

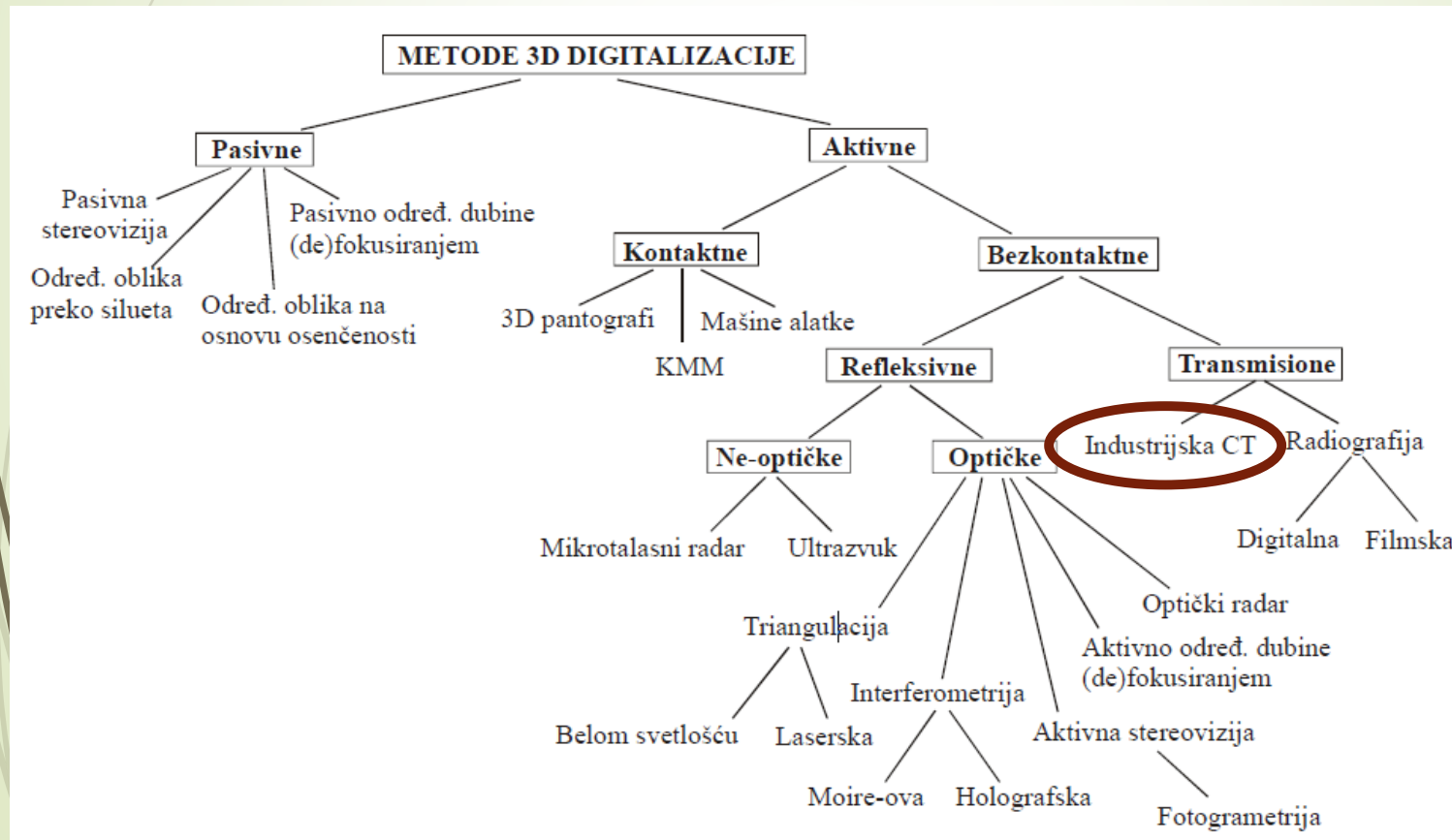
# Obrada snimaka generisanih primenom kompjuterizovane tomografije (CT) kao metode 3D digitalizacije

-Vežbe-



# UVOD

- ▶ pojavila se još 1970. godine (pronalazači Hounsfield i Cormak su 1979. godine dobili Nobelovu nagradu u oblasti medicine)
- ▶ kasnih 70-ih godina se njena primena proširuje i na industriju

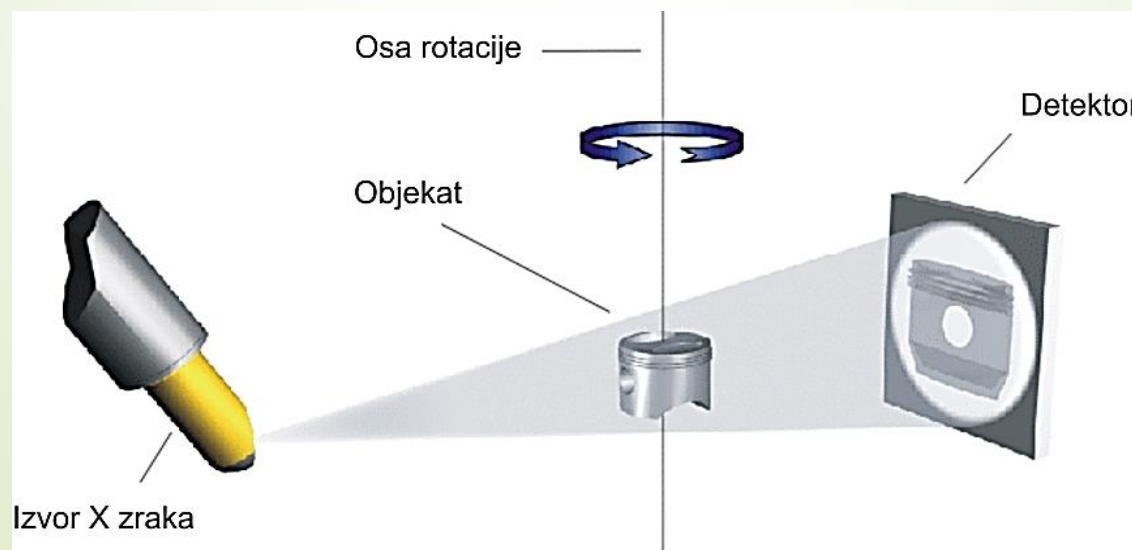


# Princip rada CT-a

- **CT se bazira na** merenju slabljenja (atenuacije) X-zraka na osnovu čega se kreiraju rekonstruisane 2D slike (poprečni preseki, odnosno slajsovi) objekta.
- **Tokom zračenja objekta dolazi do veće ili manje apsorpcije X-zraka kod objekata, a koja zavisi od:**
  - Debljine zida objekta,
  - gustine materijala objekta (atomska broj),
  - orijentacije predmeta u radnu kabinu CT uređaja.
- Prilikom slabljenja intenziteta X-zraka tokom transmisije kroz objekat, dolazi do atenuacije X-zraka koja se iskazuje preko linearnog **koeficijenta atenuacije  $\mu$** .

# Generisanje 2D snimka na CT uređaju

- Moderni vrhunski CT sistemi se sastoje od generisanja nekoliko 2D rendgenskih slika oko objekta koji se digitalizuje, poželjno prekrivajući 360 stepeni (potpuna rotacija).
- **CT sistemi tipično generišu između 360 slika (jedna slika svaki stepen rotacije) i 3600 slika (jedna slika na svakih 0.1 stepeni rotacije) u zavisnosti od finalne željene rezolucije.**



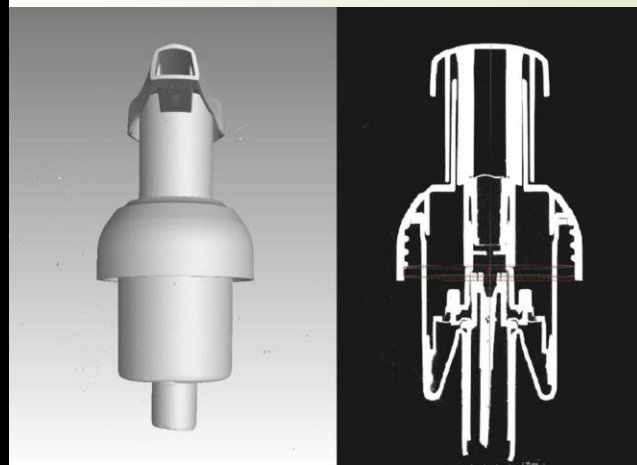
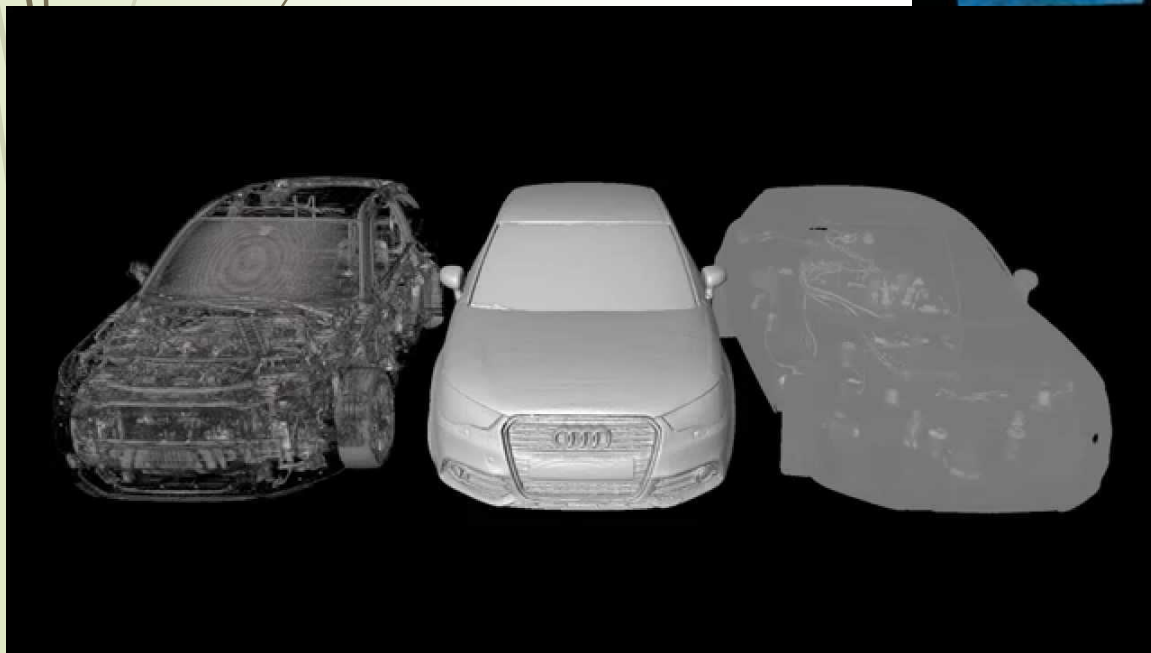
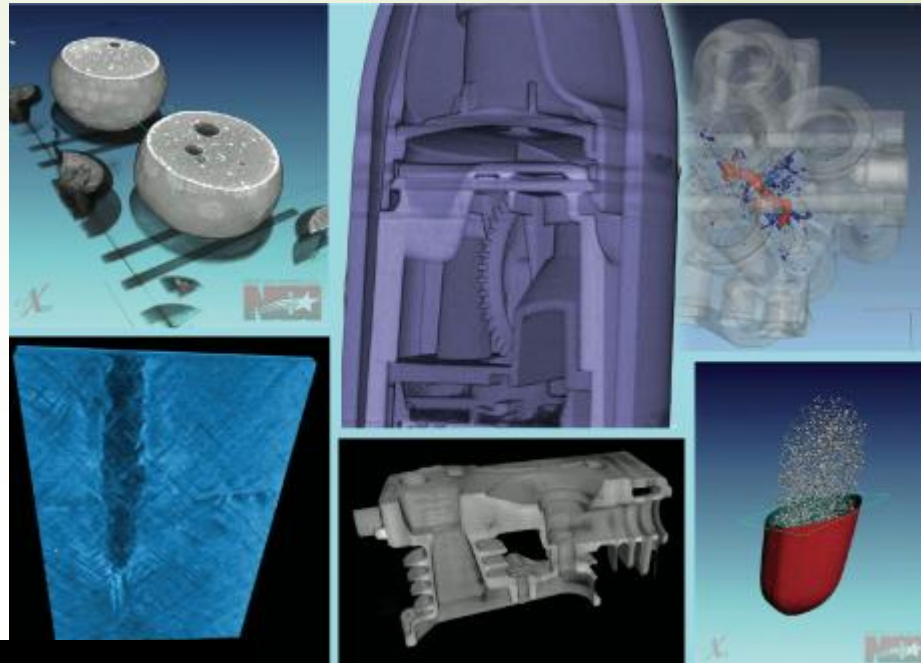
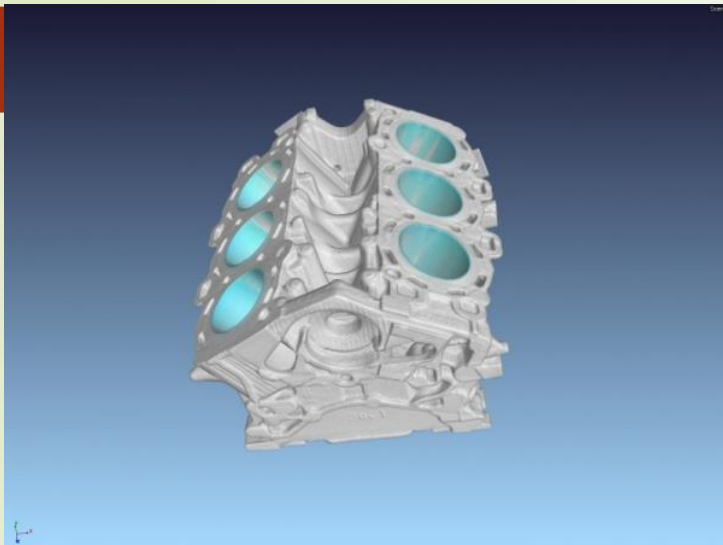
# Osnovne karakteristike CT sistema

- Zahvaljujući osobinama X-zraka, CT se podjednako dobro primenjuje i na:
  - metalnim objektima,
  - plastičnim objektima,
  - kod predmeta sa glatkim ili teksturisanim površinama,
  - Kod predmeta od punih i od vlaknastih materijala.
- CT sistem kao metoda 3D digitalizacije je indiferentna na:
  - kvalitet obrađene površine,
  - kompoziciju i
  - vrstu materijala.

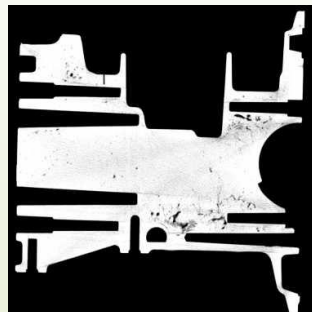
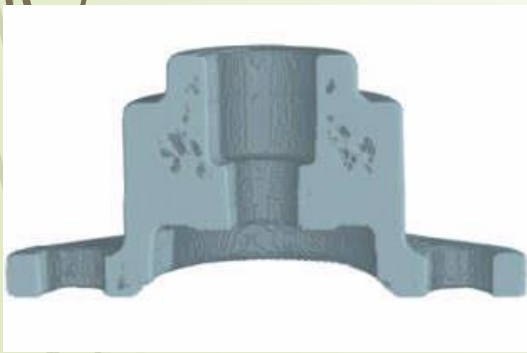
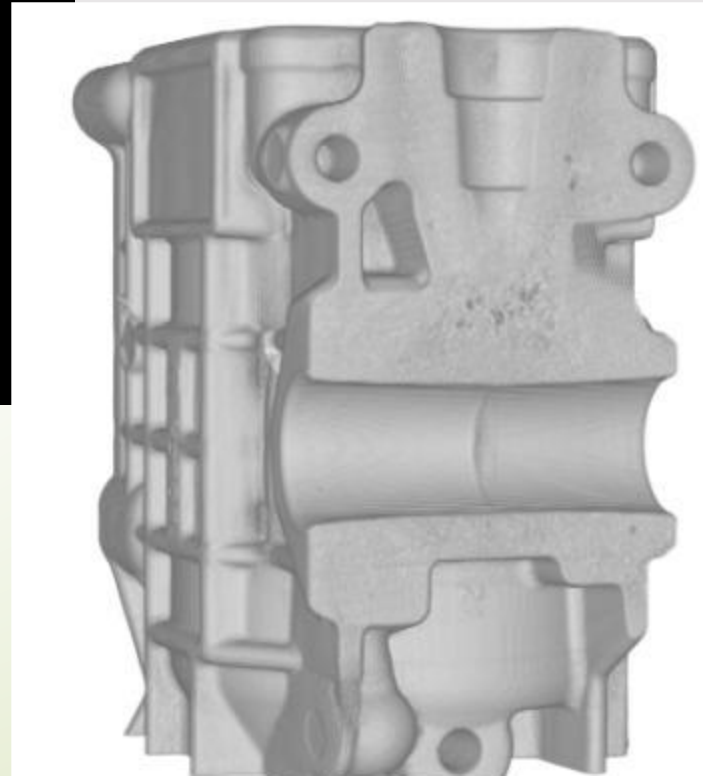
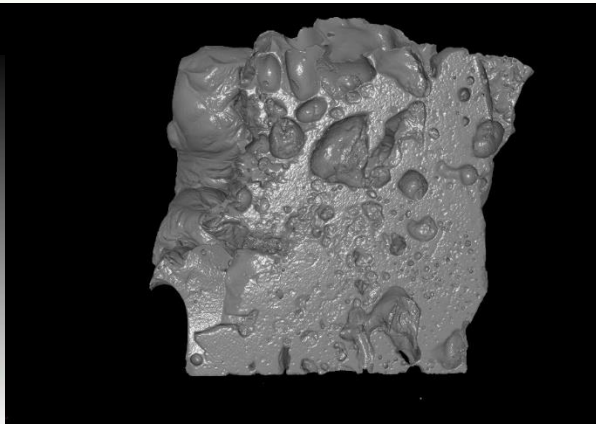
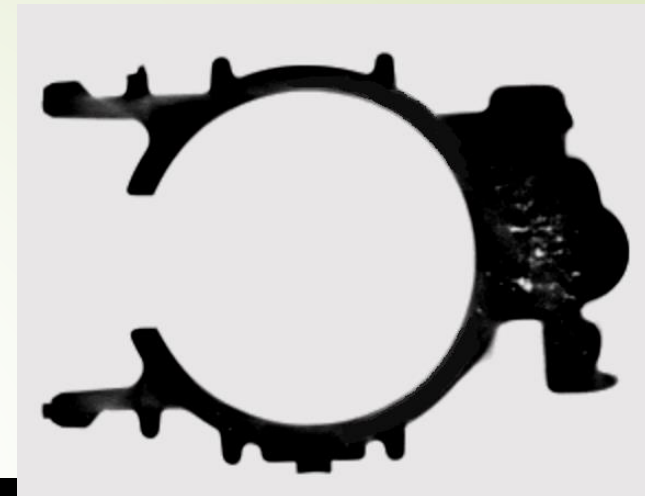
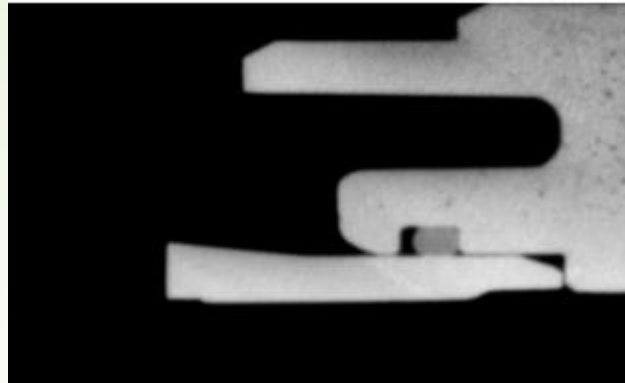
# Primena CT-a

- Reverzibilno inženjersko modeliranje;
- 3D digitalizacija/vizuelizacija;
- Analiza unutrašnjosti delova bez njihovog razaranja;
- 3D digitalizacija za potrebe Rapid Prototyping-a (3D štampe);
- CAD inspekcija 3D modela;
- ...

# 3D digitalizacija/vizuelizacija

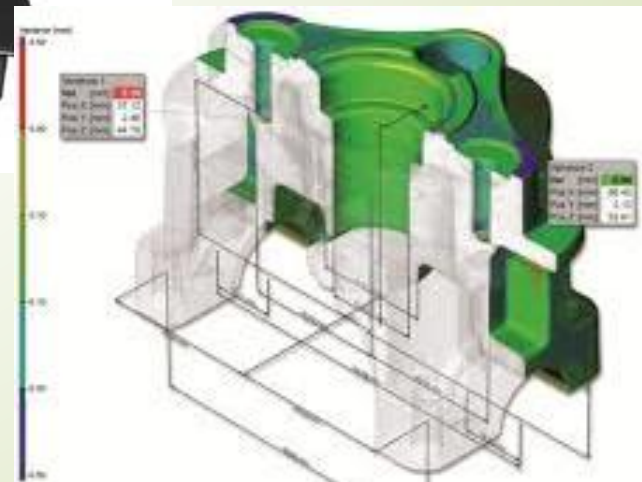
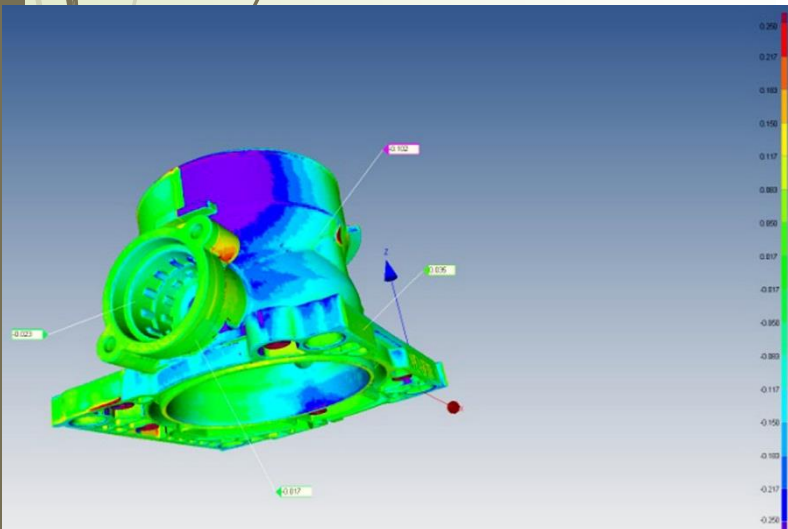
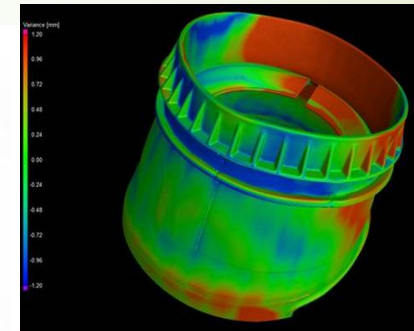
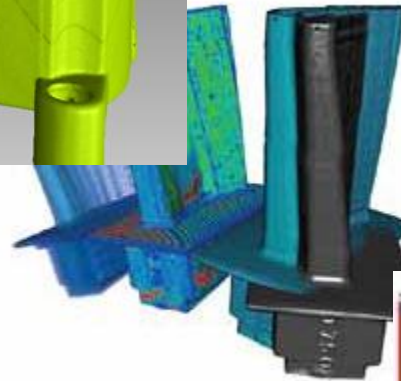
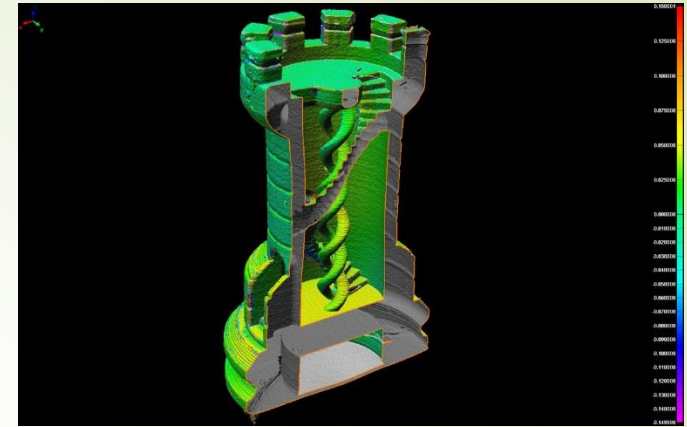
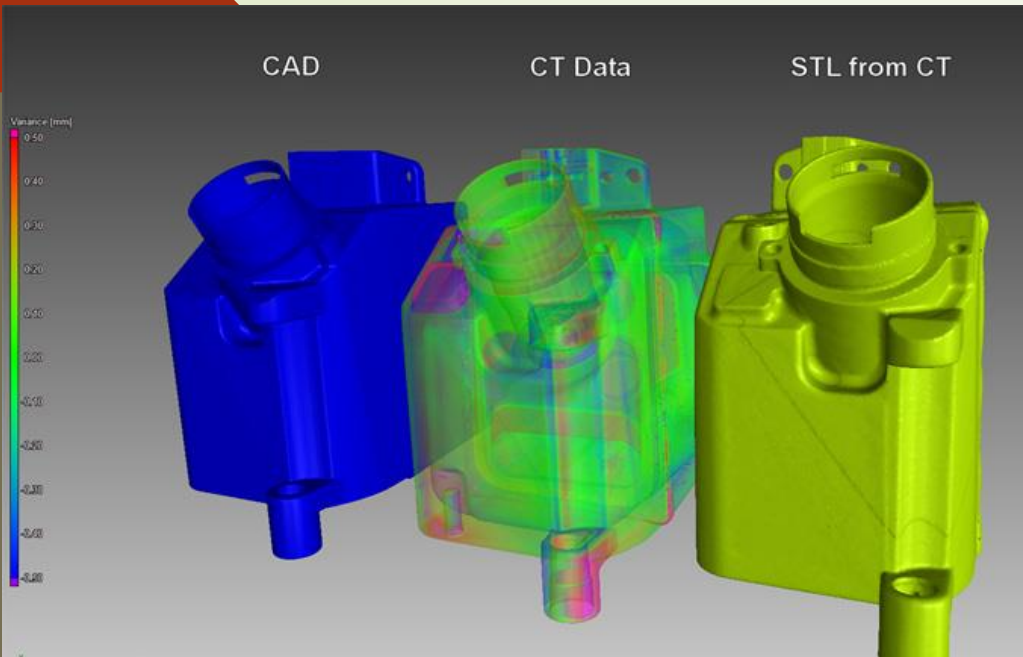


# Analiza unutrašnjosti delova bez njihovog razaranja





# CAD inspekcija 3D modela



# Prednosti CT-a

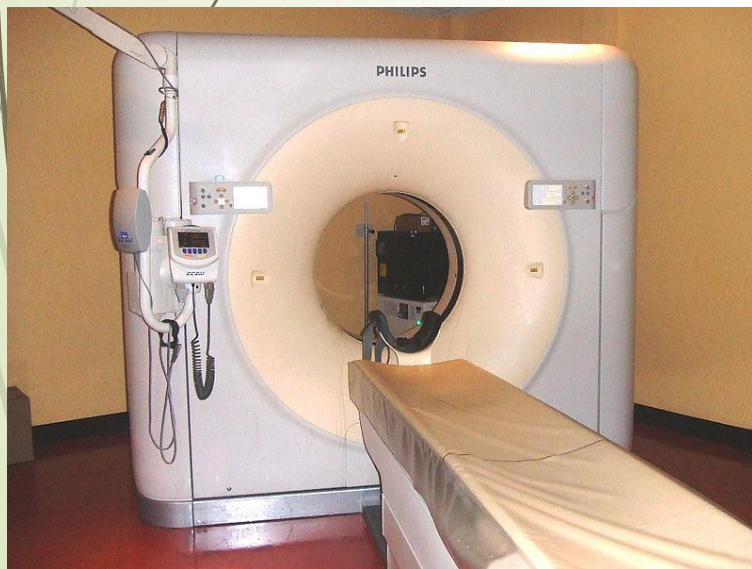
- Ne-razarajuća ispitivanja za inspekciju i 3D digitalizaciju,
- unutrašnji kompleksni oblici se mogu precizno digitalizovati bez razaranja,
- delovi su skenirani u slobodnom okruženju bez fiksiranja kojim se javljaju naprezanja koja bi mogla oštetiti osetljive delove ili prikazali savijanje koje nije prisutno u delu,
- brza izrada prototipova unutrašnjih delova.

# Mane CT-a

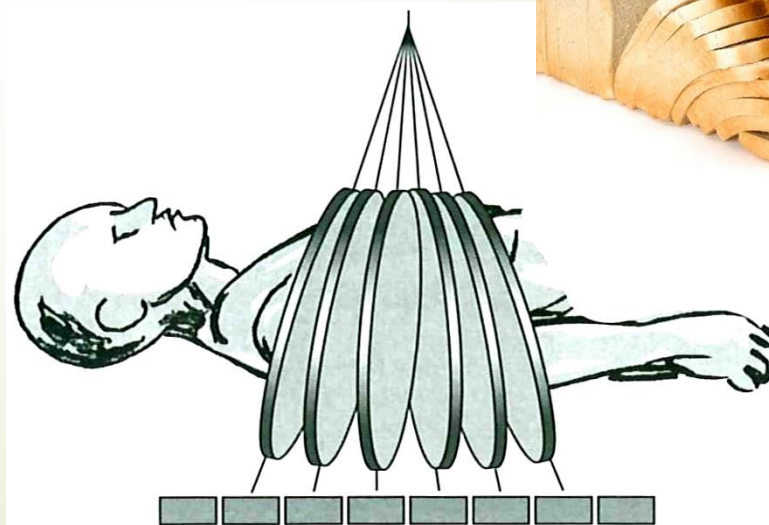
- ▶ Nedostaci CT podataka (2D snimaka) uključuju, pre svega:
  - ▶ Osetljivost na šum kod predmeta napravljenih od materijala veće gustine (veći atomski broj),
  - ▶ povećana poteškoća u obradi podataka (2D snimaka) usled njihove manipulacije (veličina jednog seta 2D CT snimaka može da se kreće i po nekoliko desetina GB, po jednom skenu) i
  - ▶ potreba za obučenim operatorom za obradu CT podataka (2D snimaka).

# Multi-slajs kompjuterizovana tomografija (MS CT)

- Princip snimanja ovim uređajem se može opisati i kao sečenje hleba na tanke kriške.
- Kada se predmet snima, on se „seče na veliki broj kriški“ a svaka „kriška“ se obrađuje od strane računarskog softvera, što omogućava detaljni višedimenzionalni prikaz unutrašnjosti skeniranog predmeta.



Siemens 64 MS CT



Detector z-axis



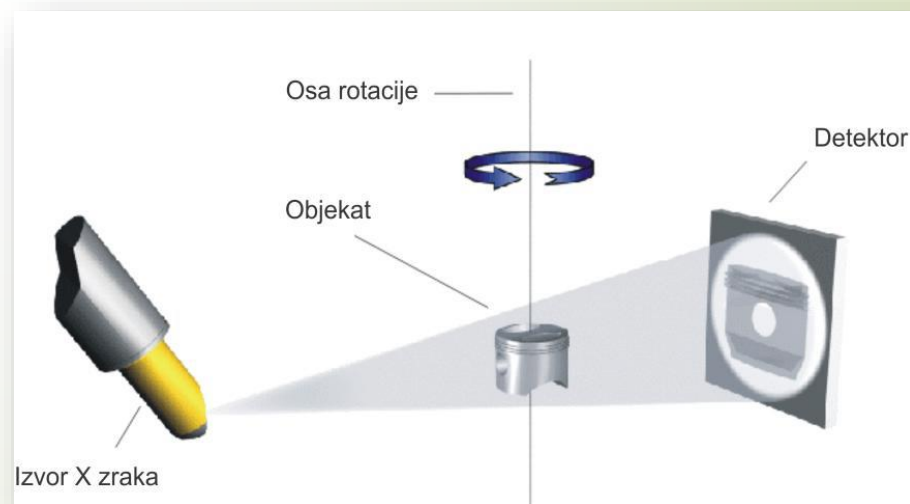
# Cone Beam kompjuterizovana tomografija (CBCT)

## Prednosti koje ovaj sistem mogućava su:

- generisanje 3D modela velike rezolucije
- velike dimenzione tačnosti.

## CBCT skener koristi usmereni izvor X-zraka koji proizvodi snop najčešće u obliku:

- konusa (otud i potiče naziv),
- piramide,



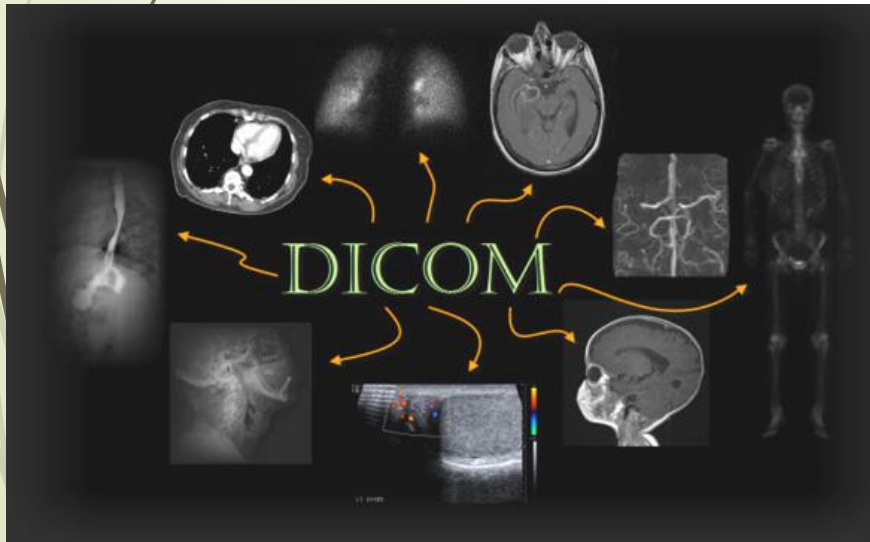
- Objekat vrši potpunu ili delimičnu rotaciju oko svoje ose proizvodeći niz projekcija pomoću digitalnog detektora.

# DICOM format

(*Digital Imaging and **CO**mmunications in **M**edicine*)

## Prednosti primene DICOM formata zapisa su:

- Omogućava komunikaciju između uređaja,
- omogućava prenos podataka i skladištenje,
- dizajniran je da obuhvati sve funkcionalne aspekte digitalne medicine u oblasti snimaka.
- **sadrži podatke o kalibraciji CT uređaja** na kojem su generisani 2D CT snimci.



# Komercijalni softveri koji se koriste za obradu 2D CT snimaka su:

- MyVGL 3.0
- 3D DOCTOR
- OnDEMAND3D
- Mimics
- Dolphin 3D
- AMIRA
- I-Dixel
- ....



**Amira<sup>®</sup> 6.5**

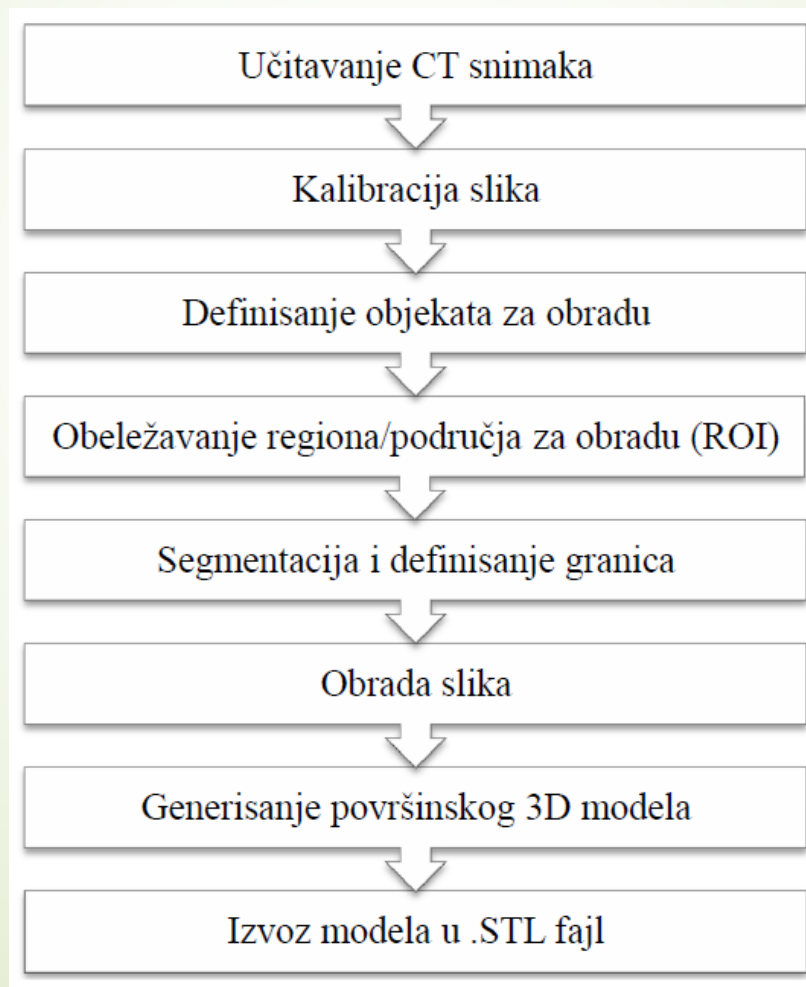
3D Visualization & Analysis  
Software For Life Sciences

A blue graphic consisting of a horizontal bar on the left and a triangle on the right, pointing to the right.

**materialise**

innovators you can count on

## Algoritam toka rada pri generisanju površinskog 3D modela u softveru 3D DOCTOR:





# Učitavanje i kalibracija CT snimaka

- ▶ Prilikom učitavanja 2D CT snimaka, ukoliko su generisani CT snimci sačuvani u DICOM formatu, parametri o kalibraciji su sadržani unutar tih snimaka.
- ▶ **Parametri kalibracije su:**
- ▶ X rezolucija piksela,
- ▶ Y rezolucija piksela,
- ▶ Debljina CT snimka/slajsa (Z rezolucija),
- ▶ Jedinice (mm, in,...),
- ▶ Skaliranje piksela.

Image Calibration Parameters

X, Y, Z Voxel Resolution

X (voxel width): 0.361328

Y (voxel height): 0.361328

Z (slice thickness): 0.5

Unit (cm, mm...): mm

Calculate XY

Pixel Rescale

Slope: 1

Intercept: -1024

Unit (hu, ...): Rescaled

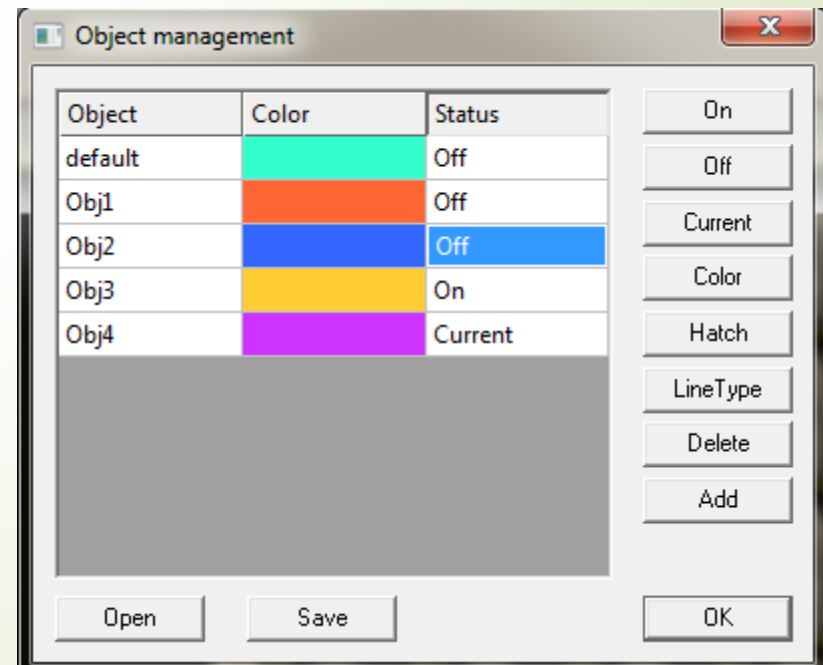
NewPixel = Slope\*RawPixel + Intercept

Calculate

OK Cancel

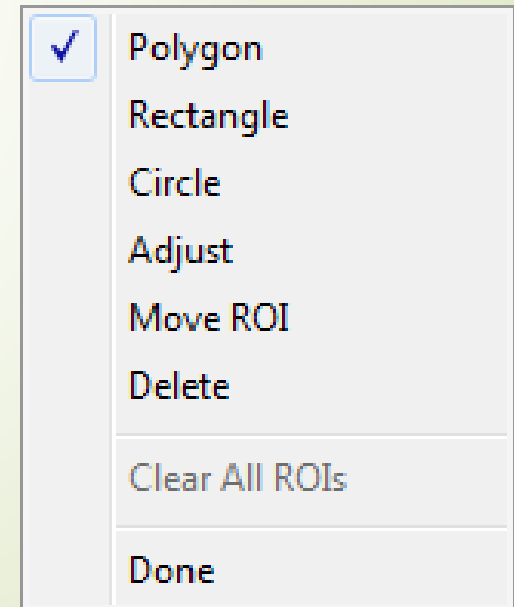
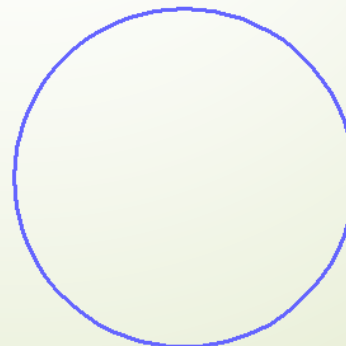
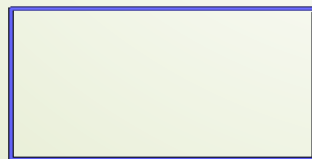
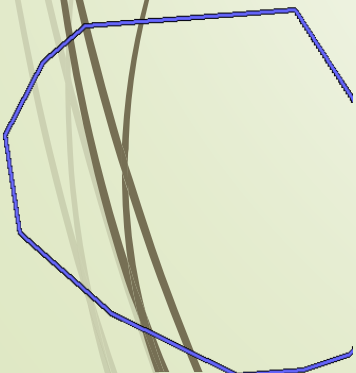
# Definisanje objekata za obradu

- Omogućava definisanje novih objekata koji su prisutni na setu CT snimaka (ukoliko ih se nalazi više na setu CT snimaka).
- Generisani objekti imaju 3 statusa sa kojima mogu biti definisani, a to su:
  - Uključeni (ON),
  - Isključeni (OFF),
  - Trenutno aktivni (CURRENT).



# Definisanje regiona od interesa (ROI)

- Omogućava definisanje granica unutar kojih će se vršiti procesiranje 2D CT snimaka. Na ovaj način se redukuje vreme obrade 2D CT snimaka jer se vrši obrada samo unutrašnjosti definisanog regiona na setu CT snimaka.
- Postoji nekoliko vrsta regiona koji mogu da se definišu u softveru 3D DOCTOR, a to su:
  - Poligon (najčešće primenjivan),
  - pravougaonik,
  - krug.



# SEGMENTACIJA

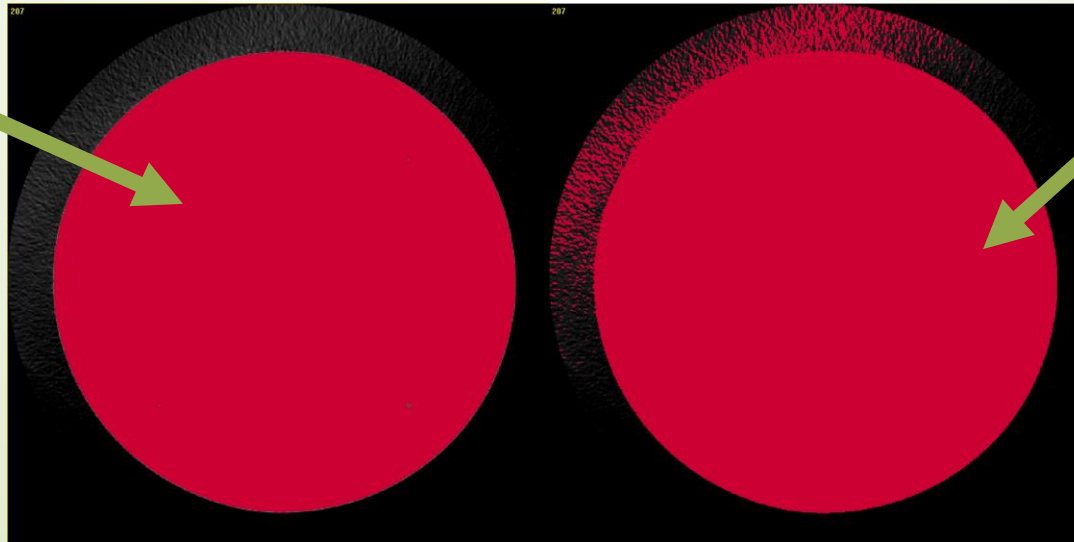
- **Predstavlja ujedno i najvažniji korak** kod celog postupka rekostrukcije objekata primenom CT sistema jer u velikoj meri utiče na naknadnu obradu i post-procesiranje rezultata segmentacije.
- **Segmentacija slika predstavlja** proces particioniranja digitalne 2D slike u više segmenata (skupova piksela).
- **Cilj segmentacije je** pojednostaviti i / ili promeniti predstavljanje slike u nešto što je važnije i lakše analizirati. Segmentacija slike se obično koristi za lociranje objekata i granica (linije, krivine, itd.) na 2D slikama.
- **Rezultat segmentacije je** skup segmenata koji kolektivno pokrivaju celu sliku ili skup kontura izvučenih iz slike (detekcija ivica objekta od interesa).
- **Svaki od piksela u regionu je sličan u odnosu na neko karakteristično ili izračunato svojstvo, kao što su boja, intenzitet ili tekstura.**

# SEGMENTACIJA

Najjednostavnija i najčešće primenjivana metoda za segmentaciju 2D slika je **metoda praga (eng. Threshold method)**.

- **Ova metoda se zasniva na** definisanju nivoa praga intenziteta piksela (odnosno graničnim vrednostima min. i max.) kako bi se 2D slika konvertovala u binarnu sliku.
- Glavna karakteristika kod ove metode jeste odabrati odgovarajuću vrednost praga intenziteta piksela. Ukoliko su parametri loše odabrani, rezultati segmentacije mogu biti nezadovoljavajući (videti sliku), što dodatno produžava vreme naknade obrade i post-procesiranja segmentiranih 2D slika.

DOBRO  
DEFINISANI  
PARAMETRI  
SEGMENTACIJE



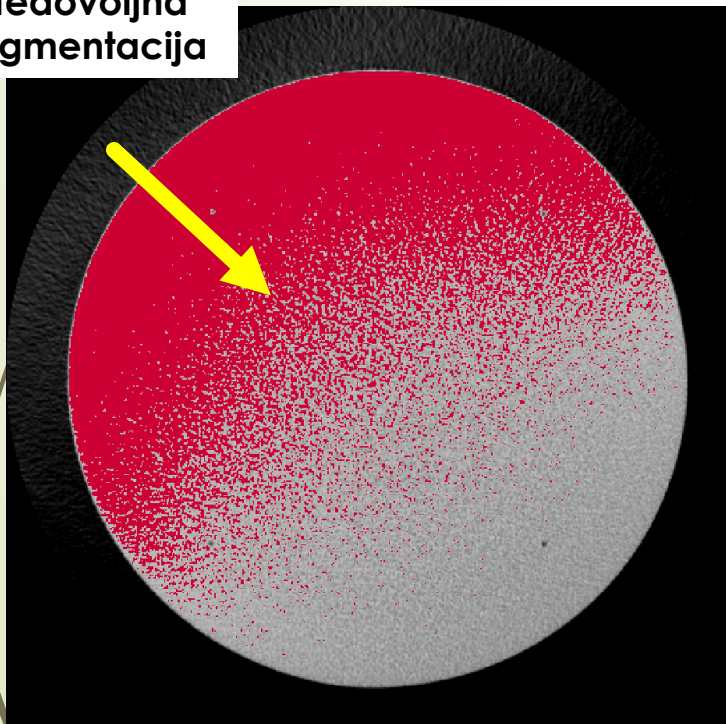
LOŠE  
DEFINISANI  
PARAMETRI  
SEGMENTACIJE

# SEGMENTACIJA

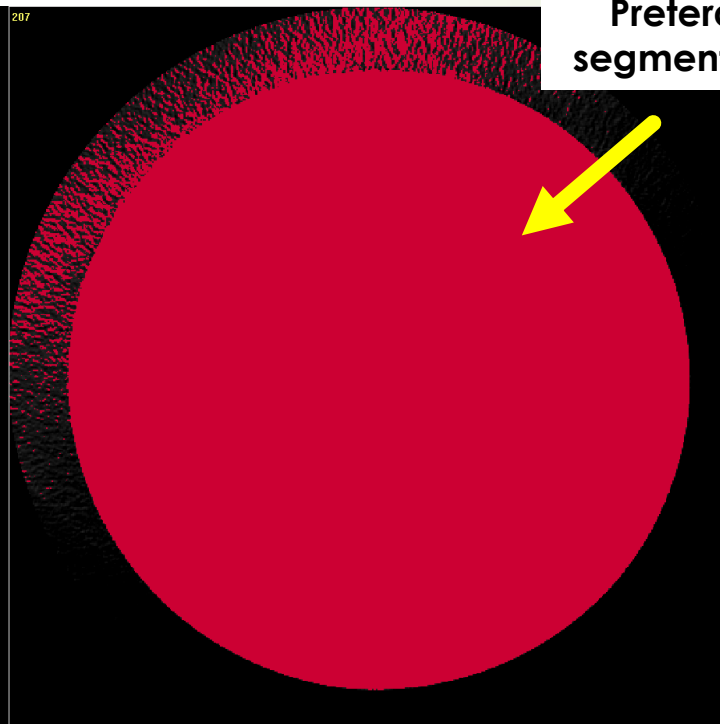
Kao rezultat lošeg definisanja graničnih vrednosti intenziteta piksela mogu da se generišu dva granična slučaja, a to su:

- Preterana segmentacija (eng. over segmentation)
- Nedovoljna segmentacija (eng. under segmentation)

Nedovoljna segmentacija

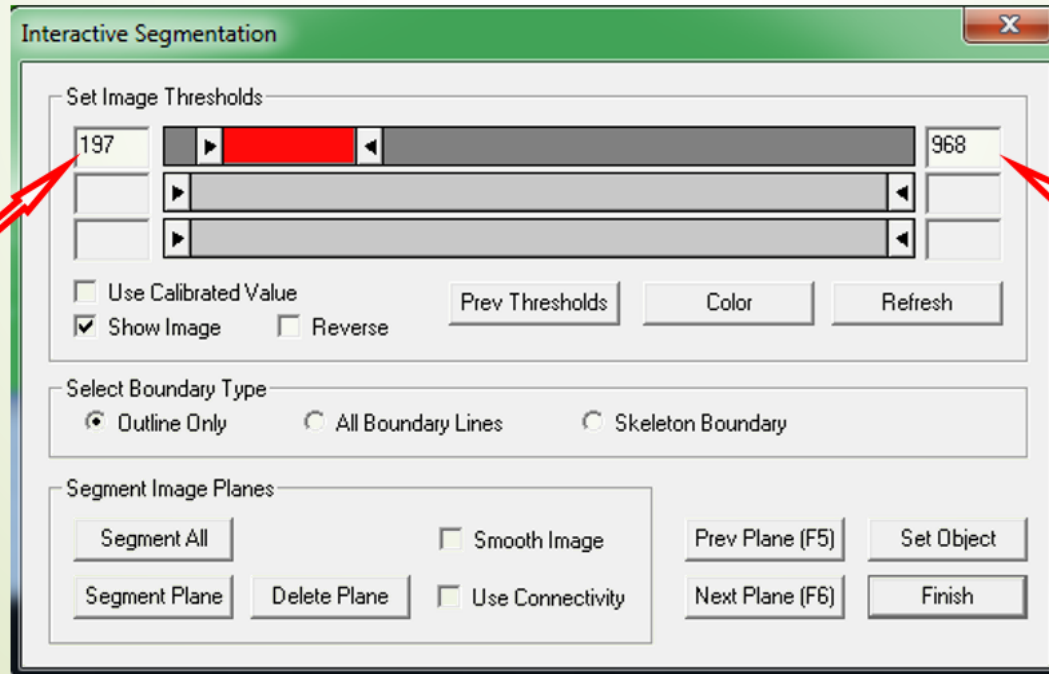


Preterana segmentacija



# SEGMENTACIJA

- Izbor minimalnog i maksimalnog praga piksela se vrši tako što se na snimku vizuelno definišu intenziteti objekta koji želi za se segmentira.
- Ovaj postupak se vrši pomerenjem horizontalnog klizača na kojem se nalaze definisani intenziteti (min. i max. vrednosti).
- Na generisanim CT snimcima se intenzitet piksela kreće u rasponu 0 – 4096 koji u stvari predstavljaju Haunsfieldovu skalu (eng. Hounsfield scale(HU)).

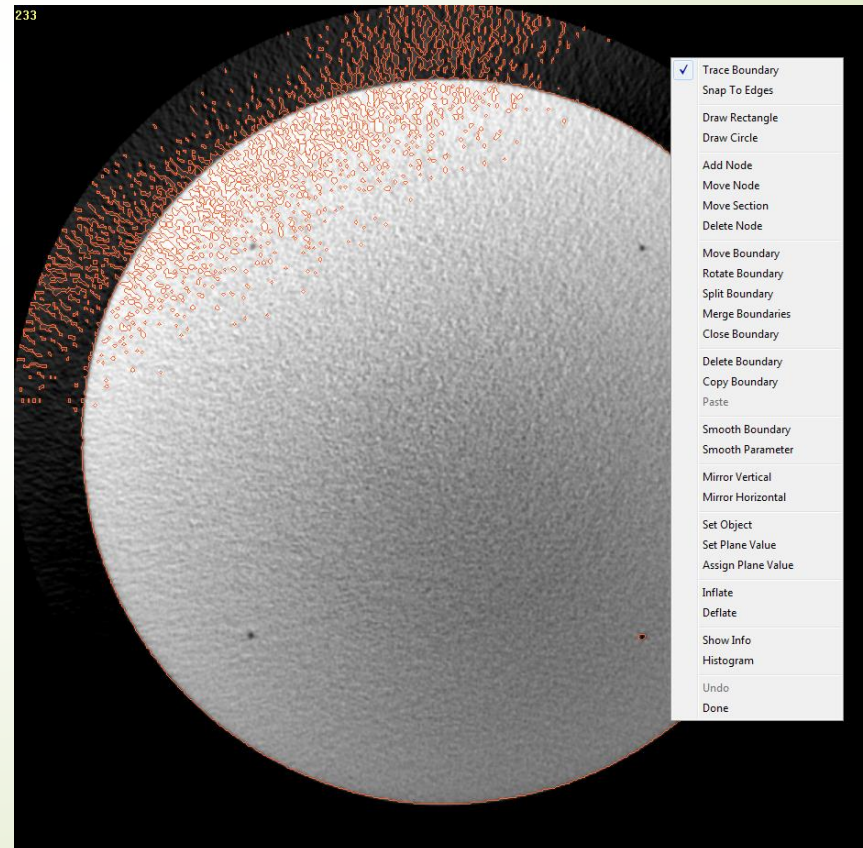


min. prag  
intenziteta piksela

max. prag  
intenziteta piksela

# Post-procesiranje segmentiranih 2D snimaka (obrada slika)

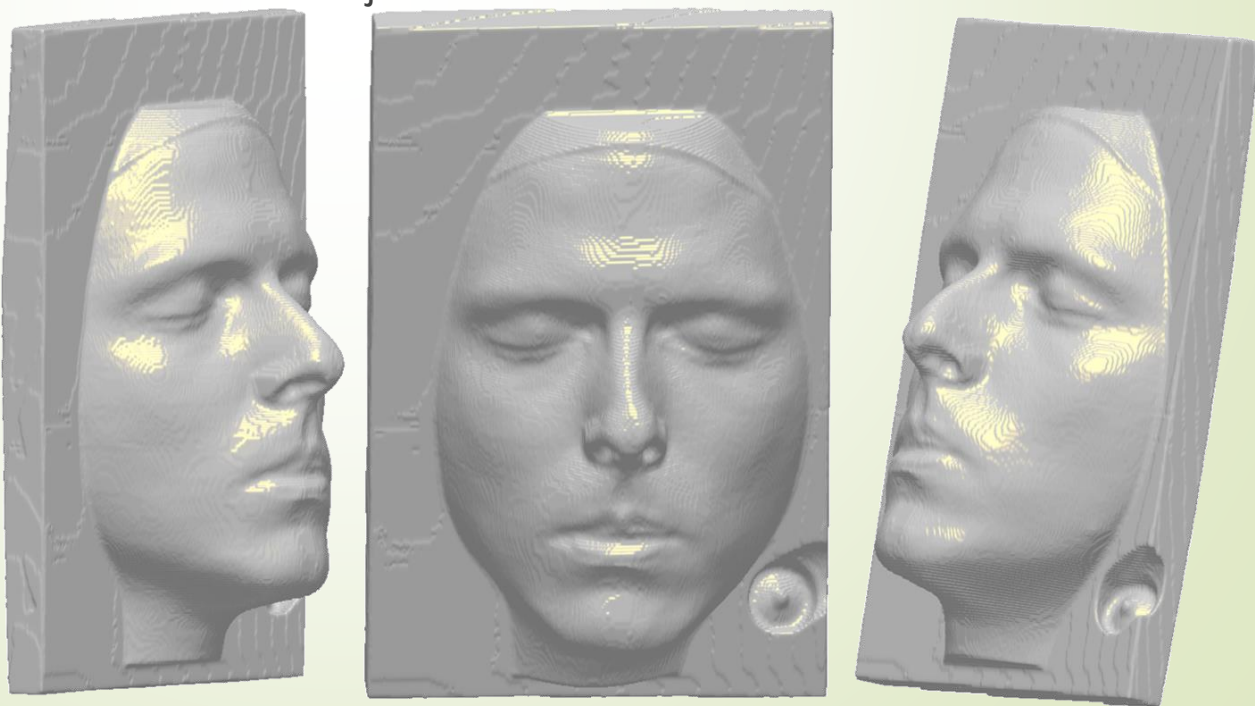
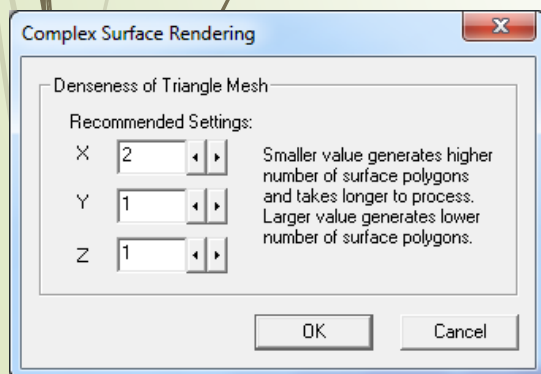
- U ovom koraku se vrši obrada segmentiranih CT snimaka nakon postupka segmentacije.
- U tu svrhu se koriste razni alati za modifikaciju i obradu segmentiranih granica objekta kao što su:
- Dodavanje tačaka;
- Brisanje tačaka;
- Pomeranje tačaka;
- Pomeranje granica;
- Rotiranje granica;
- Spajanje granica;
- Razdvajanje granica;
- Peglanje granica;
- ....

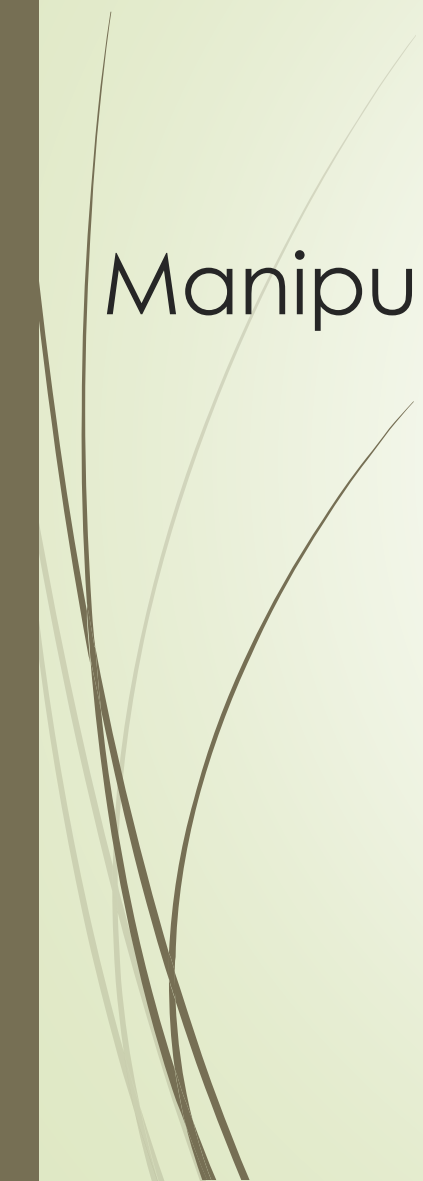





# Generisanje površinskog 3D modela

- ▶ Parametri za gustinu mreže trouglova se koriste za kontrolu konačnog broja poligona od kojih će se sastojati površinski 3D model.
- ▶ Jedan je najmanja dozvoljena vrednost sa kojom se dobija maksimalan broj poligona.
- ▶ Veća vrednost će smanjiti veličinu poligona, a samim tim se gubi i na nekim detaljima kod rekonstrukcije 3D modela.



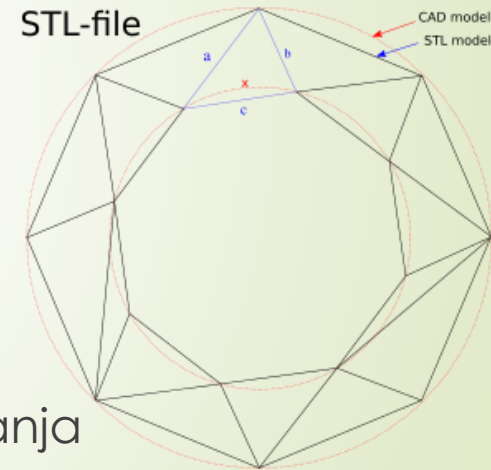


# Manipulacija sa generisanim površinskim 3D modelima

# Izvoz površinskih 3D modela

Kao najčešći format za izvoz površinskog 3D modela kod metoda 3D digitalizacije, a i kod obrade u softverima koristi se **STL (eng. Stereolithography) format**.

- ▶ STL format je nastao još 1987. godine od strane kompanije *Albert Consulting Group*. Ovaj format je razvijen za prve komercijalne 3D štampače. Od prvog izdanja, format je ostao relativno nepromenjen 22 godine, do njegovog ažuriranja 2009. godine.
- ▶ Ovaj format datoteke podržavaju mnogi softverski paketi;
- ▶ **Široko se koristi za** brzo izradu prototipova, 3D štampanje i računarom podržanu proizvodnju.
- ▶ **STL datoteke opisuju** samo površinsku geometriju trodimenzionalnog objekta bez ikakvog predstavljanja boja, teksture ili drugih zajedničkih atributa.
- ▶ Format STL se može sačuvati u **ASCII** i **binarnom** prikazu.
- ▶ **Binarne datoteke su češće primenjivane iz razloga jer su kompaktnije od ASCII formata (datoteke zauzimaju manje prostora na hard disku)!!**



**STL datoteka opisuje** grubu nestruktuiranu triangulisanu površinu pomoću normala i ivica trouglova pomoću trodimenzionalnog Dekartovog koordinatnog sistema.

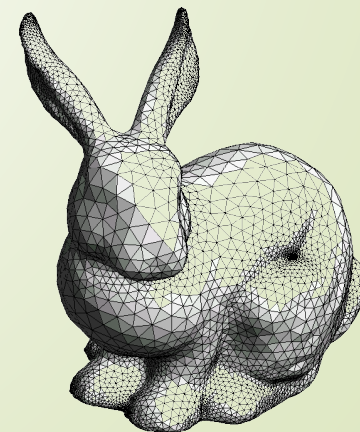
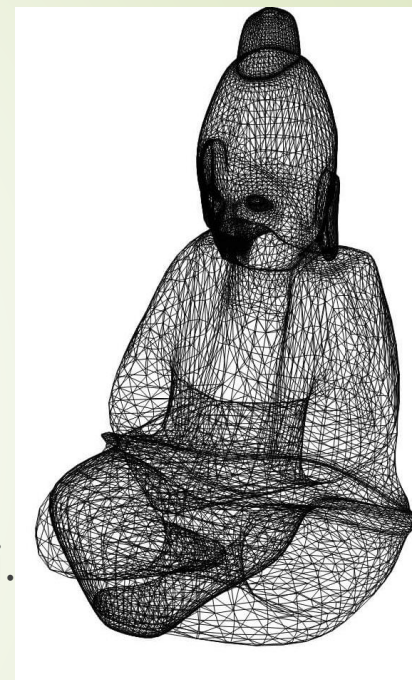
**Koordinate unutar STL datoteke moraju biti** pozitivni brojevi, nema informacija o skali, a jedinice su proizvoljne.

## Binarni zapis STL formata

- Pošto ASCII STL datoteke mogu biti i do nekoliko puta veće, iz tog razloga postoji i binarni zapis STL formata.
- **Sadržaj binarne STL datoteke:**
- Binarna STL datoteka ima zaglavlje od 80 karaktera. Sledeće zaglavlje je 4-bajtni nepotpisani celi broj koji ukazuje na broj trouglastih fejseta (trouglova) u datoteci. Nakon toga su podaci koji opisuju svaki trougao ponaosob.

## Vektori normala fejseta (trouglova)

- U oba formata, ASCII i binarni, kod zapisa STL formata, pravac normale treba da bude jedinični vektor koji je usmeren prema spoljašnjem okruženju objekta.



# Mane STL formata zapisa

- ▶ **Mane su:**
- ▶ STL datoteka je višestruko veća od originalnog CAD 3D modela, sa određenim stepenom manje tačnosti.
- ▶ STL datoteka nosi mnogo više nepotrebnih informacija kao što su duplikati ivica.
- ▶ Postoje nedostaci u geometriji kod STL datoteka jer mnogi algoritmi kod komercijalnih softvera nisu dovoljno robustni. Ovo dovodi do potrebe za "softverom za popravku" i dodatnih alata koja povećava vreme neophodno za dodatne korekcije i modifikacije površinskog 3D modela.



HVALA NA PAŽNJI!!