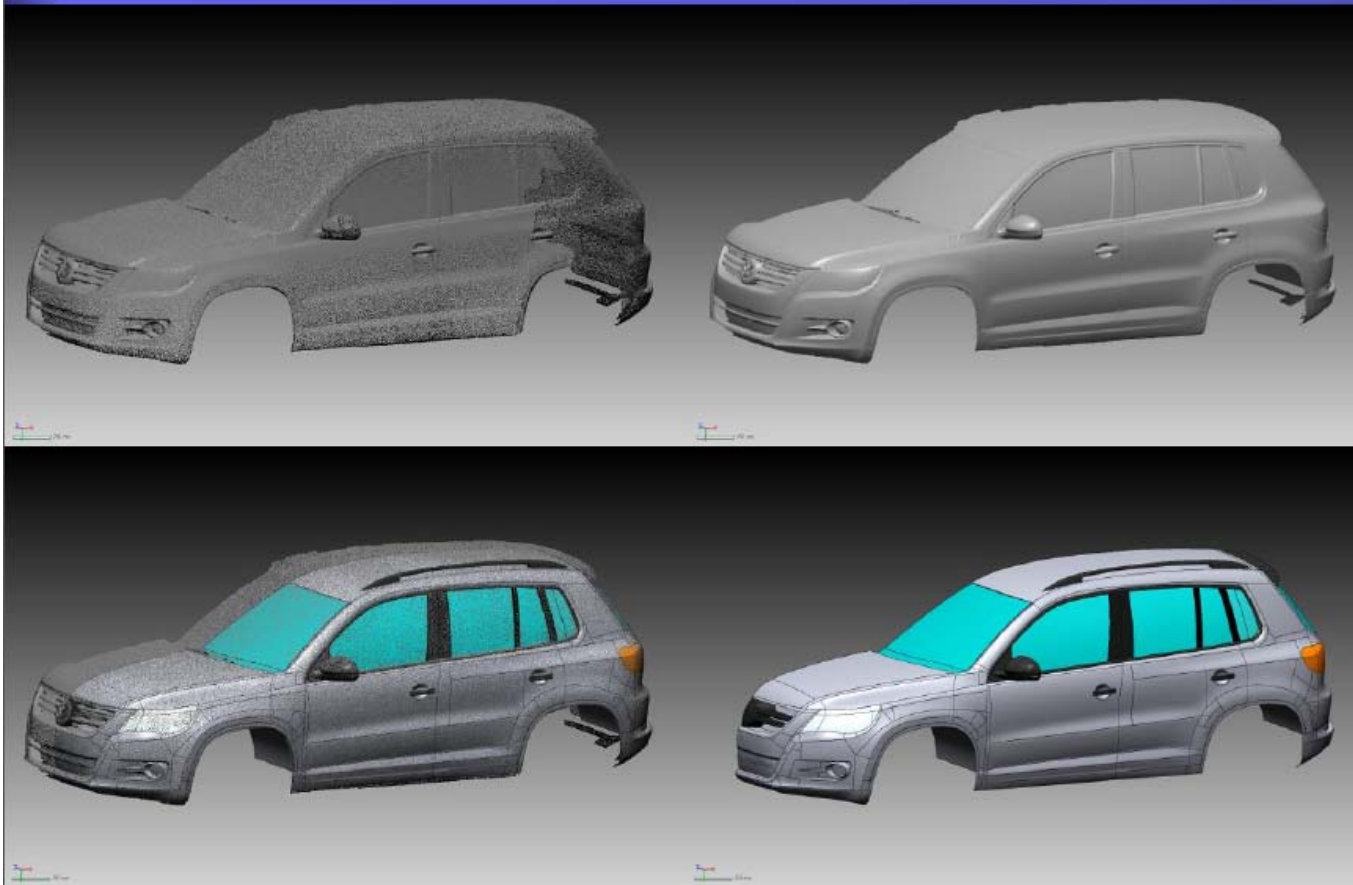


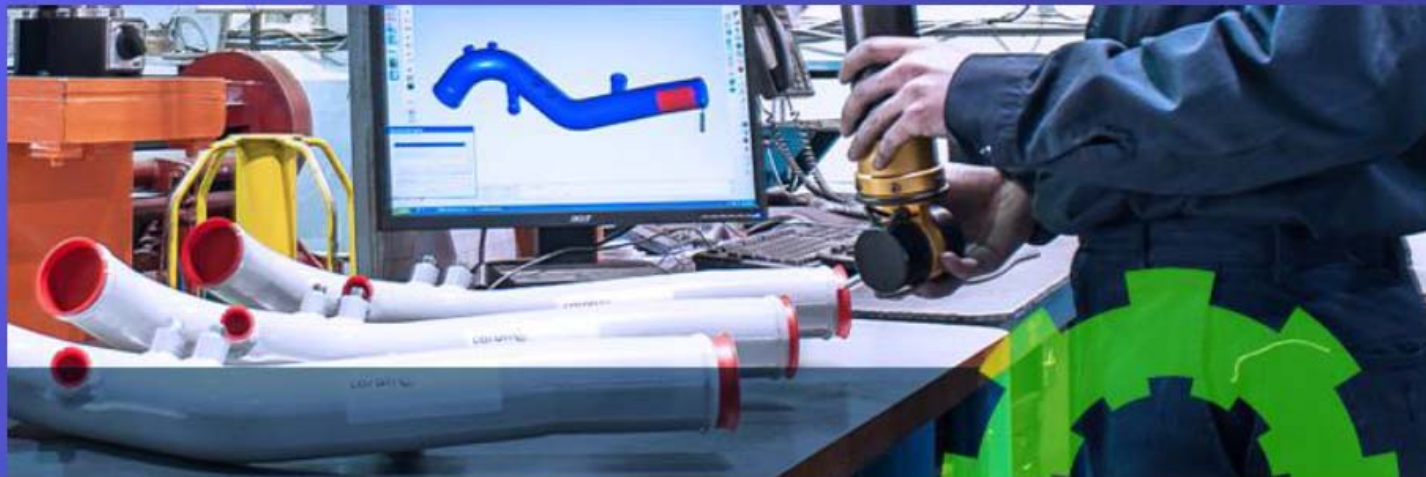


REVERZIBILNO INŽENJERSTVO

Interpretacije pojma RE - oblasti primene

U osnovnu interpretaciju se može uključiti **i redizajn** postojećih proizvoda.





REVERZIBILNO INŽENJERSTVO

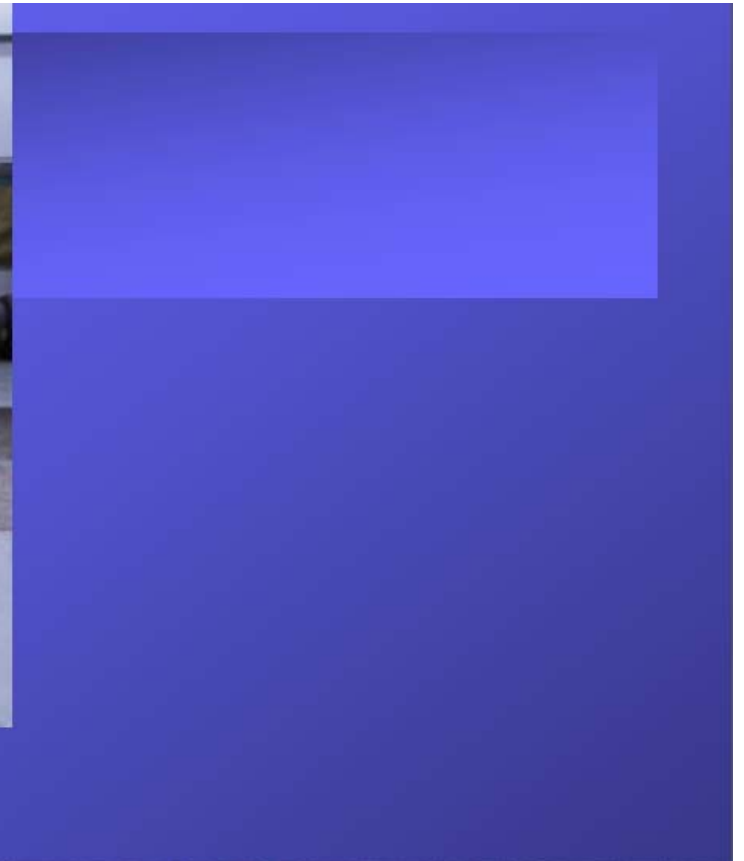
Interpretacije pojma RE - oblasti primene

Druga interpretacija pojma RE, je u vezi sa aktuelnim zahtevima tržišta, tj. da se od proizvođača zahtevaju sve složeniji geometrijski oblici, koje je teško postići klasičnim CAD alatima.

Usled toga, sve je češći slučaj da proizvodne kompanije angažuju umetnike - vajara koji **kreiraju željene modele u glini, gipsu ili nekom sličnom materijalu**, da bi se zatim ovako dobijeni modeli digitalizovali i rekonstruisali u funkcionalne CAD modele.

Ovaj tip RE se često naziva i **kolaborativni dizajn**.



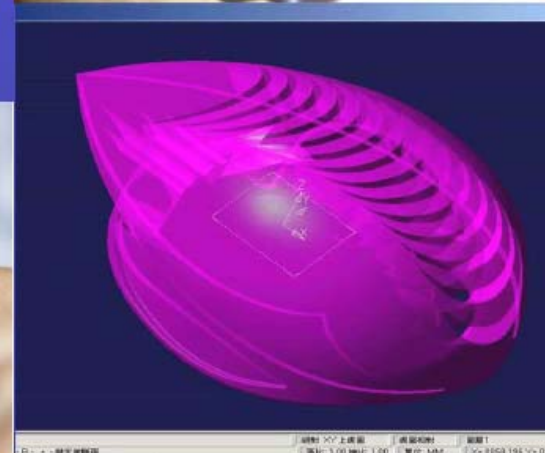


REVERZIBILNO INŽENJERSTVO

Interpretacije pojma RE - oblasti primene

Sledeći aspekt primene RE obuhvata **projektovanje ergonomski funkcionalnih proizvoda**.

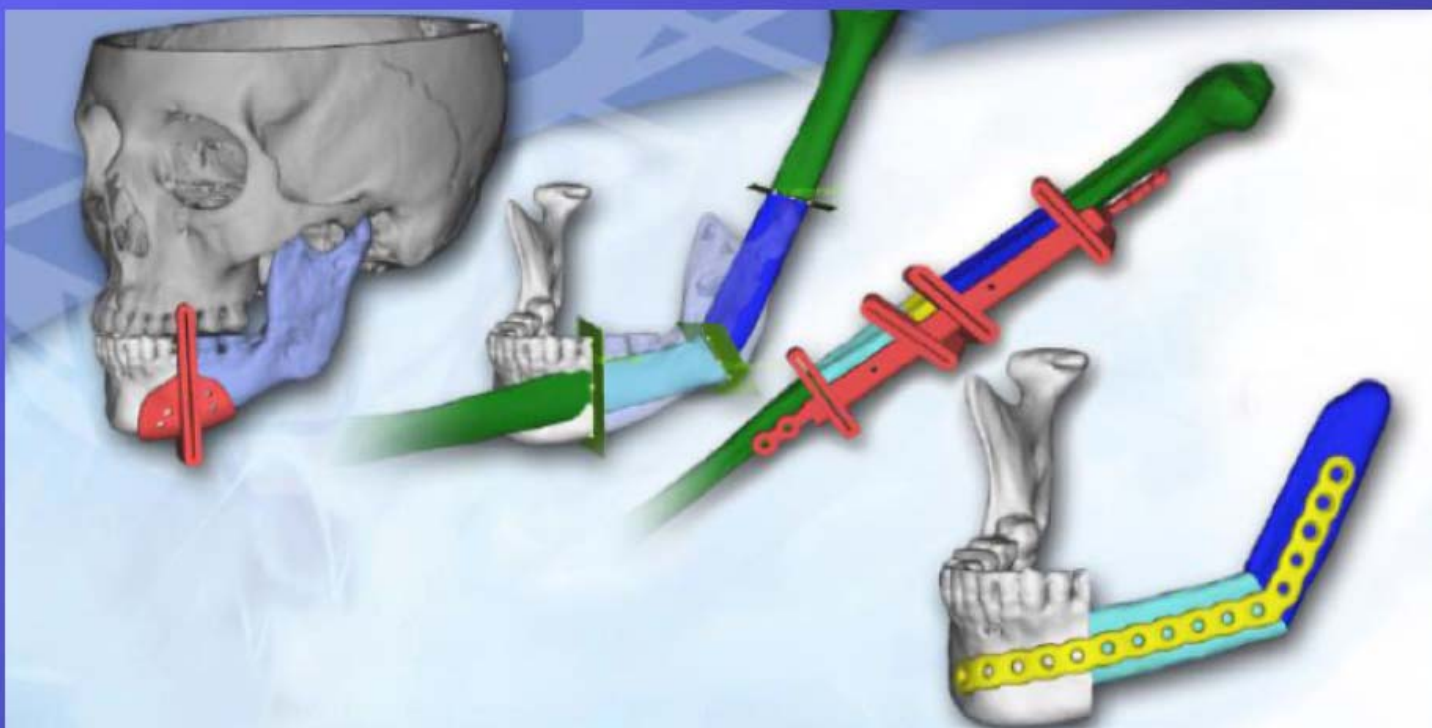
Tu spadaju uređaji opšte namene, kao što su na primer kompjuterske tastature i miševi, igračke, sedišta, kacige, obuća, ...



REVERZIBILNO INŽENJERSTVO

Interpretacije pojma RE - oblasti primene

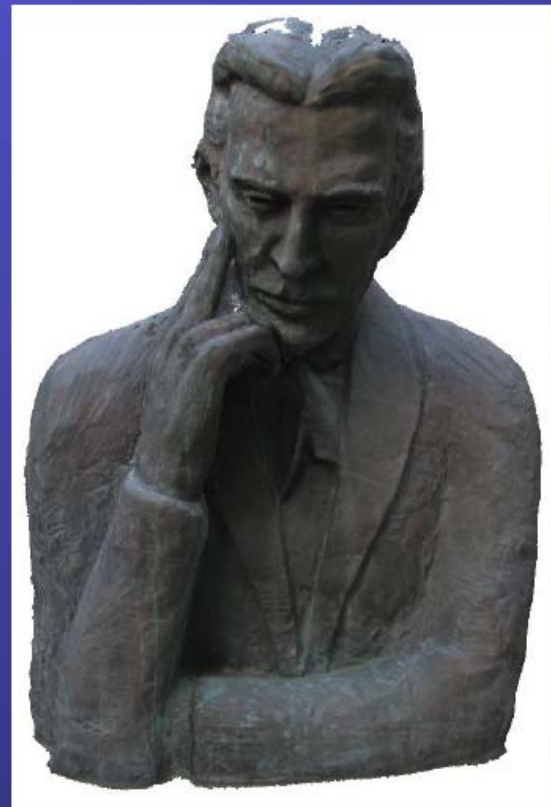
... ali i invalidska pomagala, ortopedska obuća, medicinska pomagala, hirurške vodice i implanti.



REVERZIBILNO INŽENJERSTVO

Interpretacije pojma RE - oblasti primene

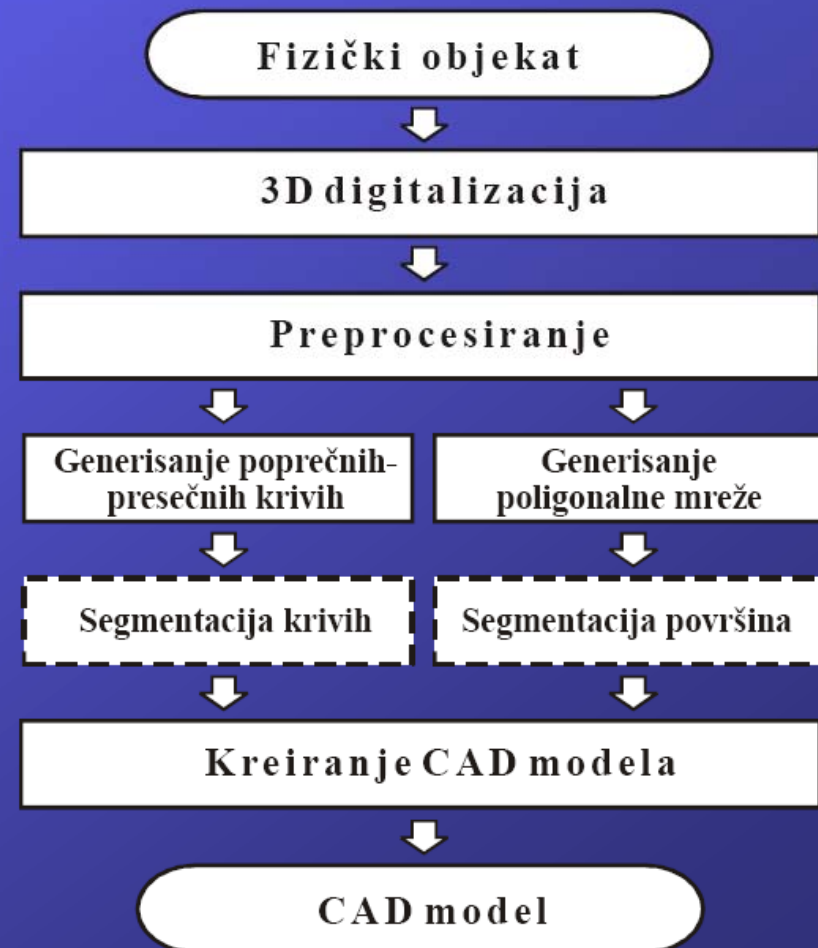
**Zaštita i restauracija spomenika
kulturne baštine**



METODOLOGIJA REVERZIBILNOG INŽENJERSTVA

U mnoštvu različitih sistema za RE, koji su se pojavili tokom poslednjih nekoliko godina, mogu se identifikovati dve, dominantne metodologije:

1. Metodologija poprečnih preseka
2. Metodologija poligonalnih modela



METODOLOGIJA REVERZIBILNOG INŽENJERSTVA

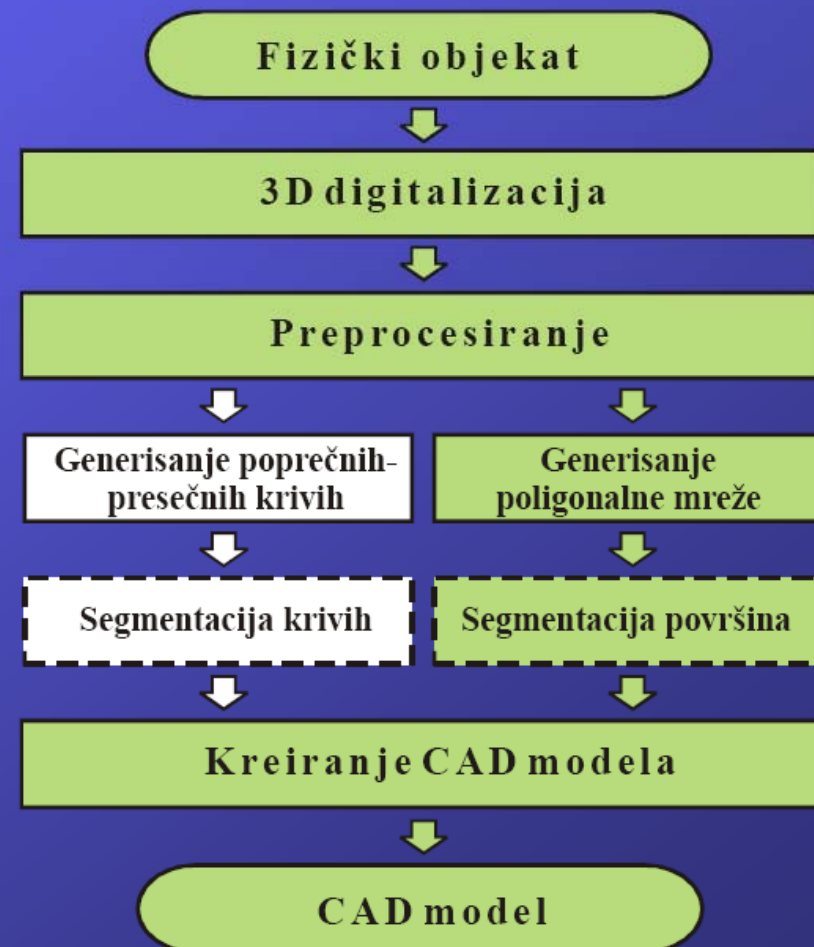
Metodologija poprečnih preseka (*cross-sectional*) je, do skora, bila dominantno zastupljena u industriji.

Zasnovana je na generisanju površinskog modela na bazi poprečnih-presečnih (konturnih) krivih.



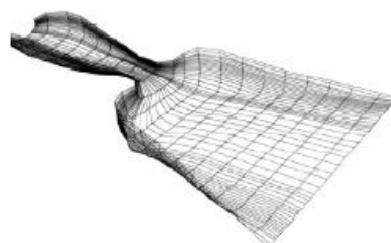
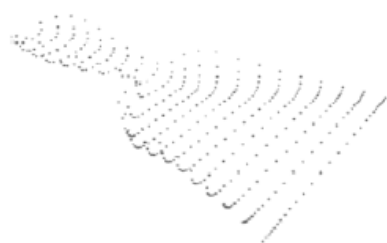
METODOLOGIJA REVERZIBILNOG INŽENJERSTVA

Kod poligonalnog pristupa, koji se danas sve više primenjuje u svim oblastima - od mašinstva preko računarskih animacija do bimoedicinskog inženjerstva - 3D površinski model se kreira konvertovanjem oblaka tačaka u poligonalnu mrežu iz koje se zatim generiše površinski model.

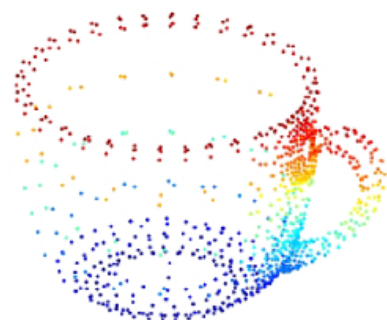


Metodi rekonstrukcije površina

1) Aproksimacija na osnovu poprečnih-presečnih krivih



2) Poligonalna aproksimacija



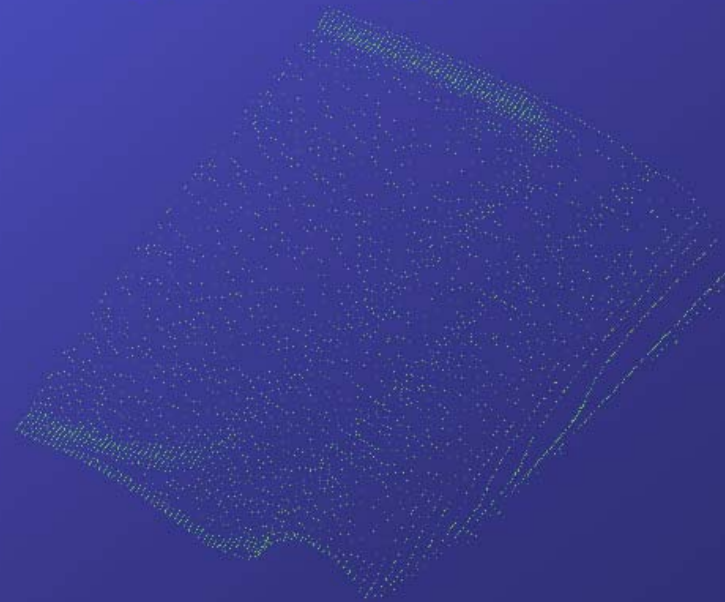
METODOLOGIJA REVERZIBILNOG INŽENJERSTVA

3D digitalizacija

Prva faza procesa RE je 3D digitalizacija, u okviru koje se vrši prikupljanje podataka o koordinatama tačaka sa površina objekta i njihovo prevođenje u digitalni oblik, odakle i potiče termin 3D digitalizacija.

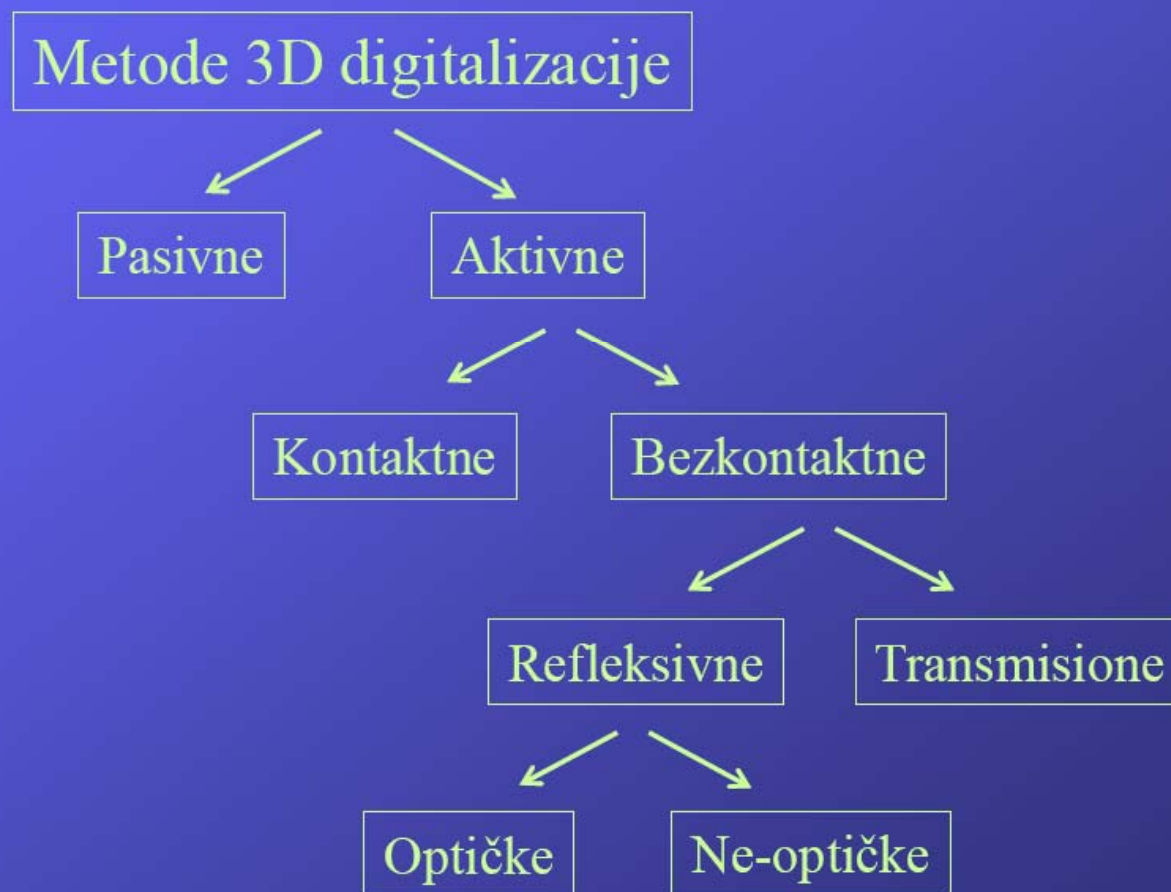
3D digitalizacija, odnosno akvizicija podataka ili skeniranje, kako se još naziva, je prva i nezaobilazna faza, koja se smatra ključnom u procesu RE, s obzirom da, u najvećem broju slučajeva određuje kvalitet rezultujućeg CAD modela.

Rezultat 3D digitalizacije je skup tačaka, koji se često u literaturi, zbog oblika koji zauzima u prostoru, naziva - *oblak tačaka*.



METODOLOGIJA REVERZIBILNOG INŽENJERSTVA

3D digitalizacija



Kontaktne metode, kao što i sam naziv sugerije, karakterije kontakt objekta i senzora, koji je ovde tipično merni pipak.

Kontaktne metode 3D digitalizacije

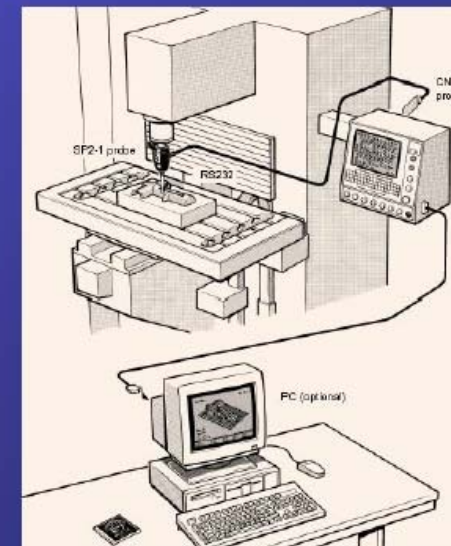
KMM (NUMM)



3D zglobne merne ruke



Merni senzor na NUMA



Refleksivne metode 3D digitalizacije



Princip: Projektovanje signala određene vrste na predmet 3D digitalizacije i detektovanje reflektovane informacije sa tog predmeta.

Optičke metode 3D digitalizacije

```
graph TD; A[Optičke metode 3D digitalizacije] --> B[Triangulacija]; A --> C[Interferometrija]; A --> D[Aktivna stereovizija]; A --> E[Aktivno (de)fokusiranje]; A --> F[Optički radar]; A --> G[Optički radar];
```

Triangulacija

Interferometrija

Aktivna stereovizija

Aktivno (de)fokusiranje

Optički radar

Triangulacija

Laserska svetlost

Strukturirana (bela) svetlost

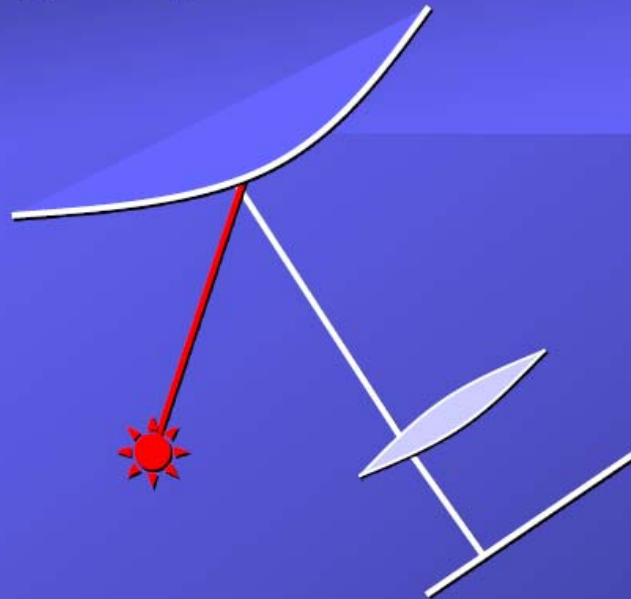


Laserski triangulacioni skener
Cyberware MS 3030



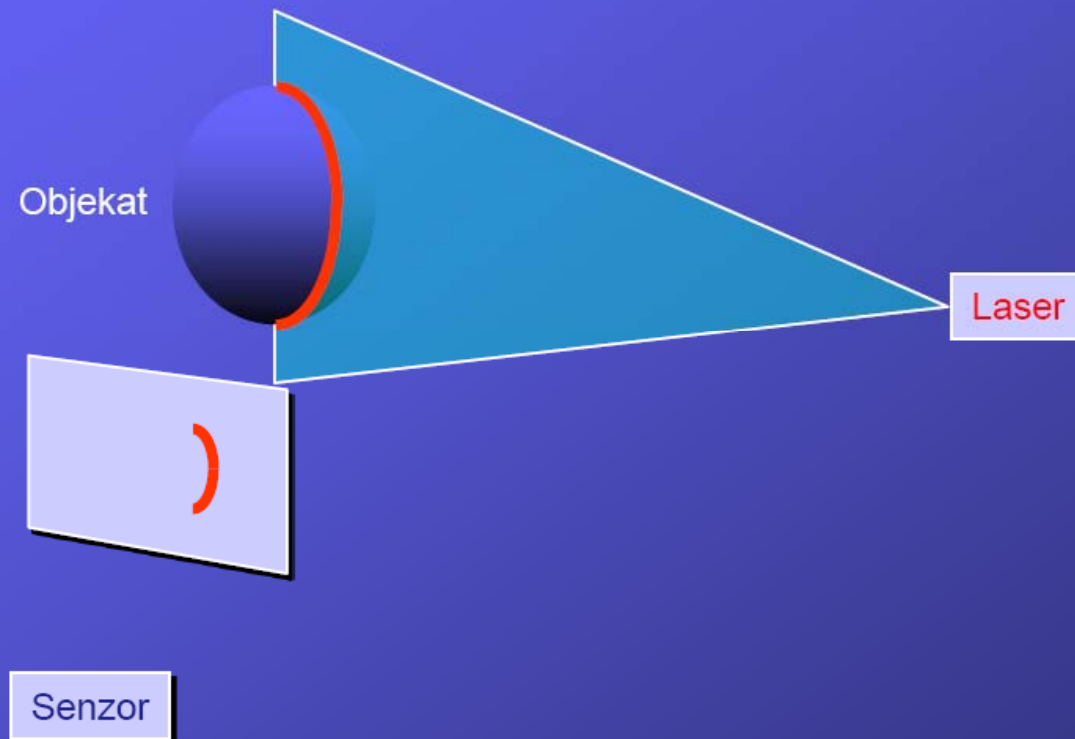
Triangulacioni skener na bazi strukturirane
svetlosti *COMET Steinbichler*

Laserska (tačkasta) triangulacija

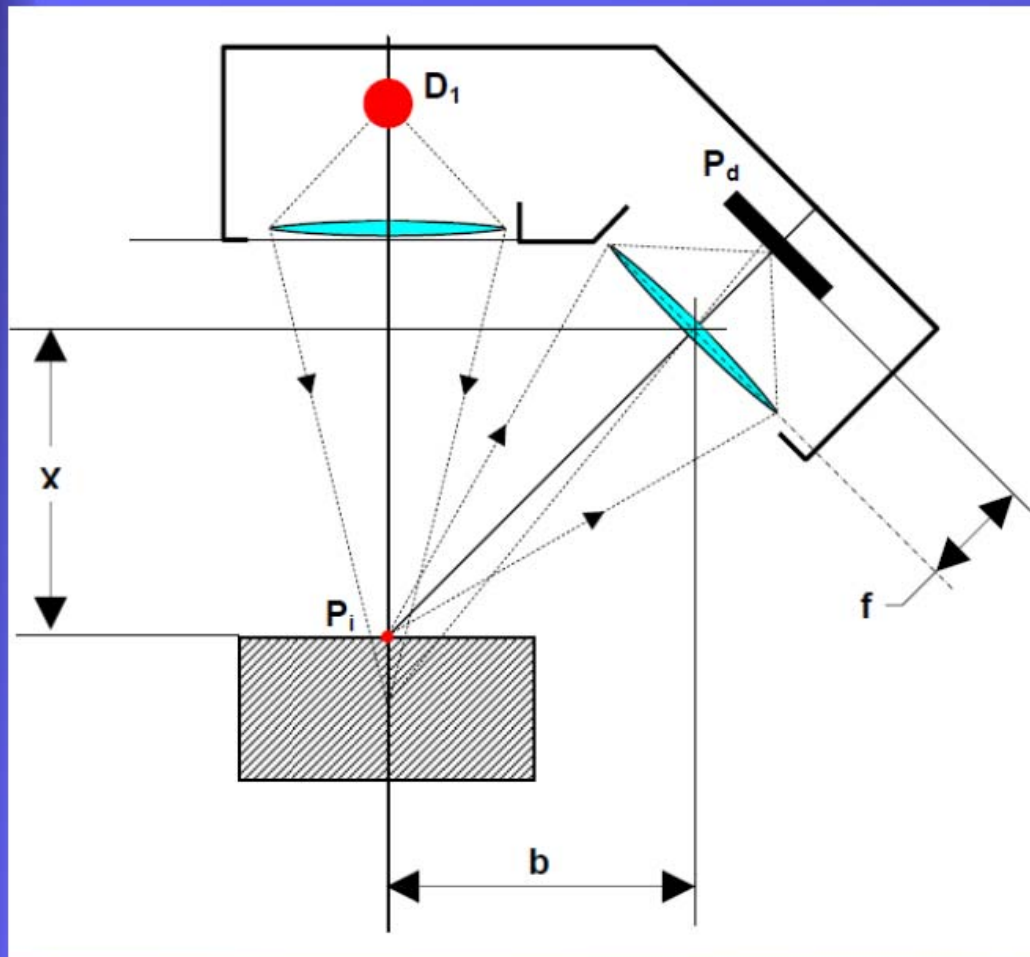


- Triangulacija je metoda koja na osnovu lokacije i uglova između izvora svetlosti i foto-osetljivog senzora (CCD) određuje poziciju.
- Izvor svetlosti visoke energije se fokusira i projektuje pod prethodno određenim uglom na željenu površinu.
- Foto-osetljivi senzor prikuplja refleksiju sa površine, a zatim se geometrijskom triangulacijom na osnovu poznatih rastojanja i uglova izračunava pozicija tačke na površini relativno u odnosu na referentnu ravan.

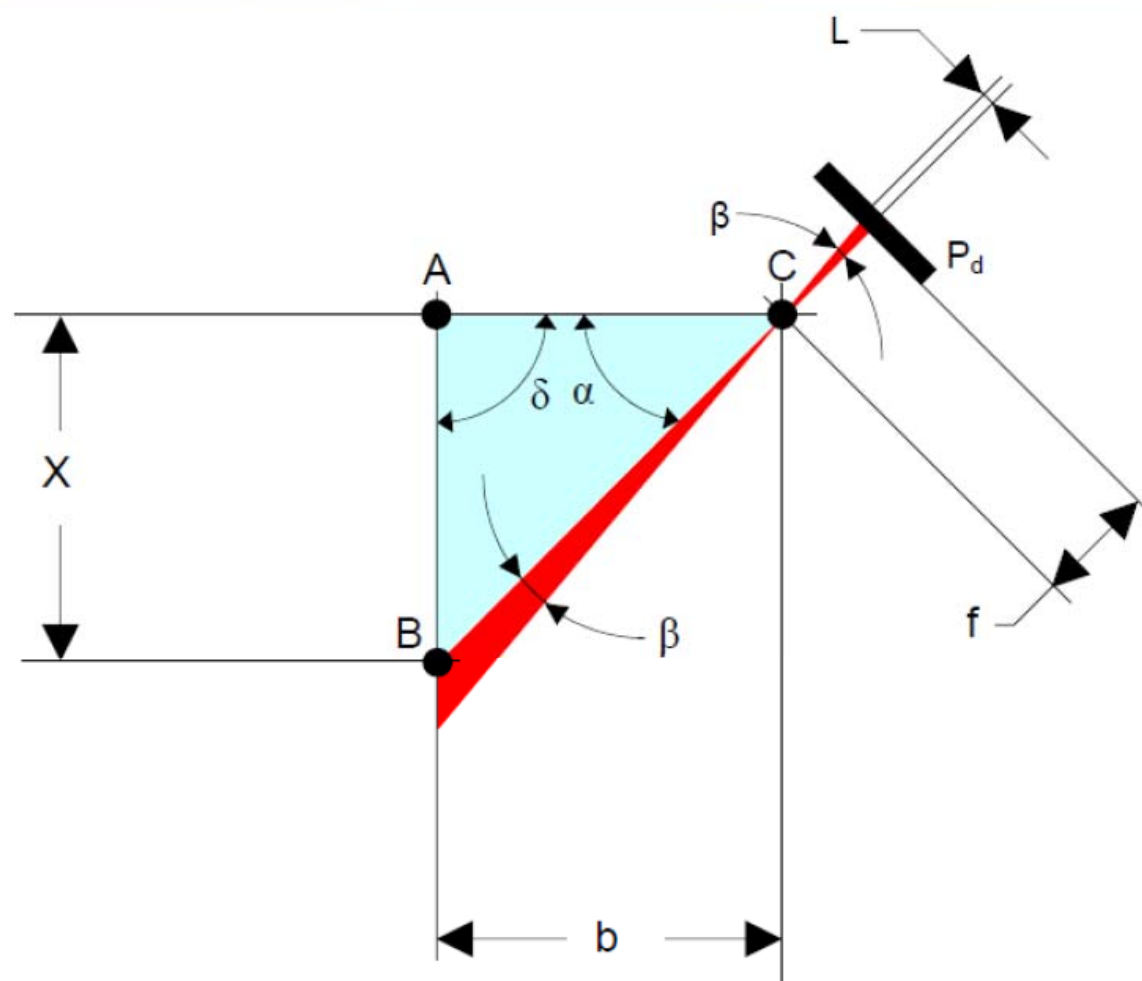
Laserska linijska triangulacija



PRINCIP TRIANGULACIJE



- Izvor svetlosti visoke energije se fokusira i projektuje pod prethodno određenim uglom na željenu površinu.
- Fotoosetljivi senzor prikuplja refleksiju sa površine, a zatim se geometrijskom triangulacijom na osnovu poznatih rastojanja i uglova izračunava pozicija tačke na površini relativno u odnosu na referentnu ravan.



$$1. AB = X$$

$$2. AC = b$$

$$3. \delta = 90^\circ$$

$$4. \alpha = 45^\circ$$

$$5. \frac{X}{b} = \tan(\alpha - \beta)$$

$$6. X = b \tan(\alpha - \beta)$$

$$7. X = \frac{(\tan \alpha - \tan \beta)}{(1 + \tan \alpha \tan \beta)} = \frac{(1 - \tan \beta)}{(1 + \tan \beta)}$$

$$8. \tan \beta = \frac{L}{f}$$

$$9. X = \frac{L}{1 + \frac{L}{f}}$$

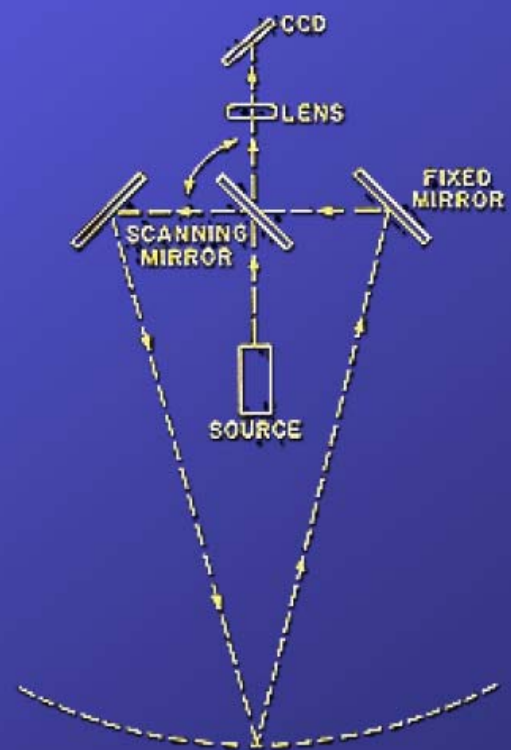
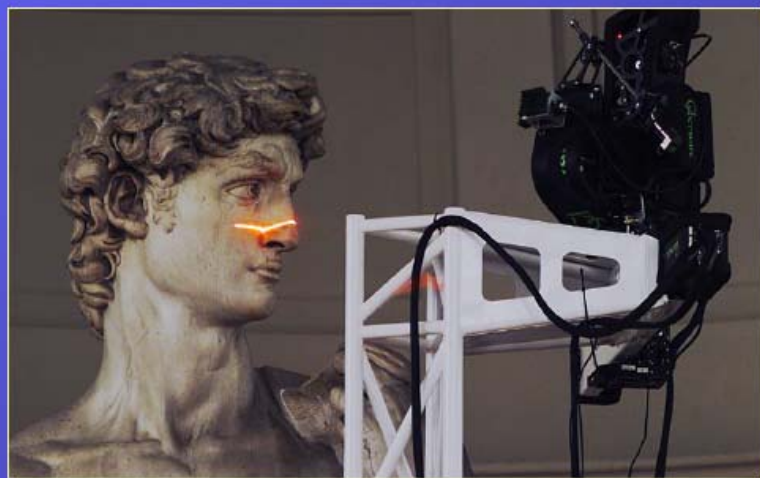
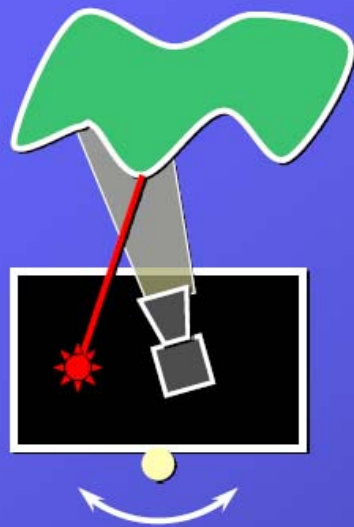
$$10. X = \frac{f - L}{f + L}$$

Metode skeniranja

Metoda skeniranja je takođe bitna karakteristika sistema za triangulaciju i predstavlja stvar izbora. Razlikuje se nekoliko metoda, kod kojih je osnovna razlika u odnosu kretanja objekta i sistema:

- ✓ Metoda kod koje je skener (svetlosni izvor i senzor) stacionaran, dok se platforma (koja nosi objekat) kreće translatorno i rotaciono u okviru vidnog polja;
- ✓ Metoda sa stacionarnim objektom i pokretnim skenerom;
- ✓ Metoda kod koje su i objekat i skener nepokretni, a rotirajuća ogledala usmeravaju svetlosni izvor i senzor preko objekta (ovde je bitno da senzor bude sinhronizovan sa svetlosnim izvorom).





Prednosti laserske triangulacije:

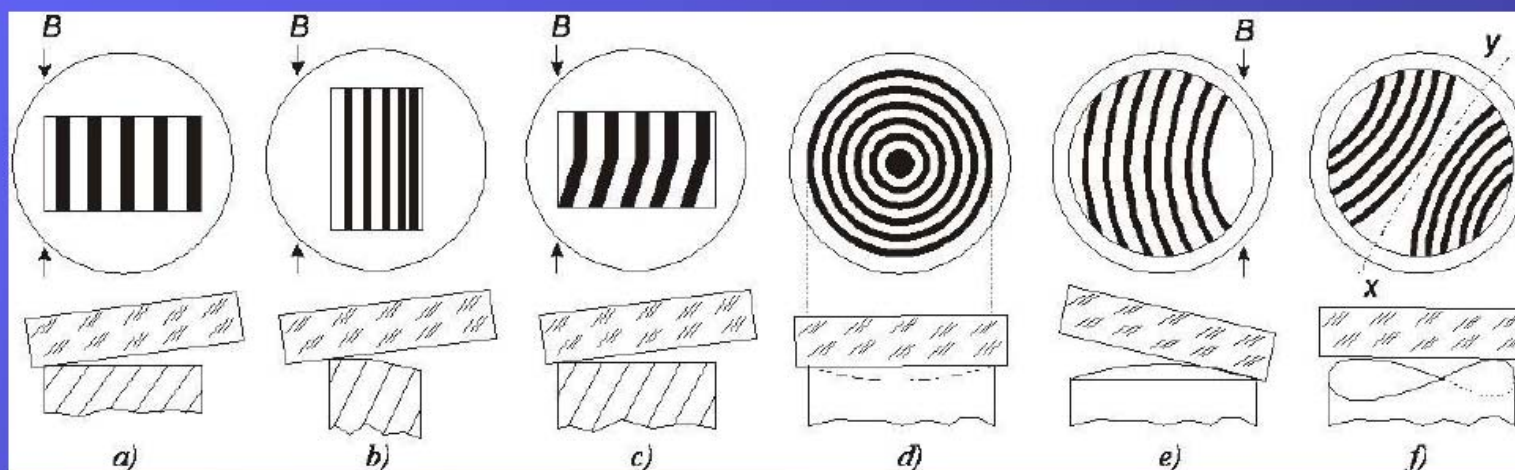
- ✓ odlično fokusiranje i sa velike udaljenosti,
- ✓ zahvaljujući činjenici da laserska svetlost ima jednoznačnu talasnu dužinu, moguće je "prekriti" senzor sa pojasnim filterom za tu talasnu dužinu, čime se smanjuje osetljivost na ambijentalno osvetljenje i samim tim smanjuje i mogućnost eventualne greške,
- ✓ kod lasera primenjivanih za triangulaciju se ne javlja problem rasipanja toplote, što je kod nekoherentnih svetlosnih izvora čest slučaj.

Nedostaci laserske triangulacije:

- ✓ pojava takozvanih laserskih pega (randomizirana koherentna interferencija zahvaljujući hrapavosti površine),
- ✓ potreba za specijalnim zaštitnim merama kod lasera koji rade na vidljivim i ultraljubičastim talasnim dužinama,
- ✓ proces akvizicije podataka laserskom triangulacijom je, usled toga što se primenjuje samo za jedno-tačkasto ili jedno-linijsko skeniranje, sporiji (po jednom merenju se kod jedno-linijske laserske triangulacije mogu dobiti podaci za oko 512 tačaka).

Interferometrija

Princip se zasniva na analizi interferentnih pruga (šablona) čiji oblik je posledica vrste neravnina na površini koja se digitalizuje.



Oblik i raspored interferentnih pruga u zavisnosti od oblika ispitivane površine

- a) ravna površina, b) delimično ravna i delimično zaobljena površina,*
- c) površina sa bočnim zakošenjem, d) sferna – konveksna površina,*
- e) sferna – konkavna površina, f) sferna – kombinovana površina*

Optičke metode za 3D digitalizaciju

Triangulacija

Interferometrija

Aktivna stereovizija

Aktivno (de)fokusiranje

Optički radar

FOTOGRAMETRIJA

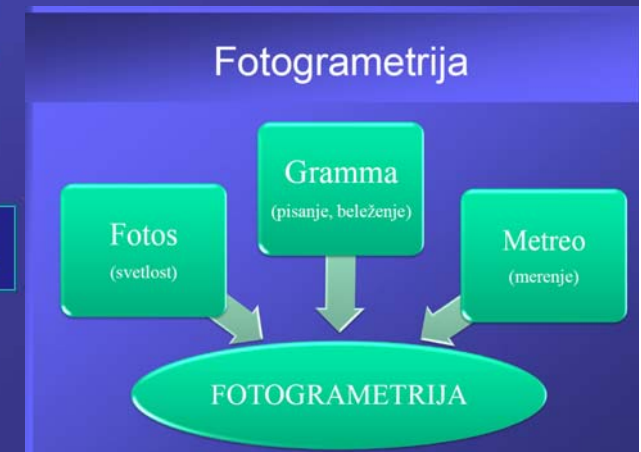
Fotogrametrija

Fotos
(svetlost)

Gramma
(pisanje, beleženje)

Metreo
(merenje)

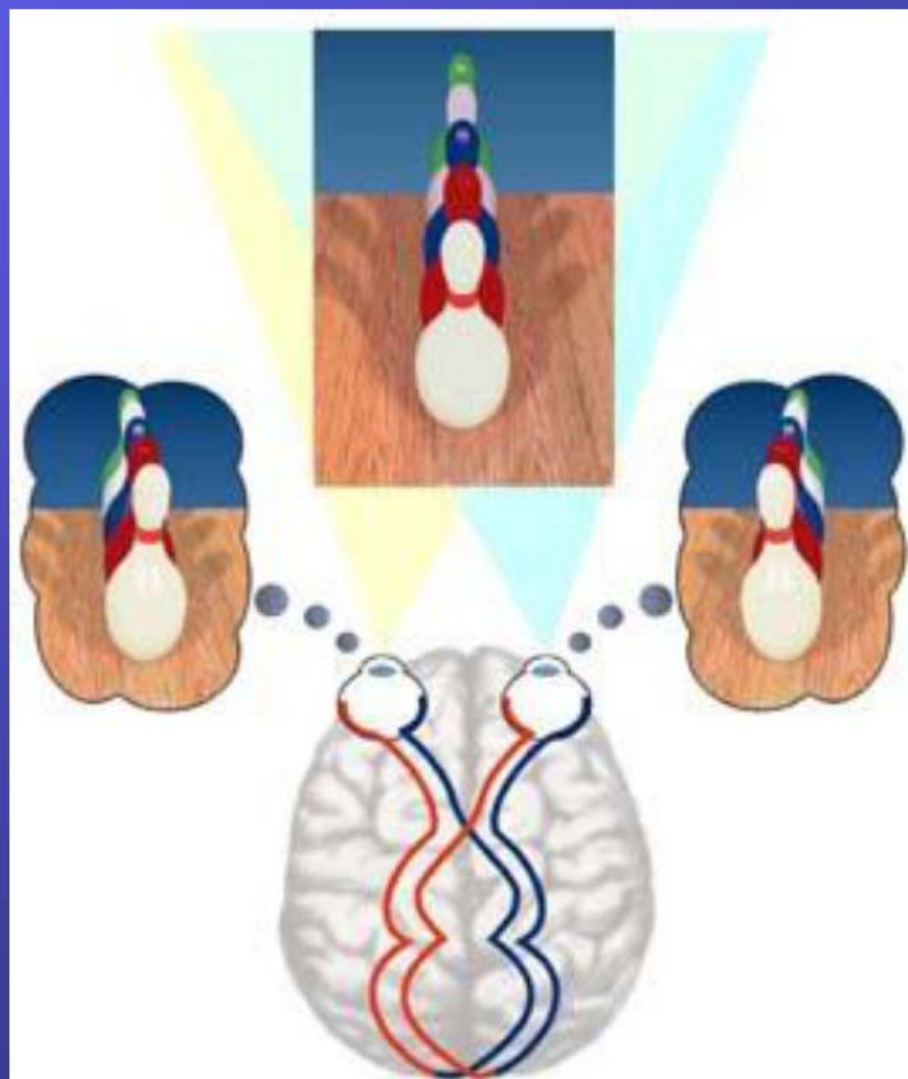
FOTOGRAMETRIJA



Fotogrametrija kao metoda stereovizije

Stereovizijski princip:

Projektovanje dve slike istog objekta, snimljene pod različitim uglovima, omogućuje stvaranje efekta treće dimenzije, tj. dubine.



Princip stereovizijske fotogrametrije

Izračunavanje
udaljenosti **dodatnih**
tačaka



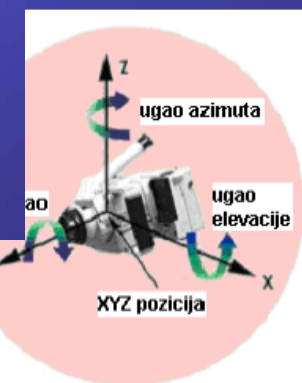
Izračunavanje
udaljenosti **referentn**
tačaka

Uticajni faktori na tačnost fotogrametrije

1. Veličina objekta koji se digitalizuje
2. Broj (parova) fotografija
3. Višestruka pokrivenost objekta - preklapanje fotografija (isti delovi objekta vidljivi na 2 i više fotografija)
4. Rezolucija fotografija



Princip triangulacije kod stereovizije



Parametri kamere

Optički radar

```
graph TD; A[Optički radar] --> B[Na principu proračuna vremena]; A --> C[Na principu amplitudne modulacije];
```

Na principu
proračuna vremena

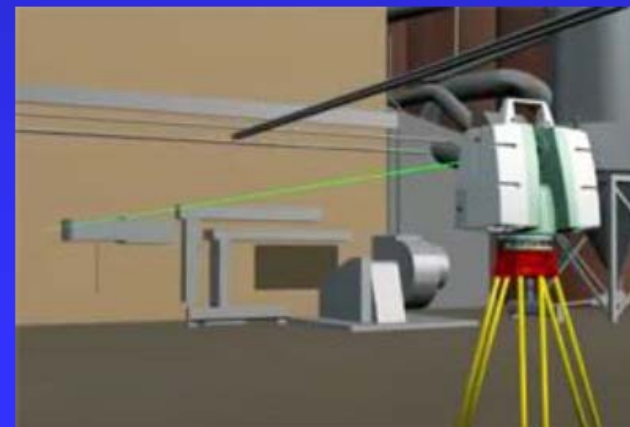
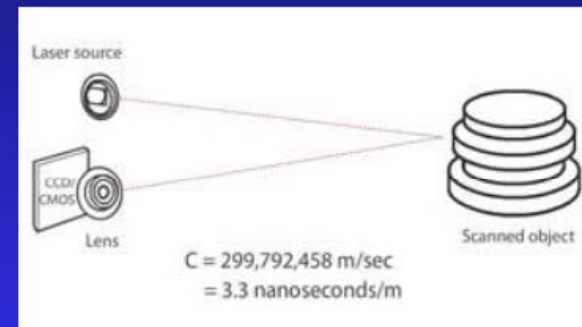
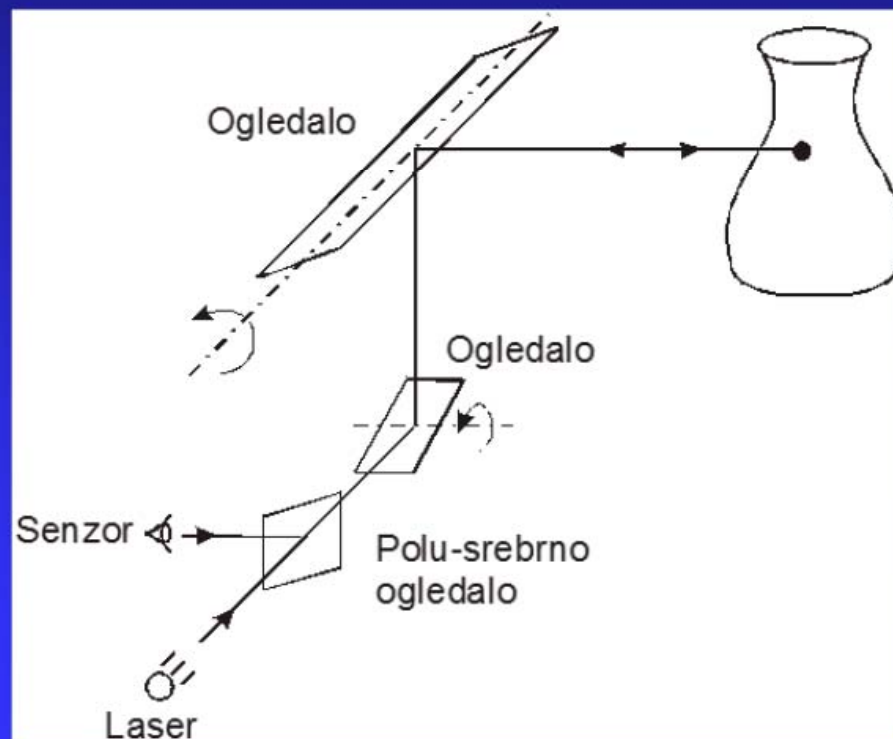
Na principu amplitudne
modulacije

Optički radar na principu proračuna vremena

Radari ove vrste određuju oblik objekta proračunavanjem daljine tačaka preko merenja vremena potrebnog da impuls laserske svetlosti stigne do tačke na objektu i da se vrati do senzora. Daljina r se izračunava iz sledeće jednakosti:

$$r = c \cdot t / 2$$

gde je t izmereno vreme, a c brzina svetlosti u vazduhu.



Optički radar na principu amplitudne modulacije

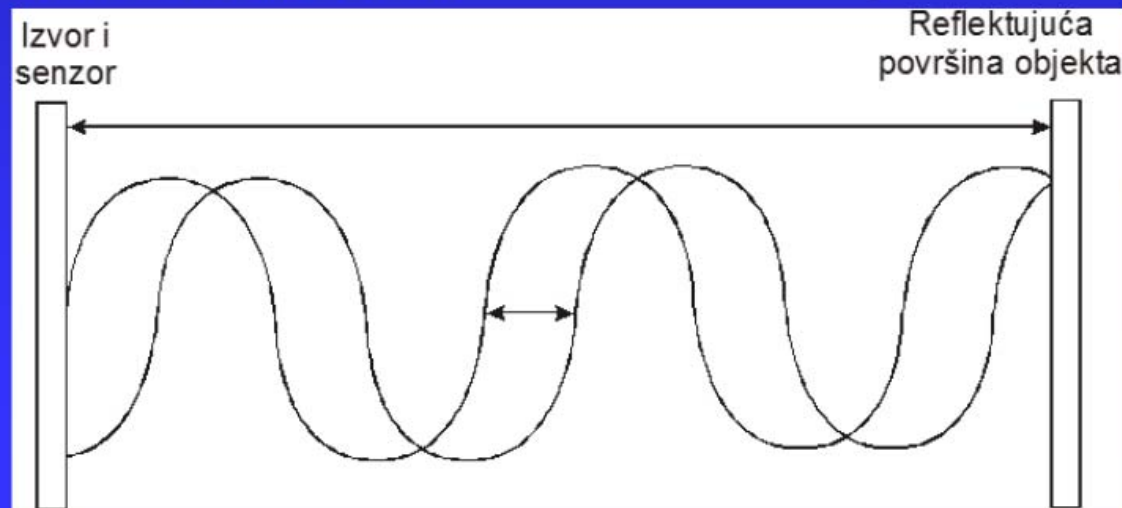
Kod ove vrste optičkih skenera, laser neprestano radi, ali se jačina snopa sinusoidno modulira tokom vremena;

Nakon što se odbije od objekta i vrati do senzora, reflektovana svetlost i dalje ima sinusoidnu promenu jačine u vremenu, ali fazno pomerenu u odnosu na emitovanu svetlost;

Merenjem fazne razlike emitovane i reflektovane svetlosti moguće je izračunati udaljenost tačke r na objektu preko sledeće jednakosti:

$$r(\Delta\varphi) = \frac{1}{2} \cdot \lambda_{AM} \cdot (\Delta\varphi \pm 2\pi n) / 2\pi$$

gde su: $\Delta\varphi$ – fazna razlika emitovane i reflektovane svetlosti i λ_{AM} – talasna dužina moduliranog signala.



Ne-optičke metode za 3D digitalizaciju

```
graph TD; A[Ne-optičke metode za 3D digitalizaciju] --> B[Mikrotalasni radar]; A --> C[Ultrazvuk];
```

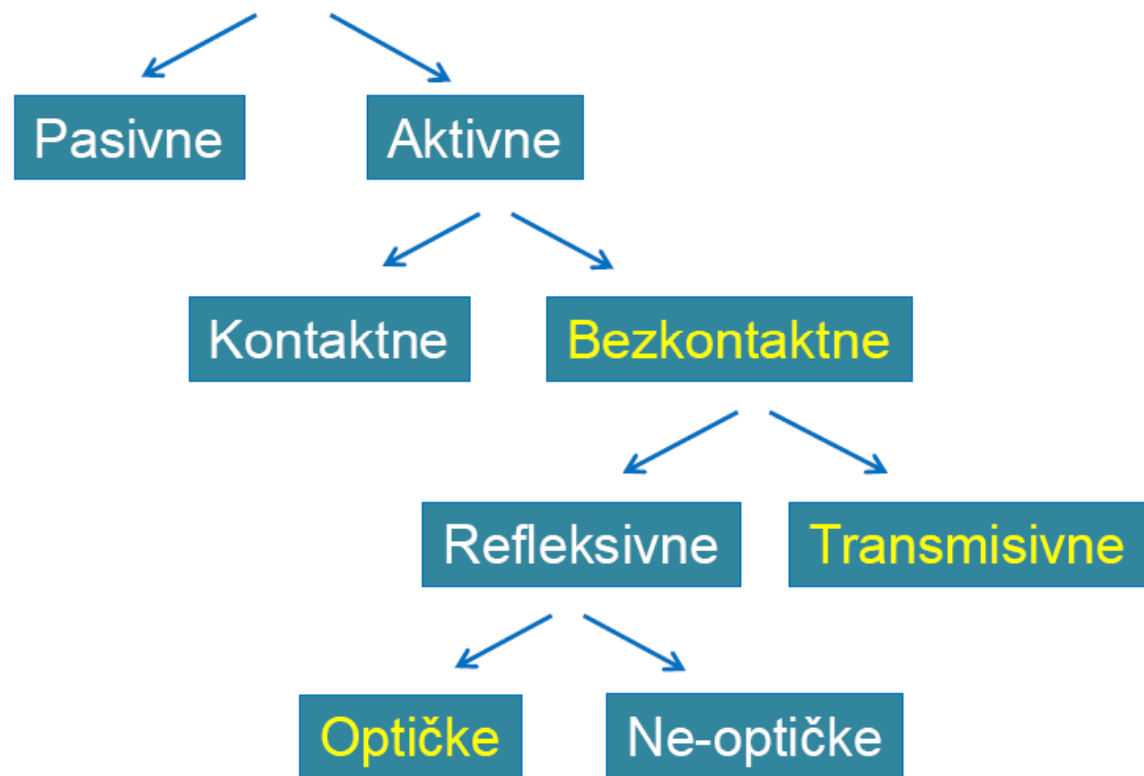
Mikrotalasni radar

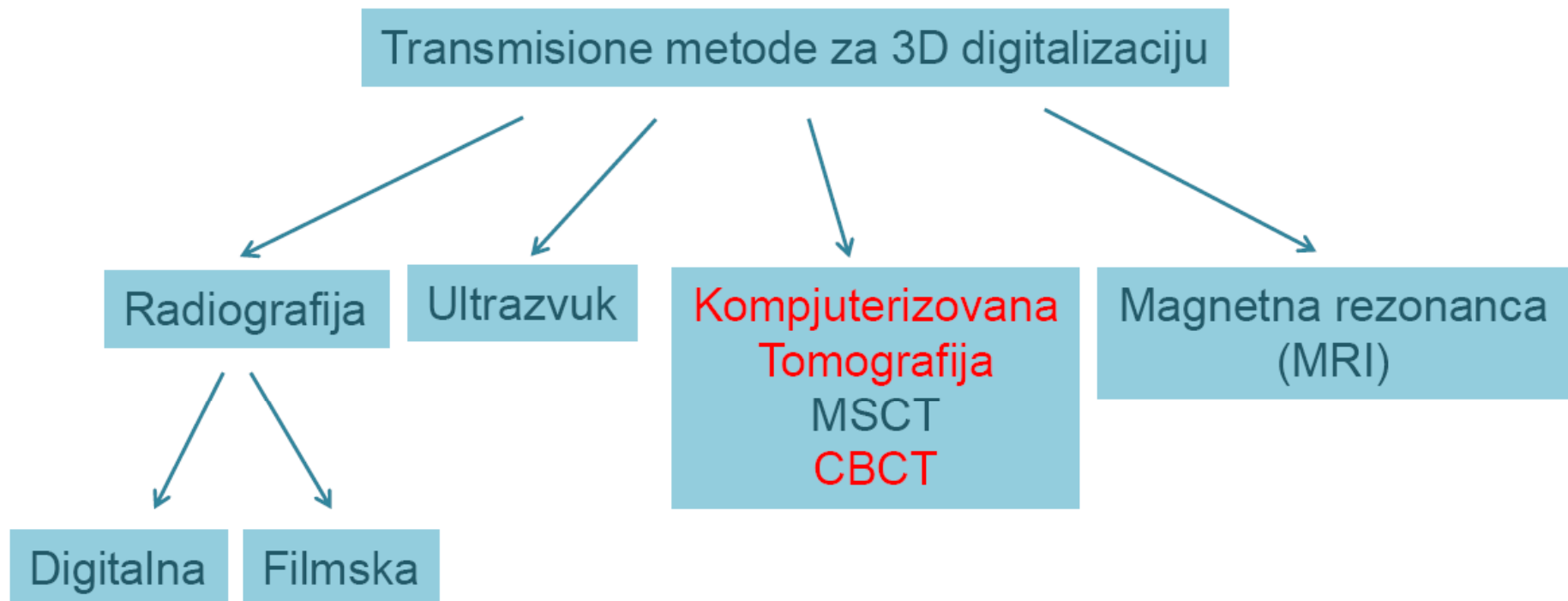
- *Merenje vremena potrebnog impulsu mikrotalasne energije da dođe do objekta i da se vrati*

Ultrazvuk

- *Merenje vremena potrebnog zvučnom impulsu da dođe do objekta i da se vrati*

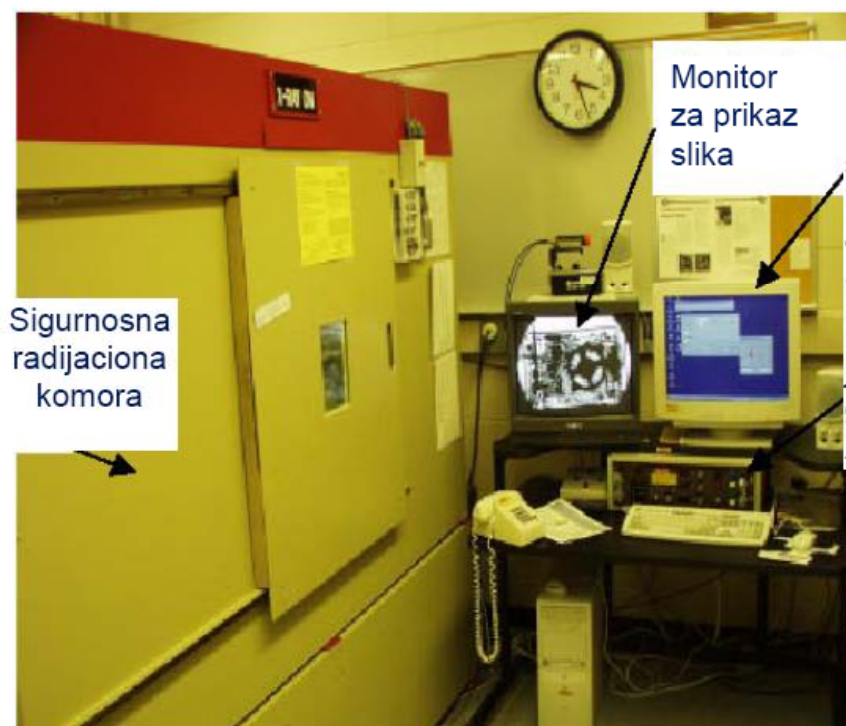
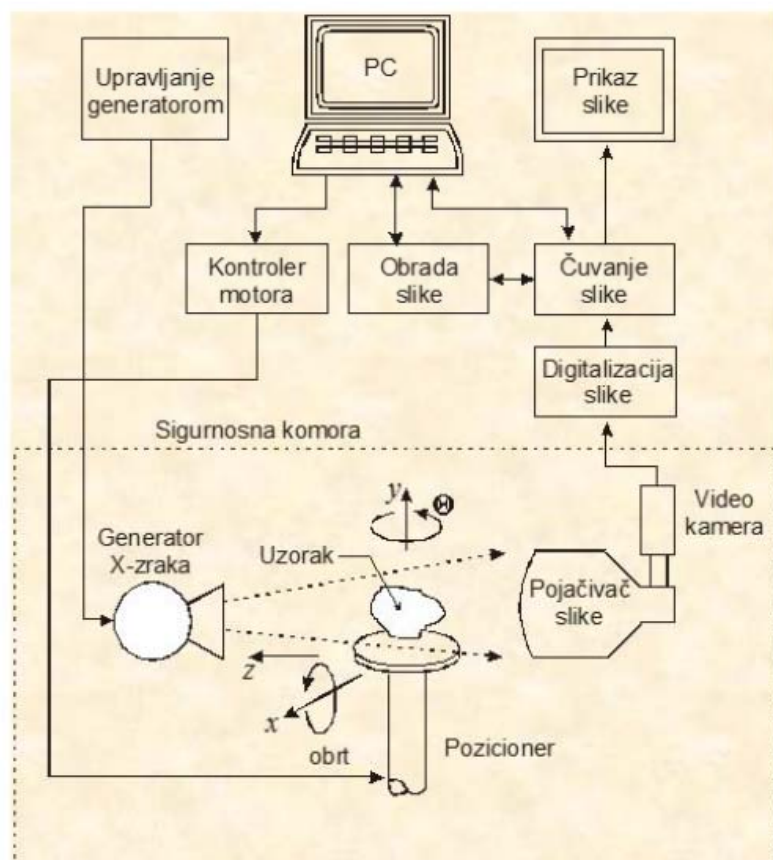
Metode 3D digitalizacije





Transmisione metode detektuju slabljenje signala (najčešće energetski) nakon prolaska kroz mereni objekat, odnosno mere količinu energije koju objekat nije apsorbovao.

Digitalna radiografija (radiografija u realnom vremenu)



Sigurnosna
radijaciona
komora

Monitor
za prikaz
slike

Računar sa
softverom za
"skidanje",
obradu i
čuvanje slike

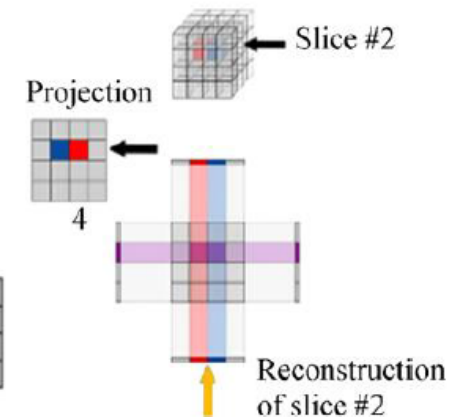
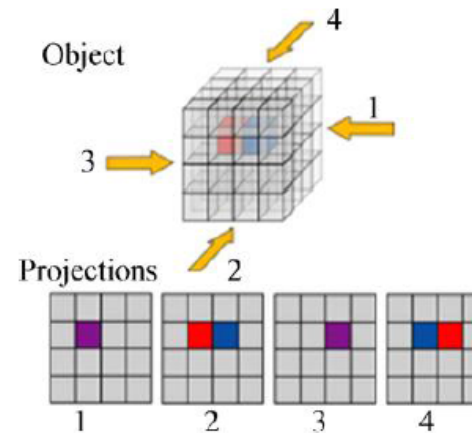
Upravljačka
jedinica
generatora
X-zraka

Kompjuterizovana tomografija

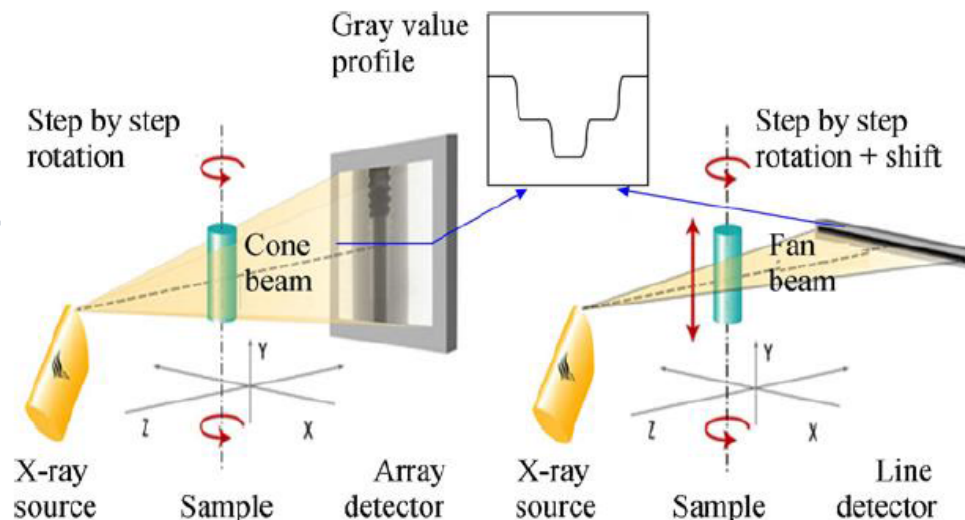
Pri prolasku kroz materijal dela, **X-zraci atenuiraju (slabe) usled apsorpcije** ili rasejavanja;

Nivo atenuacije zavisi od:

- **dužine puta koji prelaze** unutar apsorbirajućeg materijala,
- **strukture materijala** i njegove **gustine** (odnosno atenuacionog koeficijenta μ) i
- **energije X-zraka**.



Cone Beam CT 2D detektor

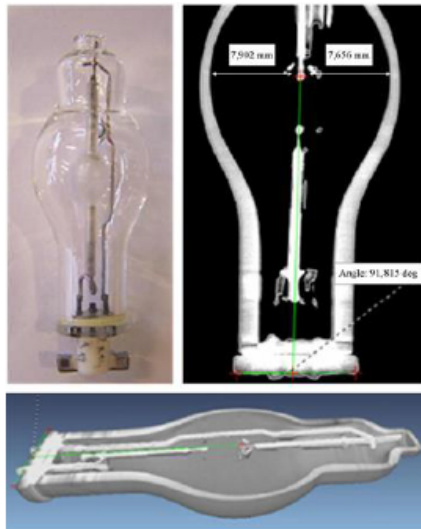


Multi slice CT 1D detektor

CT je jedina tehnologija pomoću koje je moguće 3D digitalizovati objekte sa nedostupnim unutrašnjim površinama:

- proizvodi proizvedeni **aditivnom proizvodnjom**;
- proizvodi od više materijala:
 - dvo-komponentni proizvodi od plastike i
 - plastični delovi sa umetcima od metala;

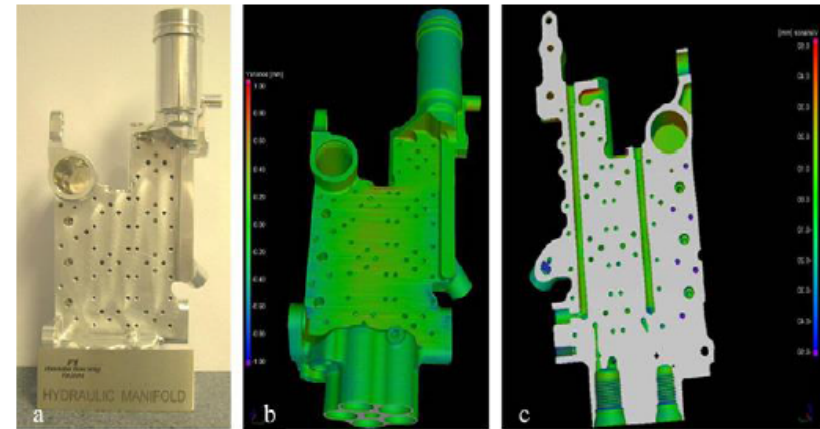
multi-material lamp bulb



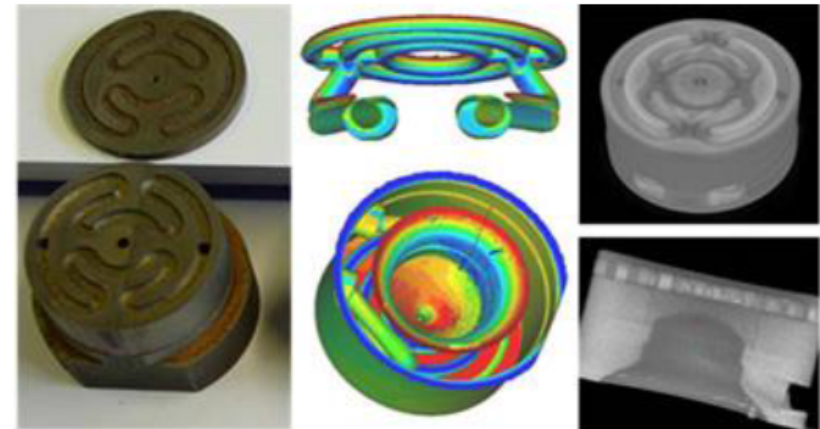
multi-material assemblies



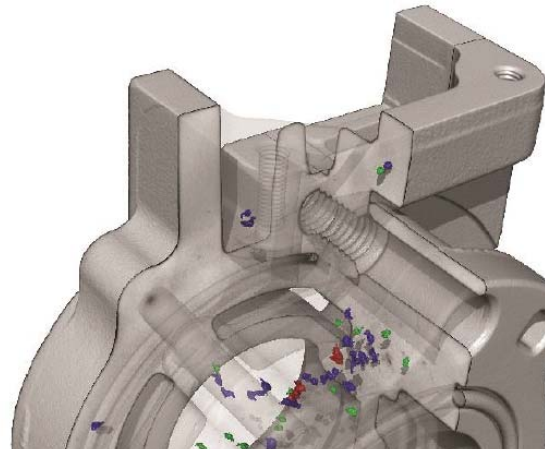
comparison of outer and inner geometry with CAD model



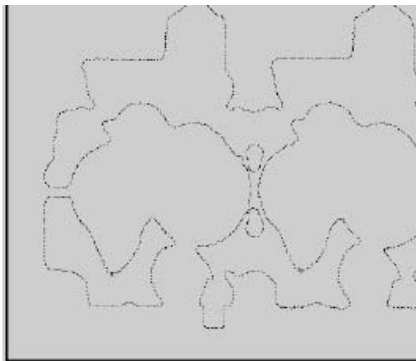
layered manufactured nozzle with complex internal channels



- ✓ Zahvaljujući relativno dobroj prodornosti X-zraka, kao i osetljivosti na gustinu materijala objekta, CT omogućava nedestruktivnu karakterizaciju i unutrašnjosti objekta, što ga čini vrlo pogodnim za primenu u industrijskoj inspekciji.



rši se rekonstrukcija
šta se koriste softveri
mentaciju.
a tačaka čijim daljim
AD model.



- ✓ Zahvaljujući relativno dobroj prodornosti X-zraka, kao i osetljivosti na gustinu materijala objekta, CT omogućava nedestruktivnu karakterizaciju i unutrašnjosti objekta, što ga čini vrlo pogodnim za primenu u industrijskoj inspekciji.
- ✓ Pored toga, opet zahvaljujući osobinama X-zraka, CT se podjednako dobro primenjuje i na metalnim i na plastičnim delovima, bilo glatkih ili teksturisanih površina, i to kako od solid (punih) tako i od vlaknastih materijala.
- ✓ CT je indiferentna na kvalitet obrađene površine.
- ✓ Ukupna geometrija objekta se dobija u samo jednom skenirajućem prolazu, čime se eliminise potreba za uklapanjem više oblaka tačaka.
- ✓ Dodatna prednost CT jeste u tome što ne zahteva nikakve dodatne pribore i nije potrebno ni prethodno ni naknadno pomeranje objekta.

Proces CT na primeru bloka motora

PRE-PROCESIRANJE REZULTATA 3D-DIGITALIZACIJE

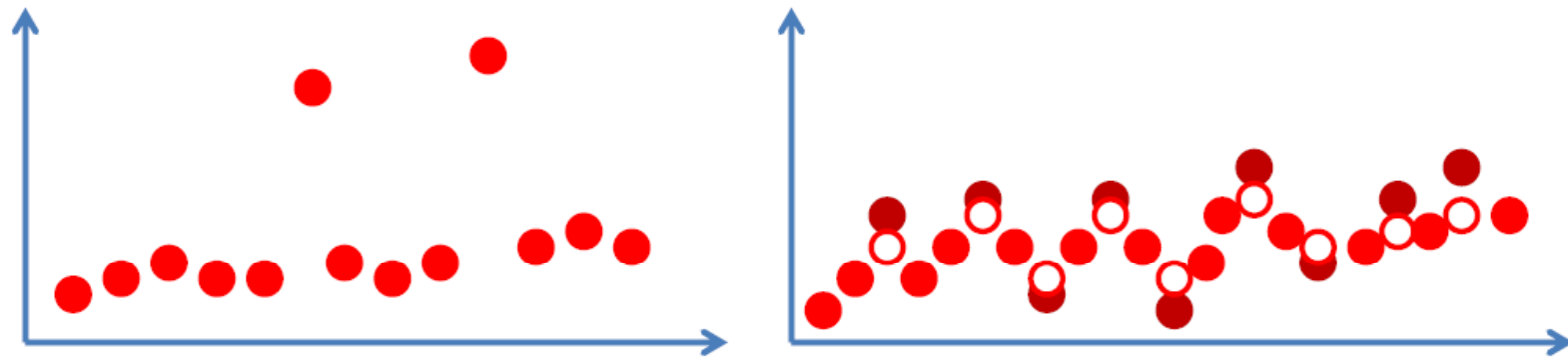
- Nakon procesa 3D digitalizacije javlja se veliki broj praktičnih problema vezanih za oblak tačaka, kao što su:
 - prisustvo šuma, odnosno grešaka merenja i pikova,
 - (pre)veliki broj (suvišnih) tačaka,
 - neorganizovanost podataka,
 - nepotpunost podataka itd.
- Osnovna posledica navedenih problema jeste neadekvatni CAD model, koji ne odgovara originalnom objektu, zbog čega je neophodno obezbediti kvalitetno preprocesiranje podataka.

Kao osnovne faze procesa pre-procesiranja rezultata 3D-digitalizacije, mogu se izdvojiti:

1. Filtriranje podataka-tačaka;
2. Segmentacija podataka-tačaka;
3. Registracija podataka-tačaka i
4. Redukovanje podataka-tačaka.

Filtriranje podataka-tačaka

Neki od češćih problema vezanih za oblak-tačaka su prisustvo impulsnog šuma i neuravnnjenost tačaka u okviru niza podataka.



Prvi korak u okviru pre-procesiranja je filtriranje, čije su dve osnovne funkcije:

- 1) eliminisanje impulsnog šuma i
- 2) uravnavanje (glačanje) podataka-tačaka.

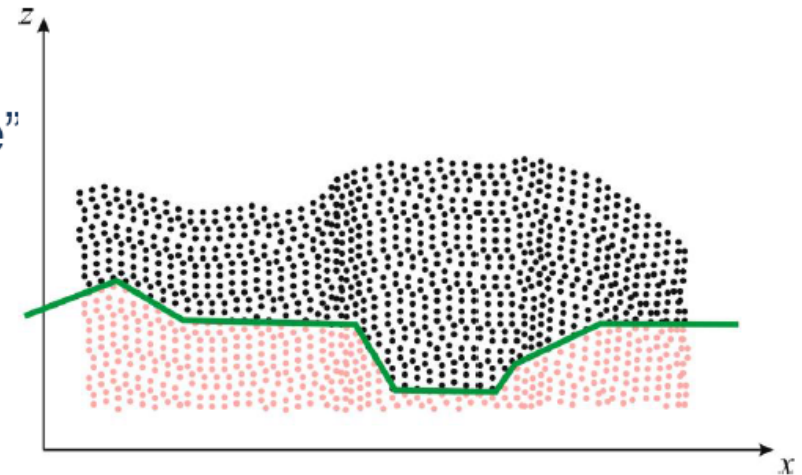
Metoda segmentirane linije

Ova metoda je “sophisticiranija” varijanta prethodne i podrazumeva odvajanje (separaciju) delova oblaka-tačaka koji predstavljaju greške merenja (ili neželjene tačke) pomoću filter linije.

Najčešće varijante filter linija su “izlomljene” linije koje čine pravolinijski segmenti definisani koordinatama početne i krajnje tačke u izabranoj ravni x-y, x-z ili y-z.

Moguće su i varijante sa kreiranjem “izlomljene” filter linije u nekoj proizvoljnoj ravni, što mora biti podržano mogućnošću transformacija koordinatnog sistema.

Nakon kreiranja filter linije, eliminišu se tačke sa njene željene strane

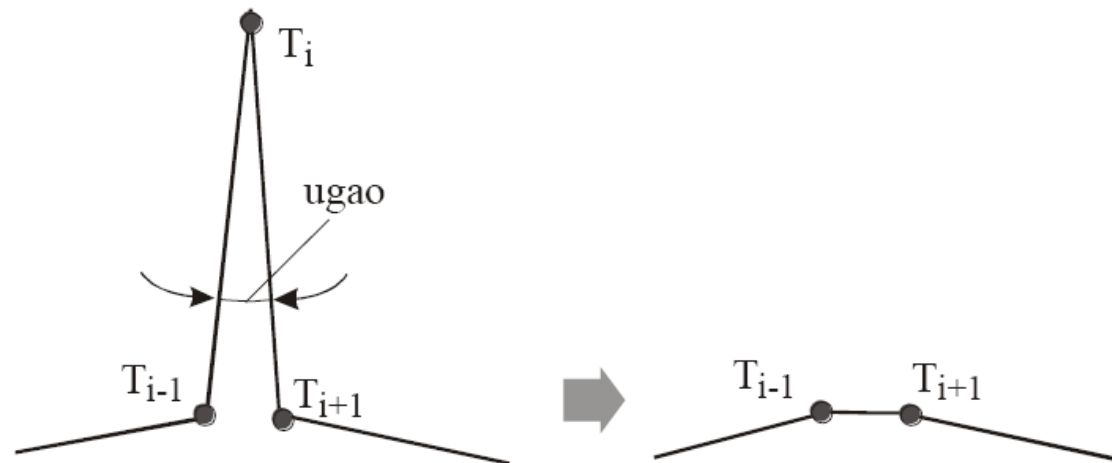


Metoda ugla

Ova metoda se primenjuje za uklanjanje tačaka-izvan-opsega iz niza tačaka u okviru sekcijских preseka.

Kod odstranjivanja ovih tačaka, dve susedne tačke eliminisanoj tački se povezuju pravom linijom, a kao kriterijum za odlučivanje da li se radi o tački-izvan-opsega, primenjuje se ugao koji čine posmatrana tačka (T_i) i njoj susedne dve (T_{i-1}) i (T_{i+1}).

Ukoliko je taj ugao manji od minimalno dozvoljenog, zadatog od strane korisnika (neka vrednost koja se primenjuje u praksi je oko 15°) posmatrana tačka se eliminiše.

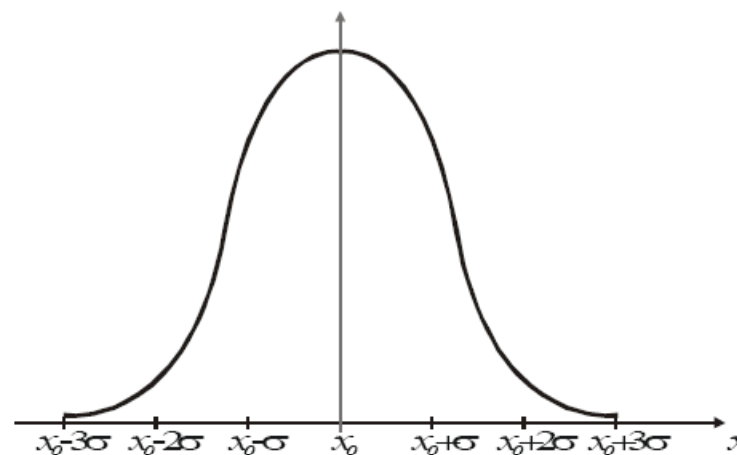


Metoda filtriranja šuma preko kontrolnih granica (statističke ocene)

Ova metoda je zasnovana na određivanju razmaka poverenja u okviru kojeg se, sa određenom verovatnoćom, može očekivati da će se nalaziti posmatrana karakteristika osnovnog skupa.

Ako se raspodela empirijski dobijenih rezultata prilagodi opštoj krivoj normalne raspodele, moguće je izračunati površinu ispod krive normalne raspodele (Gausove krive) za bilo koje granice, odnosno izračunati količinu empirijski dobijenih podataka koji leže unutar ili izvan zadatih (kontrolnih) granica.

Metoda se može uspešno primenjivati u slučajevima skeniranih krivih bez velikih promena nivou krivosti.



Udaljenost bilo koje vrednosti slučajno promenljive X do srednje vrednosti X_0 , može se izraziti preko višestruke standardne devijacije σ

$$X - x_0 = t \cdot \sigma$$

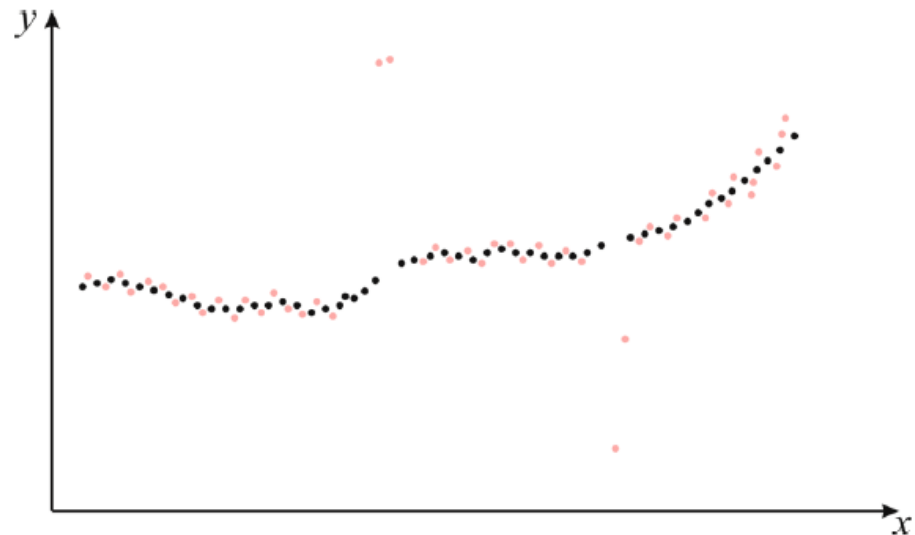
Urnvananje podataka-tačka

Nakon uklanjanja pikova, kvalitet rezultata 3D-digitalizacije može se dalje poboljšati operacijom urnvananja (glačanja) niza podataka-tačka.

Primena ove operacije eliminiše velike oscilacije tačka i ima za rezultat mirniju raspodelu tačka, koja kasnije obezbeđuje kreiranje kvalitetnijih sekcijskih krivih, odnosno 3D modela.

Među metodama za urnvananje podataka-tačka se ističu:

- 1)metoda srednjih vrednosti i
- 2)metoda medijane.



Redukovanje podataka-tačaka u rezultatu 3D digitalizacije

U praksi se primenjuje veći broj metoda za redukovanje podataka, a trenutno primenjivane metode se mogu klasifikovati u tri kategorije:

- I. metode semplovanja,
- II. metode za redukovanje broja poligona u poligonalnom modelu i
- III. mrežne metode.

procesiranja i kvaliteta (tačnosti) dobijenih modela.

potreban veći broj tačaka, dok je kod jednostavnijih površina moguće zanemariti određene podatke-tačke i pri tome ipak postići zadovoljavajuću tačnost u rekonstruisanju površine.

U kontekstu toga, može se reći da se **karakteristične tačke** površina nalaze **na mestima gde krivost ima veće varijacije**.

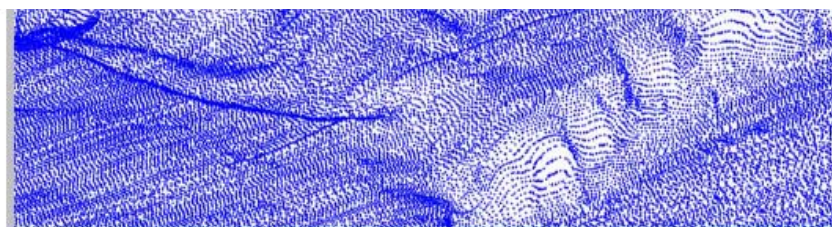


"Original"



"Redukovani" model (77.86 %)

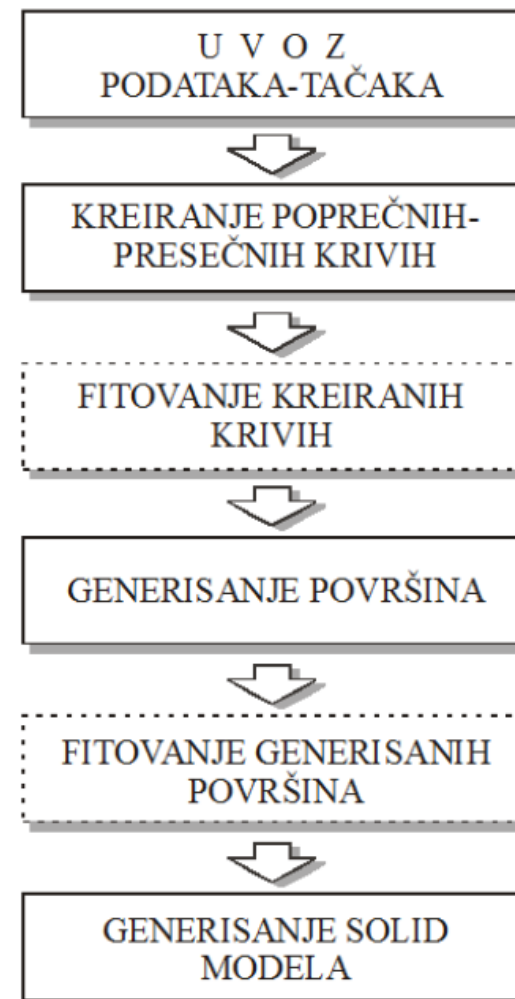
~200 140



Aproksimacije na osnovu krivih

Generisanje poprečnih-presečnih krivih

Nakon što su faze filtriranja i redukovanja podataka završene, u okviru četvrte faze se, od preprocesiranog skupa tačaka, vrši strukturiranje (grupisanje) podataka-tačaka po poprečnim-presečnim krivama, na osnovu kojih se u narednom koraku generišu površinski modeli.



Generisanje formata izlazne datoteke

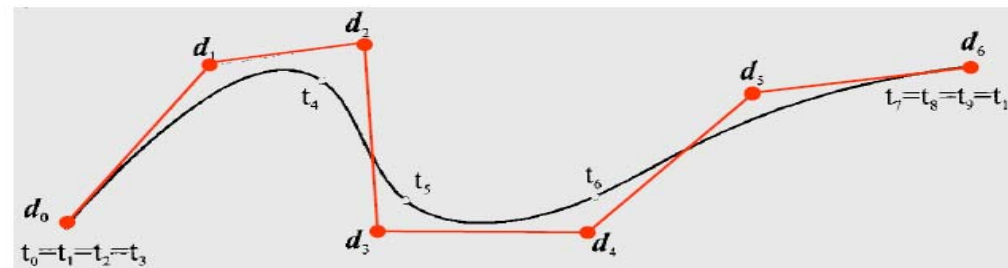
CAD sistemi (namenjeni rekonstrukciji površina) zahtevaju da ulazni podaci budu definisani u nekom od odgovarajućih formata.

U skladu sa tim, prethodno strukturirani podaci po poprečnim presečnim krivama, se zapisuju u adekvatnom obliku, odnosno formatu odgovarajućem za dostupni CAD sistem.

Aproksimacije na osnovu krivih

Najpoznatiji prilazi (matematičke procedure), koje se primenjuju u CAD sistemima kod modeliranja složenih površina su:

- **Kunsova metoda**
- **Bezierova metoda**
- **B-Spline forma**



Kubna B-Spline kriva

CAD-INSPEKCIJA

Razvoj i primena CAD-modela u inženjerskim oblastima implicirao je razvoj ideja za iskorišćavanjem najpre određenih parametara, a zatim i ukupnih modela i za potrebe kontrole/verifikacije/inspekcije.

- Preduslov za dobar inženjerski proces jeste sprovođenje kontrole/verifikacije tokom njegovog odvijanja.
- Jedan od savremenih pristupa kontrole je i **računarom podržana inspekcija (computer-aided inspection CAI)**.
- CAI podrazumeva komparaciju (poređenje) oblaka tačaka u odnosu na CAD (površinski/solid) model.
- Rezultat analize tj. odgovor na pitanje: “Koliko oblak tačaka odstupa od CAD modela?” je mapa u boji ili kolor mapa kod koje svaka boja predstavlja određeni nivo odstupanja.
- Ova metoda je prihvaćena kao brz, efikasan i kredibilan način provere kvaliteta izrade delova različitim tehnologijama (3D štampa, rezanje, plastično deformisanje, oblikovanje plastike itd.)

CAD-INSPEKCIJA

Računarom podržana inspekcija (Computer-Aided Inspection CAI)

predstavlja metodu kod koje se poredi prvi proizvedeni deo u odnosu na originalni CAD model i podrazumeva sledeće korake:

1.3D digitalizaciju

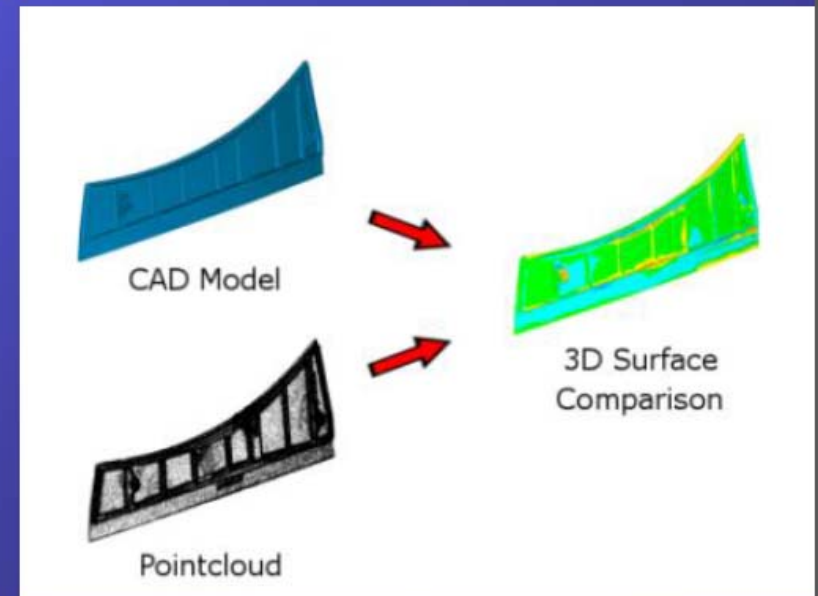
2. Generisanje površinskog modela – opciono

3. Poređenje sa CAD modelom

Termini-sinonimi koji se upotrebljavaju za opis ovog procesa, sa manjim ili većim modifikacijama procesa su:

- **Rapid 3D Inspection**
- **računarom podržana verifikacija (computer-aided verification CAV)**
- **3D color comparison-to-CAD**

Zahvaljujući zasnovanosti na CAD-modelu, ova vrsta inspekcije je postala poznata pod nazivom **CAD-inspekcija**.



CAD-INSPEKCIJA

Uvodna razmatranja

Pod *CAD*-inspekcijom se podrazumeva korišćenje *CAD*-modela proizvoda, odnosno njegovih parametara, sa ciljem proveriti geometrijskih i dimenzionalnih odstupanja.

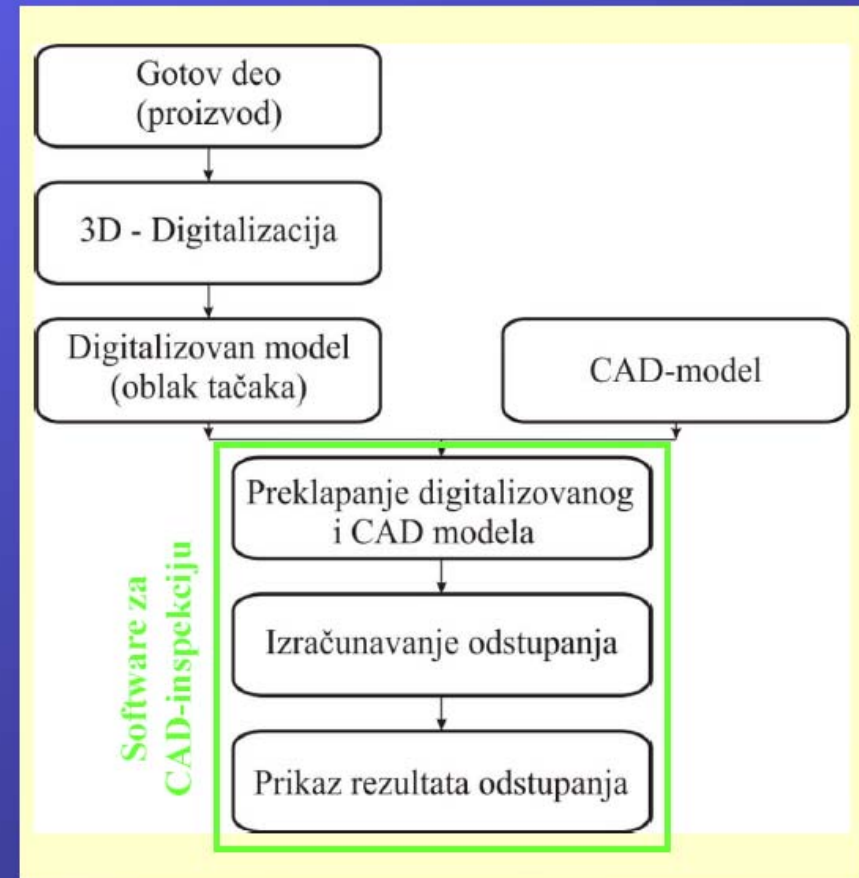
CAD-inspekcija je, prateći razvoj *CAD* modeliranja, najpre bila zasnovana na 2D podacima, da bi se zatim sa pojavom solid modela razvila i 3D *CAD*-inspekcija, danas poznata i pod nazivom “*CAD-to-part*” inspekcija, koja podrazumeva proveru odstupanja geometrije realnog proizvoda (na bazi njegovog digitalizovanog modela) od nominalne geometrije, definisane *CAD* modelom.

CAD-INSPEKCIJA

Procedura provere odstupanja

Procedura se sastoji u sledećem:

- izrađen deo se digitalizuje nekom od metoda 3D-digitalizacije;
- 3D digitalizovani model (*oblak tačaka*) unosi se u neki od specijalizovanih softvera za CAD-inspekciju, zajedno sa referentnim CAD-modelom;
- sledi orijentisanje digitalizovanog modela prema CAD-modelu u cilju njihovog međusobnog preklapanja;
- potom se vrši izračunavanje nivoa odstupanja digitalizovanog modela od CAD-modela;
- prikaz rezultata odstupanja (mogu se dobiti i u grafičkom obliku radi lakše preglednosti).



Algoritamski prikaz toka procesa

CAD-INSPEKCIJA kod obrade deformisanjem

Qualify Report

Title: Sheet Metal Example Report

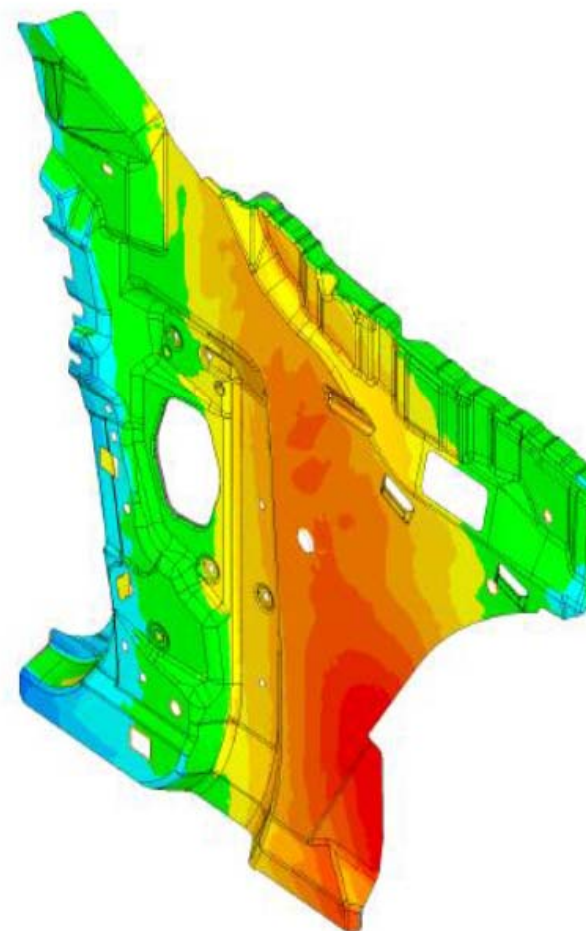
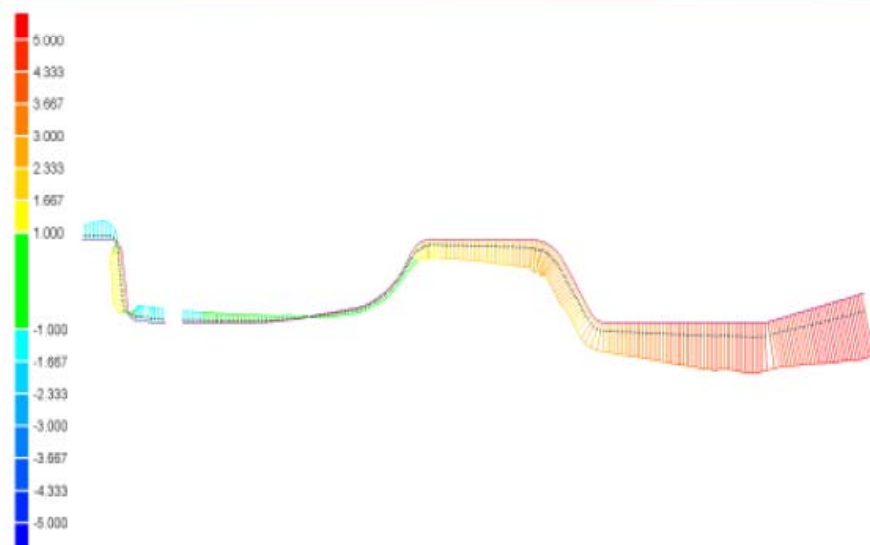
Author: John Smith

Client: Ford Motor Co.

Part: SM-56G

Test: Sheet Metal - Scan

4/30/2003, 5:44 pm





6.4.1. Скенирање базе протезе



6.4.2. Виртуални модел



6.4.3. CAD модел базе протезе



6.4.4. STL модел протезе



6.4.5. RP модел капуца



6.4.6. Контрола геометрије

