

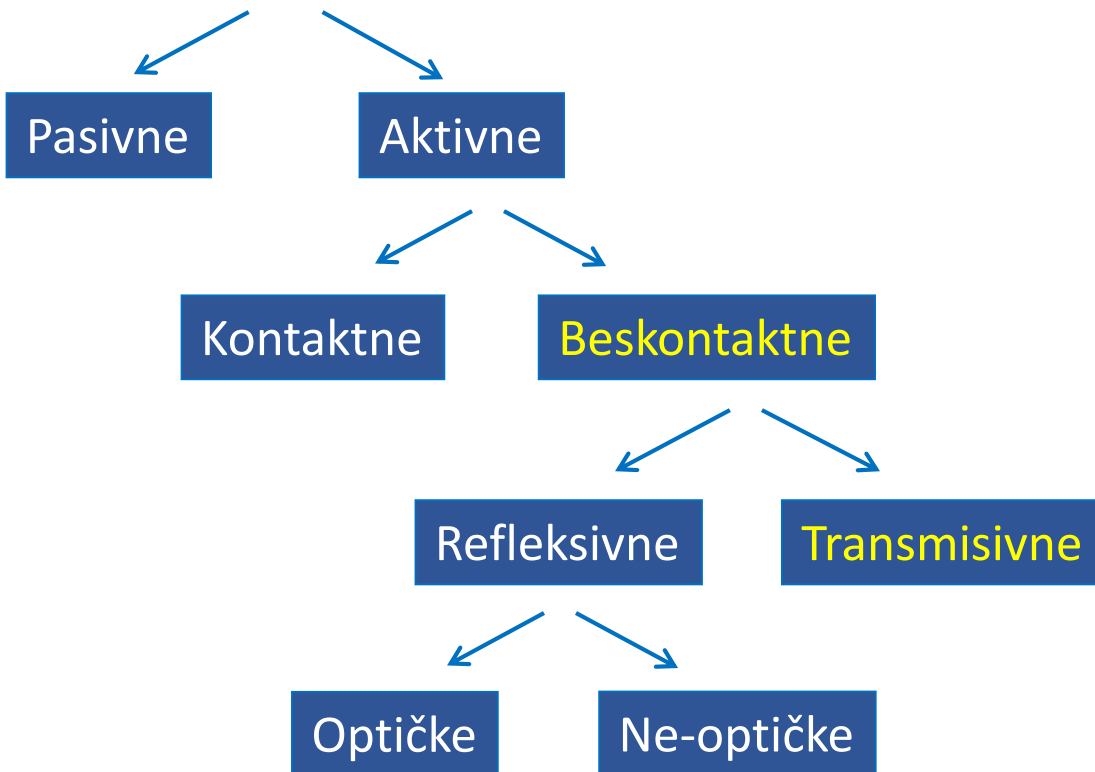
Predmet: 3D digitalizacija objekata

**TRANSMISIVNE METODE 3D DIGITALIZACIJE**

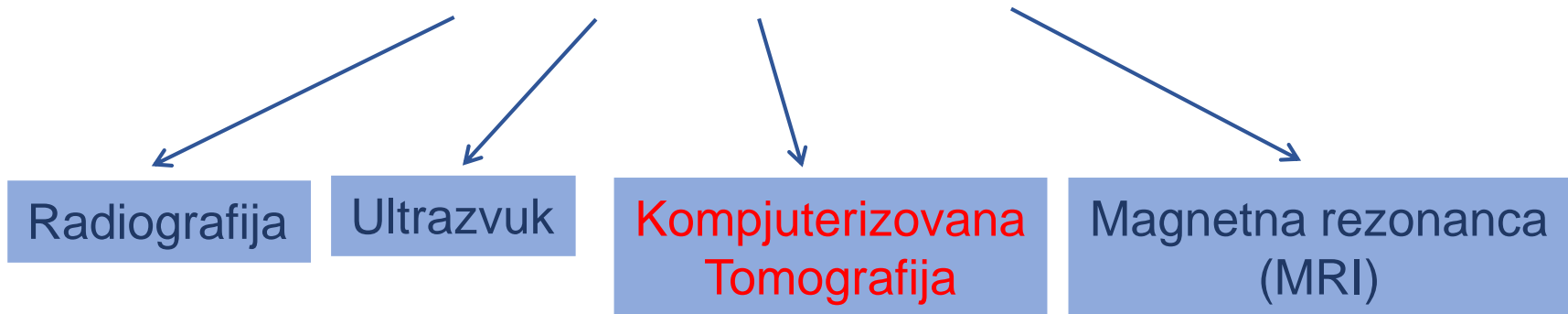
**Radiografija, CT, segmentacija i artefakti**

Vanr. prof. dr Mario Šokac  
Doc. dr Željko Santoši

# Metode 3D digitalizacije



## Transmisivne metode za 3D digitalizaciju



- Transmisivne metode detektuju atenuaciju (slabljenje) emitovanog signala
- nakon prolaska kroz objekat koji se 3D digitalizuje.

# Digitalna radiografija (radiografija u realnom vremenu)

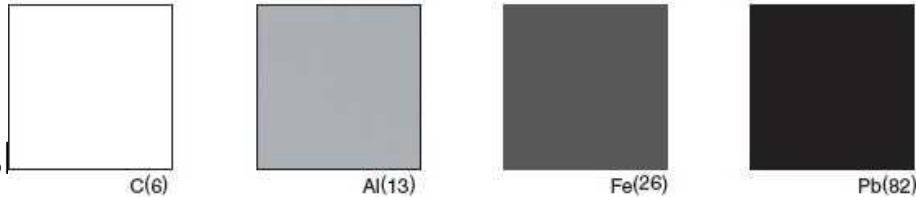
- Postavlja se radni predmet između izvora rendgenskog X-zraka i detektora i stvara se senka.
- Senku hvata rendgenska kamera da bi se stvorila rendgenska slika.
- Geometrijsko uvećanje u tom trenutku zavisi od udaljenosti od rendgenskog izvora do radnog predmeta i udaljenosti od generatora do rendgenske kamere.
- Nijansa sive boje je uglavnom povezana sa količinom prodiranja rendgenskih X-zraka.



# Digitalna radiografija (radiografija u realnom vremenu)

- Jačina prenosa rendgenskih zraka određena je sledećim faktorima:
- 1. Više rendgenskih zraka je blokirano kako se atomski broj i gustina objekta povećavaju.

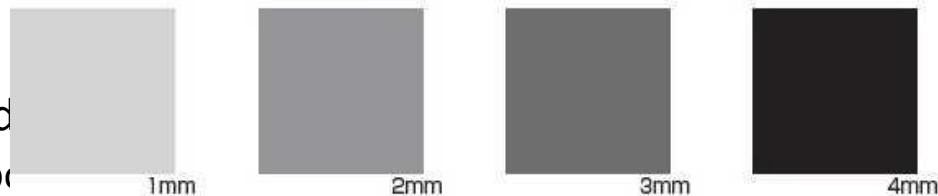
- 2. Više rendgenskih



- 3. Intenzitet rend

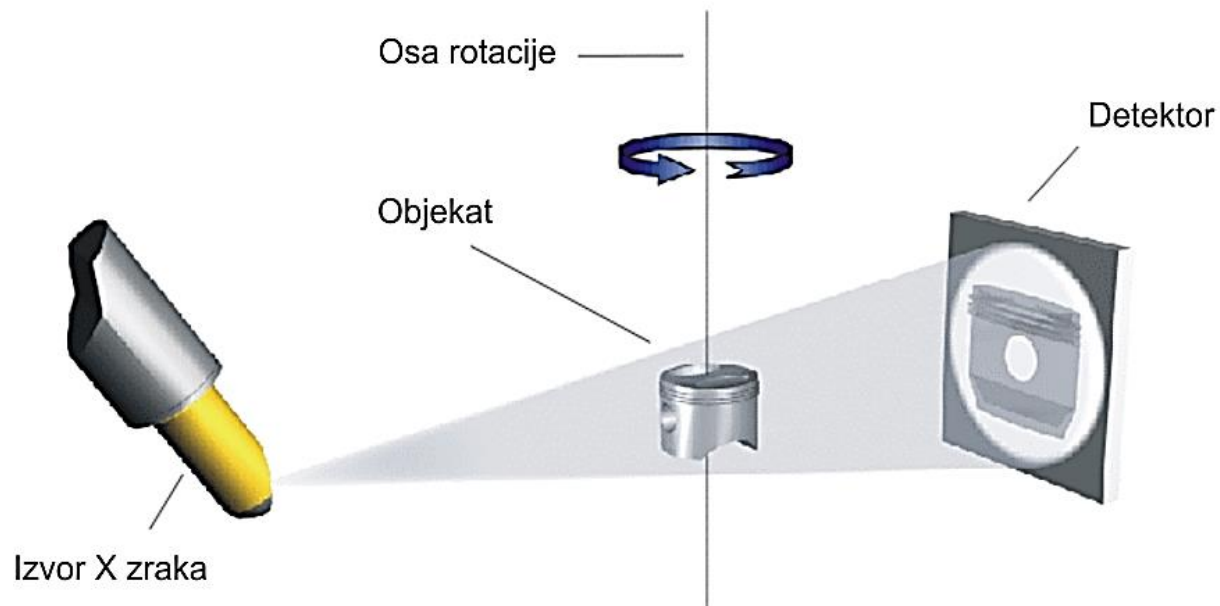
- Povećanje napr

- Povećanje struje u cevi povećava dozu i intenzitet generisanih rendgenskih zraka.



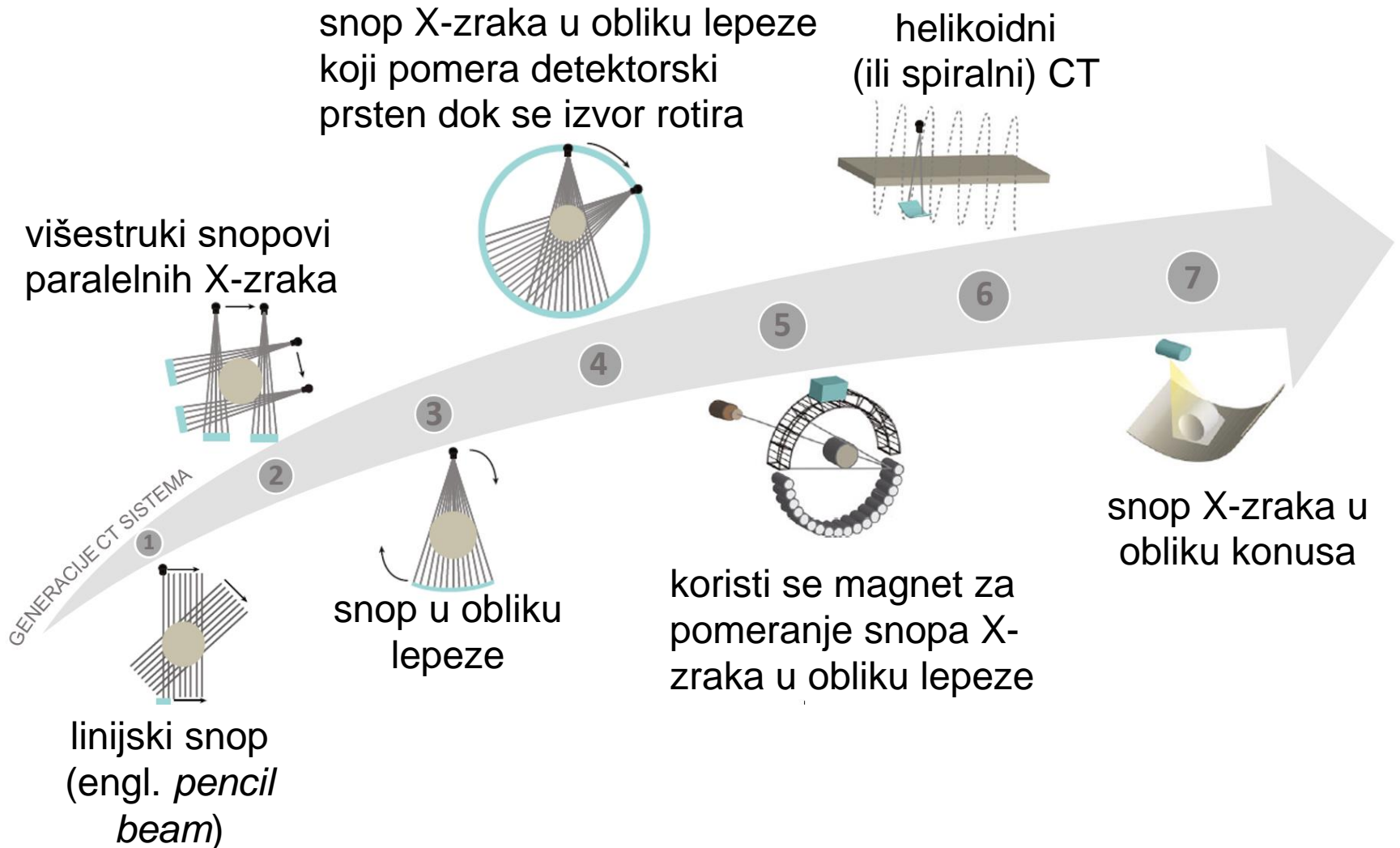
ujom cevi (A).  
kšava prenos.

# Princip rada CT sistema



*Princip rada Cone Beam kompjuterizovane tomografije*

# Istorijski razvoj CT sistema

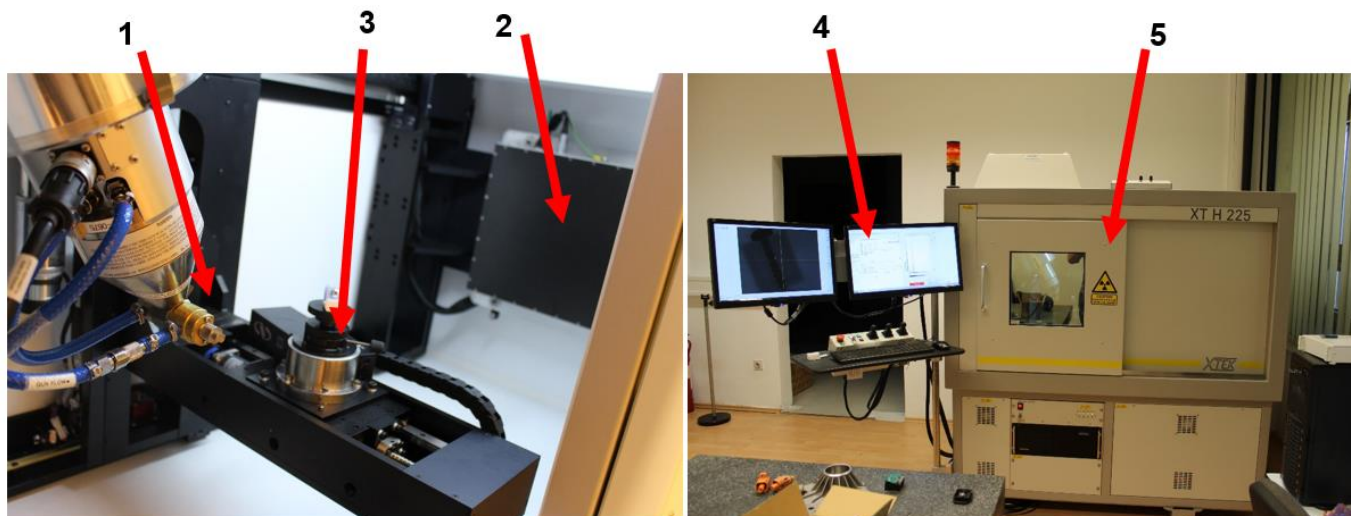


# Podela CT sistema

- Postoje različiti tipovi CT sistema koji se danas primenjuju, a klasifikuju se u sledeće kategorije:
  - **Medicinski CT**
    - rendgen jedinica (koja nosi izvor i detektor X-zraka) kontinualno rotiraju oko objekta ili pacijenta (koji ostaje nepokretan)
    - generišu se tomografski snimci koji predstavljaju 2D snimke/slajsove/kriške skeniranog tela.
  - **Industrijski CT za analizu materijala**
    - fundamentalno se razlikuju od medicinskih CT sistema.
    - objekat rotira u pravcu X-zraka, a izvor X-zraka i detektor ostaju stacionarni.
    - doza zračenja nije kritična po objekat, primenjuje se veći nivo zračenja nego kod medicinskih CT skenera.
  - **CT za primenu u dimenzionalnoj metrologiji**
    - dimenzionalna merenja se izvode na digitalizovanom 3D modelu
    - akvizicija podataka (2D CT snimci) i njihova naknadna evaluacija može da se izvrši bilo gde i bilo kada.
    - kod dimenzionalne metrologije posebna pažnja se posvećuje tačnosti i ponovljivosti rezultata merenja.

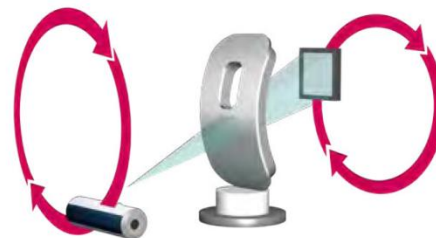
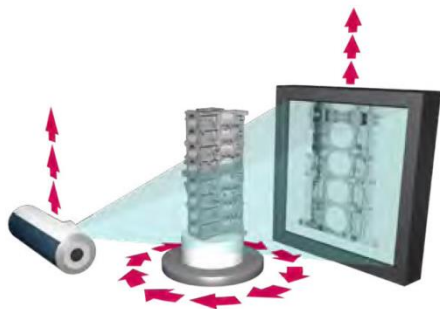
# Osnovne komponente

- Večina industrijskih CT sistema se sastoji od nekoliko glavnih komponenti, a to su:
- **1. Izvor X-zraka (rendgenska cev)**
- **2. Detektor**
- **3. Manipulacioni sistem (obrti sto)**
- **4. Računarska podrška**
- **5. Zaštita od radijacije**
- **6. Sistem za hlađenje**



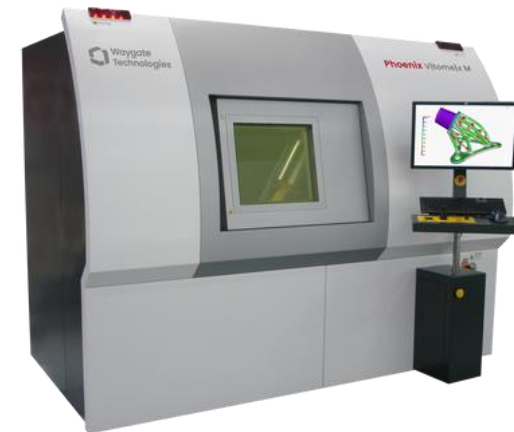
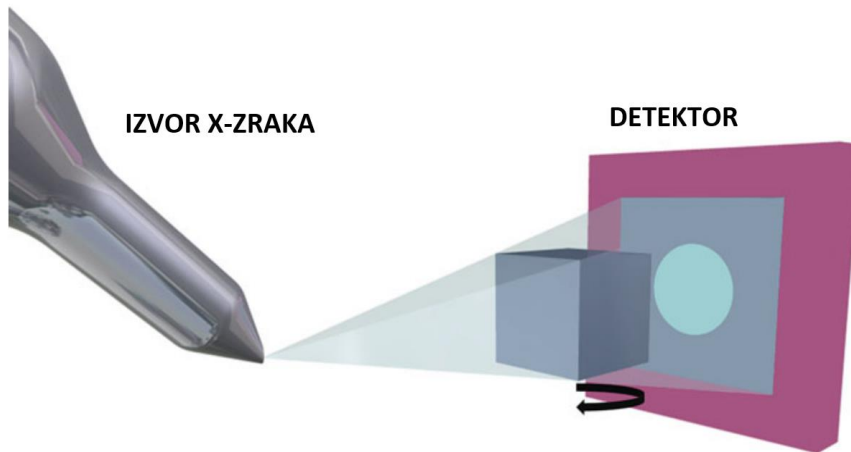
# Klasifikacija CT sistema prema obliku snopa X-zraka

- **Prema obliku snopa X-zraka**, industrijski CT sistemi se uopšteno mogu podeliti na:
  - CT sistemi snopa X-zraka u obliku lepeze (engl. fan beam CT) i
  - CT sistemi konusnog snopa X-zraka (engl. cone beam CT),
- Takođe se danas koriste i različite izvedbe CT sistema baziranih na nekom od ova dva oblika snopa X-zraka, a to su:
  - Spiralno (helikoidno) CT snimanje i
  - CT laminografija.



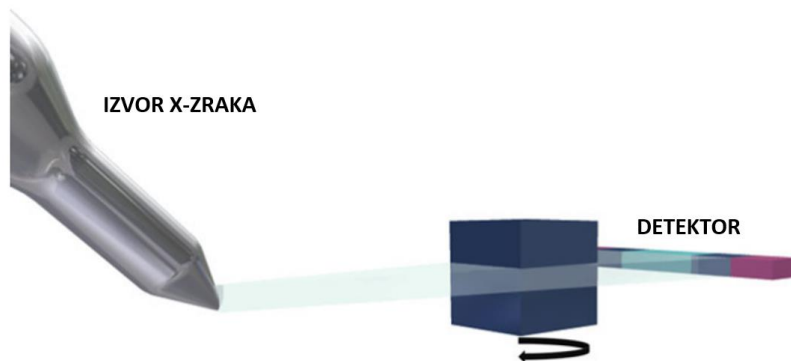
# CT sistemi konusnog snopa X-zraka

- Obezbeđuju izotropno uvećanje zone snimanja i kraće vreme snimanja (brži su).
- Omogućavaju generisanje trodimenzionalnih podataka u velikoj rezoluciji i visoke dimenzionalne tačnosti gde koriste usmereni izvor X-zraka koji proizvodi snop u obliku konusa.
- Snop X-zraka koji zatim vrši potpunu ili delimičnu rotaciju oko objekta proizvodeći niz tomograma (diskretnih slika planarnih projekcija) pomoću digitalnog detektora



# CT sistemi snopa X-zraka u obliku lepeze

- Izvor rendgenskih X-zraka emituje X-zrake u vidu lepeze koji prolaze kroz objekat koji se skenira i koji se prikupljaju na detektoru.
- Prikupljanje podataka o objektu u vidu spiralne putanje.
- Sporiji od skenera sa konusnim snopom X-zraka
- Kod ovog tipa snopa X-zraka ne nastaju neke vrste artefakata, za razliku od CT sistema sa konusnim snopom X-zraka.
- Mogu da proizvedu podatke skeniranja veće tačnosti.



# Klasifikacija CT sistema u zavisnosti od veličine objekta:

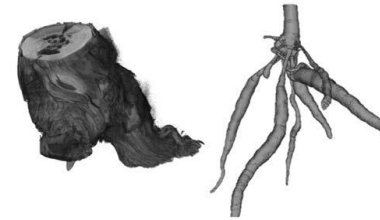
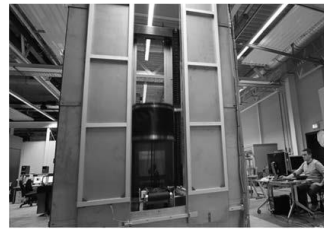
- Klasifikacija CT sistema u zavisnosti od veličine objekta se deli na:
  - XXL CT
  - Genti (rotirajući) CT sistemi
  - Makro CT
  - Dualni/dvoenergetski CT sistemi
  - 4D CT
  - Mikro ( $\mu$ ) CT
  - Submikronski (nano) CT
  - Nano CT baziran na SEM\* tehnologiji

\*skenirajuća elektronska mikroskopija (eng. *Scanning Electron Microscopy – SEM*) omogućava dobijanje slika uzorka skeniranjem njegove površine fokusiranim snopom elektrona.

- XXL CT



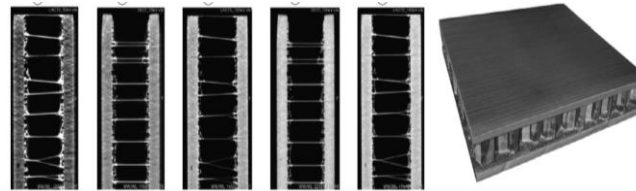
- Genti (rotirajući) CT sistemi



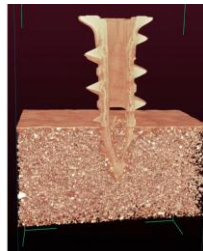
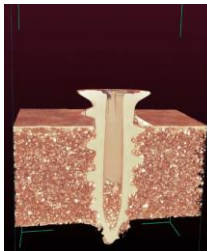
- Makro CT (uz dodatak robotske ruke ili linijske CT insecije – engl. *inline*)



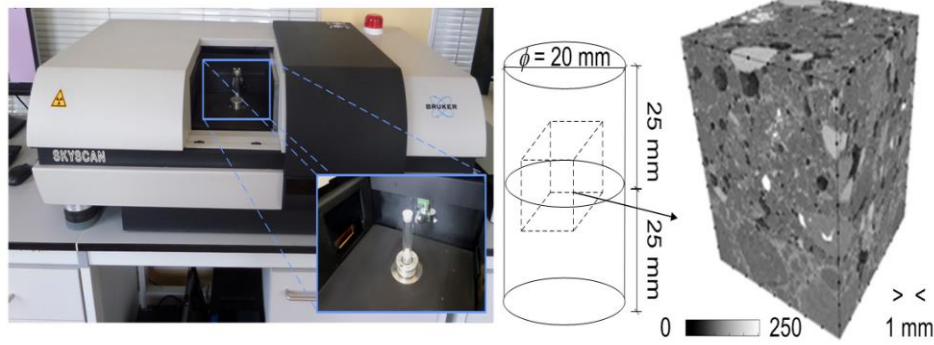
- Dualni/dvoenergetski CT sistemi



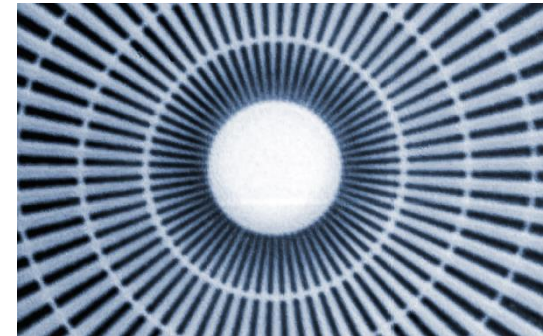
- 4D CT



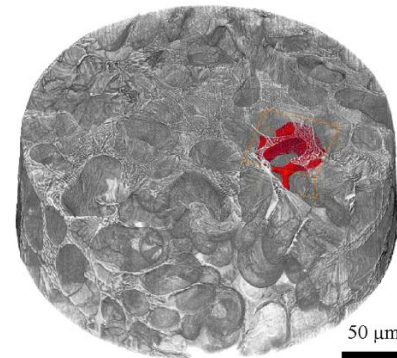
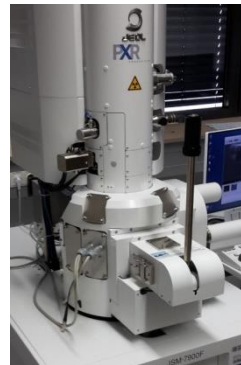
- Mikro ( $\mu$ ) CT



- Submikronski (nano) CT



- Nano CT baziran na SEM\* tehnologiji

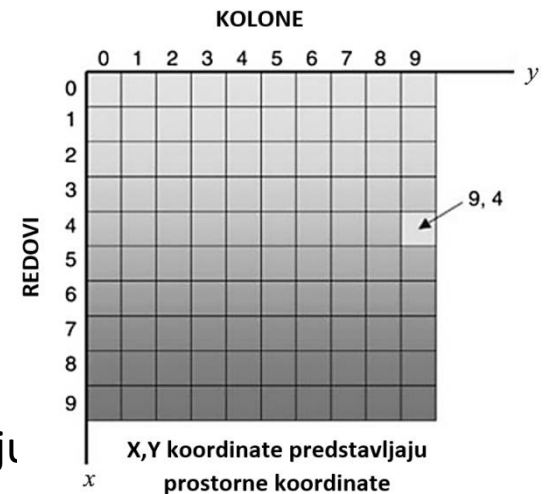


# Koraci kod generisanja 3D modela primenom CT sistema:

- Kada je u pitanju postupak generisanja 3D modela primenom industrijskog CT sistema, on se sastoji iz sledećih koraka:
  1. **Priprema** - Ovde se mogu izdvojiti različiti koraci, kao npr. priprema predmeta za snimanje (ukoliko je to potrebno), izbor adekvatnih parametara akvizicije tokom CT snimanja i kalibracija sistema.
  2. **Akvizicija** - Ovaj korak uključuje generisanje projekcija i rekonstrukciju rezultujućih 2D CT snimaka.
  3. **Rekonstrukcija** - Rekonstrukcija na osnovu prethodno prikupljenih 2D CT snimaka dovodi do generisanja zapreminskog 3D modela.
  4. **Vizuelizacija i analize** - Ovaj korak uključuje sve operacije i manipulacije sa podacima, kao i za ekstrakciju informacija na osnovu rekonstruisanih CT snimaka. Vizuelizacija se može izvesti u 2D domenu (poprečni preseci) ili u 3D domenu (zapremina).

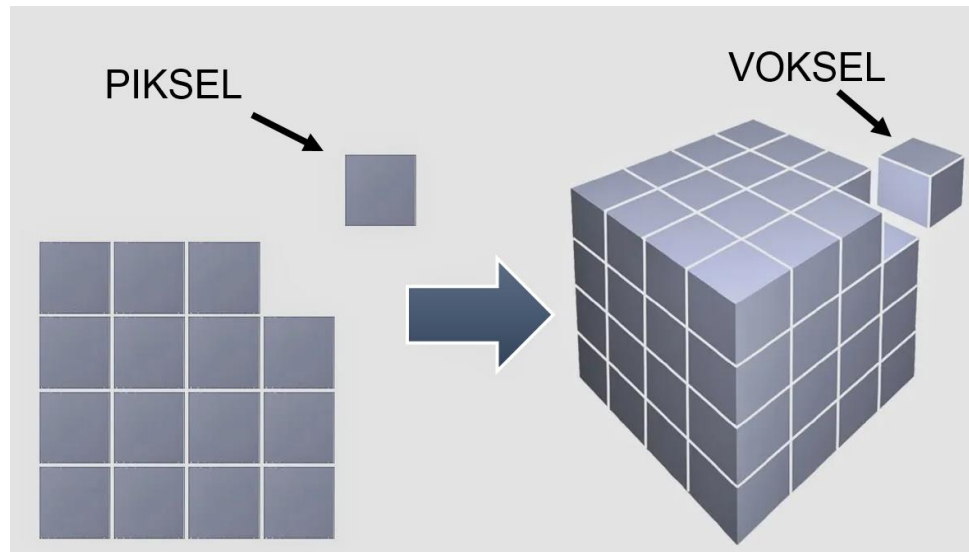
# Detekcija, rekonstrukcija i vizuelizacija podataka kod CT sistema

- U toku kompletnog CT procesa, korak detekcije se sprovodi pomoću detektora, koji hvataju oslabljeni snop rendgenskih X-zraka i pretvaraju ga u električne signale, koji se zatim konvertuju u binarno kodirane informacije.
- Digitalna slika predstavlja numeričku sliku raspoređenu na takav način da se lokacija svakog broja (piksela) može identifikovati preko Dekartovog koordinatnog sistema (x, y) gde ose x i y opisuju redove i kolone na slici.
- Osnovni parametri za opisivanje digitalne slike su:
  - matrica,
  - pikseli,
  - vokseli i
  - dubina bita.
- Digitalna slika je sastavljena od 2D niza brojeva koji se nazivaju
- Matrica se sastoji od kolona (M) i redova (N) koji definišu male regione koji se nazivaju elementi slike ili pikseli. Kolone i redovi opisuju dimenzije slike, a veličina slike je u bitovima.



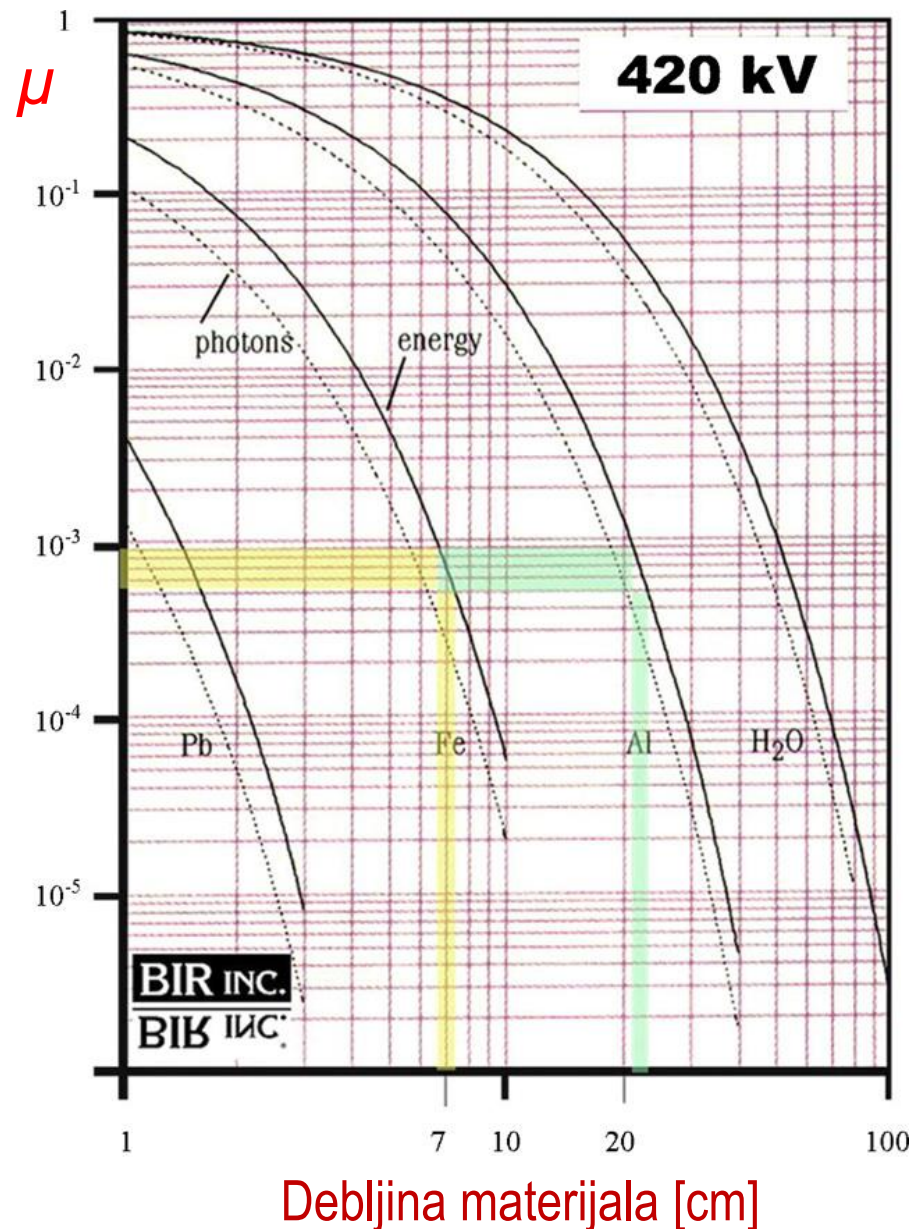
# Detekcija, rekonstrukcija i vizuelizacija podataka kod CT sistema

- Pikseli su elementi slike koji čine matricu i uglavnom su kvadratnog oblika. Svaki piksel je okarakterisan brojem (diskretnom vrednošću) koji predstavlja vrednost osvetljenosti.
- Brojevi predstavljaju karakteristike materijala, npr. u radiografiji i CT, ovi brojevi su povezani sa koeficijentom slabljenja materijala.
- Voksel predstavlja 3D piksel koji sadrži informacije o zapremini materijala u objektu slike.



- 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  $\mu$ ) i
  - energije X-zraka.

Atenuacioni koeficijent materijala ograničava max. debljinu materijala koja može biti probijena.



# Zapis podataka kod CT sistema

- Razmena informacija u vidu CT snimaka, kao i podataka koje oni sadrže je danas od velikog značaja. Ovo pospešuje komunikaciju i saradnju jer obezbeđuje različitim korisnicima i ustanovama da nesmetano prenose podatke ili ih dele.
- U tu svrhu se danas koristi tzv. **DICOM (engl. Digital Imaging and Communications in Medicine)** format zapisa (**\*.dcm**) koji omogućava prenos podataka u vidu slika visokog kvaliteta.
- Ukratko rečeno, DICOM predstavlja međunarodni standard za prenos, skladištenje, preuzimanje, štampanje, obradu i prikaz informacija o slici.
- Pored ovog formata zapisa, danas se takođe koriste i drugi standardni formate za skladištenje slike, kao što su \*.tif, \*.jpeg i drugi formati zapisa.

# Prednosti i nedostaci CT sistema

## Prednosti CT-a:

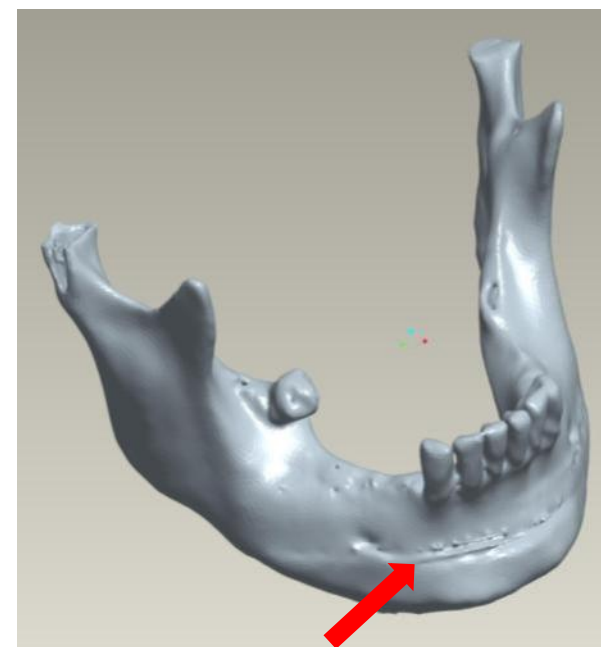
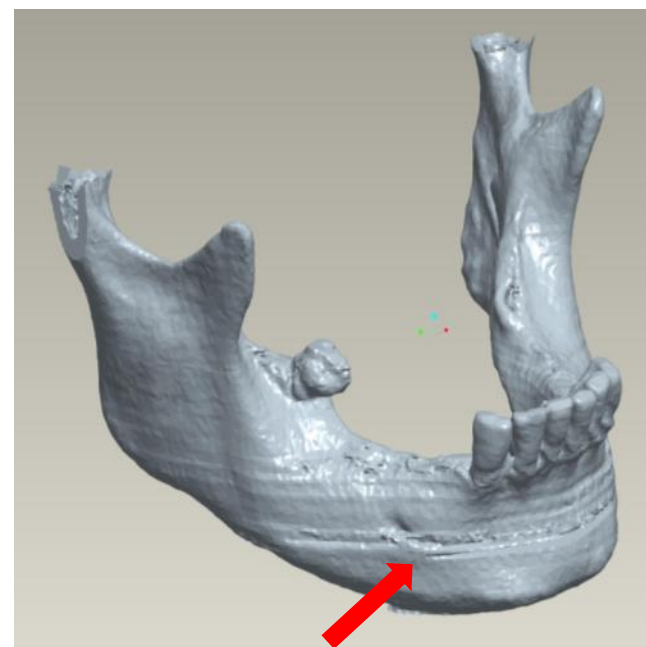
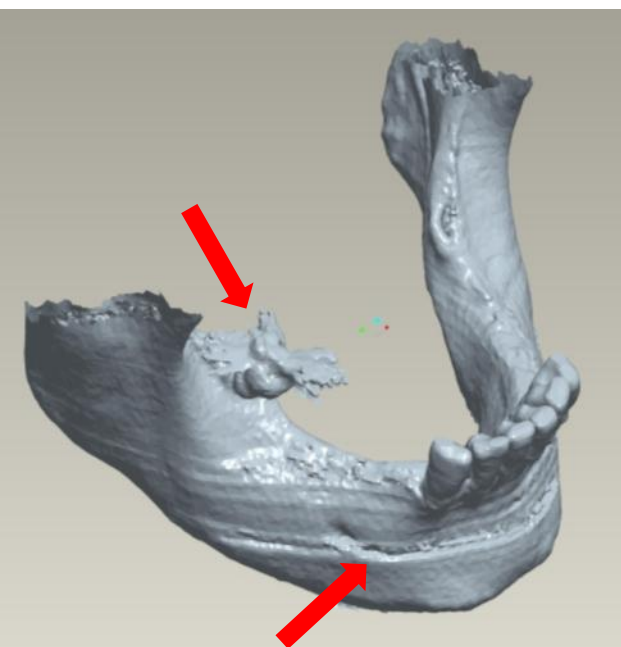
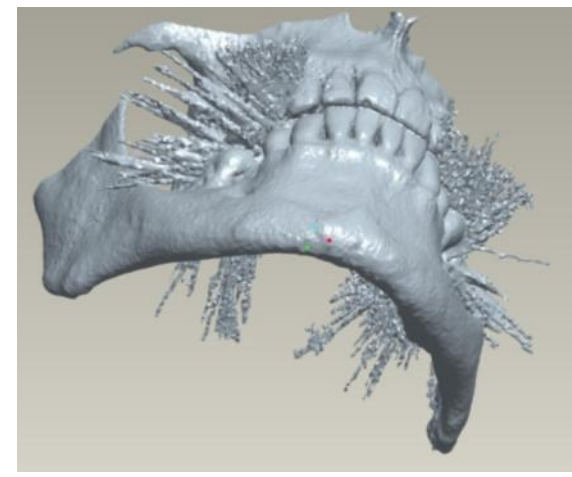
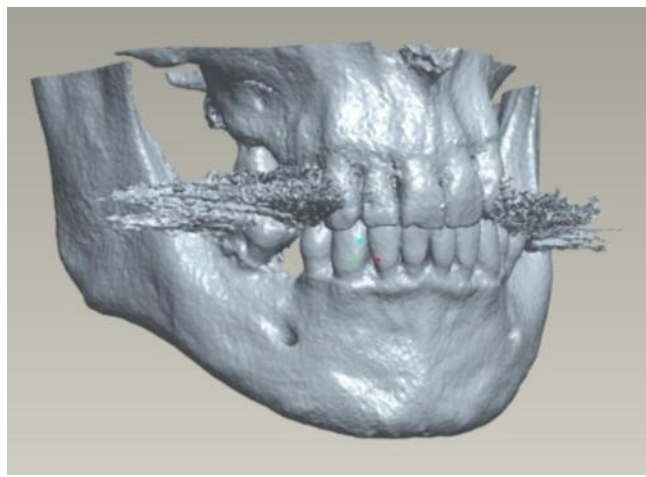
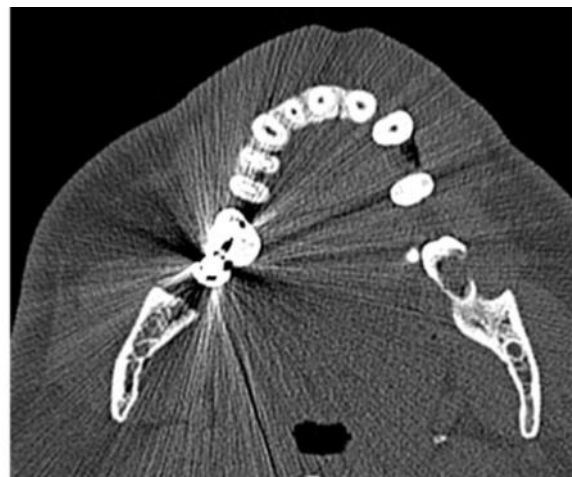
- ✓ Zahvaljujući relativno dobroj prodornosti X-zraka, kao i osetljivosti na gustinu materijala objekta, **CT omogućava nedestruktivnu karakterizaciju i unutrašnjosti objekta.**
- ✓ Zahvaljujući osobinama X-zraka, CT se podjednako dobro primenjuje na različitim materijalima (metal, plastika, organski materijali itd.), 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 registracijom (uklapanjem) više oblaka tačaka.
- ✓ CT ne zahteva primenu pribora, a nije potrebno ni prethodno ni naknadno pomeranje objekta.
- ✓ Savremeni CT industrijski sistemi su dostigli nivo (preciznost i tačnost) da se mogu porediti sa KMM.

# Prednosti i nedostaci CT sistema

## Nedostaci CT-a:

- ✓ Brojni izazovi u vidu segmentacije i rekonstrukcije podataka (od kojih u velikoj meri zavisi tačnost ovih sistema) što posledično ima veliki uticaj na kvalitet generisanih 3D modela (njihova dimenzionalna tačnost).
- ✓ **Artefakti**, kao uzroci nastanka grešaka kod rekonstrukcije, imaju takođe veliki uticaj na krajnje 3D modele.
- ✓ Ekstrakcija informacija u kompleksnim slučajevima, pogotovo kod segmentacije višematerijalnih predmeta (MMC) sa ciljem tačne rekonstrukcije svih komponenti iz kojih se ovi predmeti sastoje, a koje su od materijala izrazito različitih specifičnih gustina (npr. metal i polimer).
- ✓ Brže vreme ciklusa merenja/snimanja.
- ✓ Cena CT sistema je znatno visoka, a vreme merenja/snimanja relativno dugo.
- ✓ Potreba za boljom operativnošću operatera (proces postavljanja i snimanja predmeta na CT sistemima, i njihovu naknadnu obradu).

## Problem šuma kod CBCT sistema



Model sa "šumom" od artefakata

Model očišćen od "šuma"

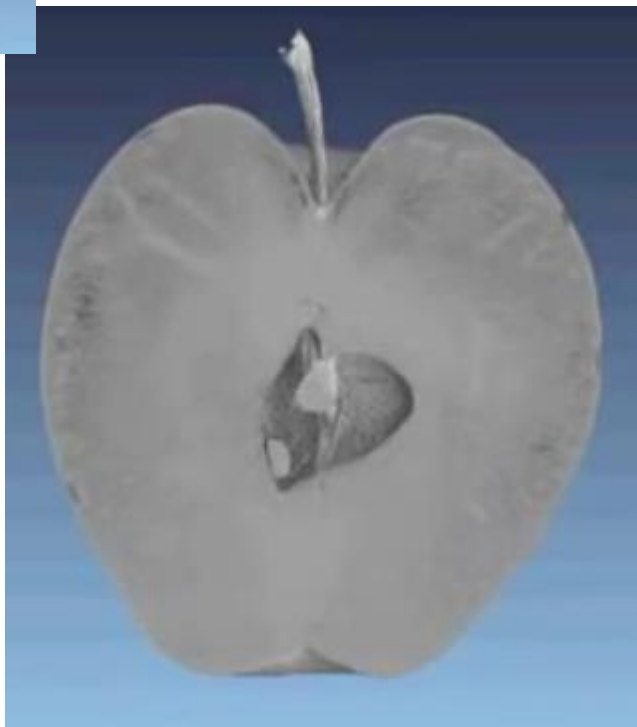
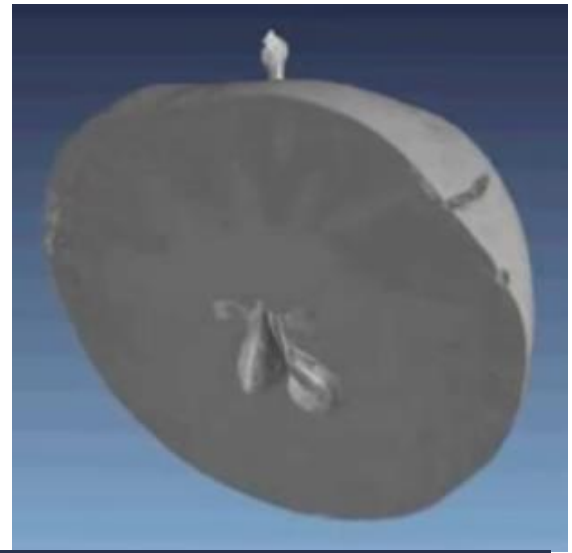
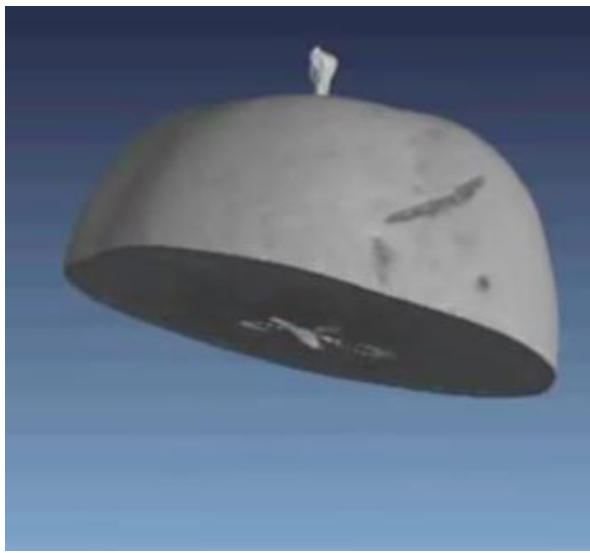
Model pripremljen za izradu

# Primeri primene CT sistema

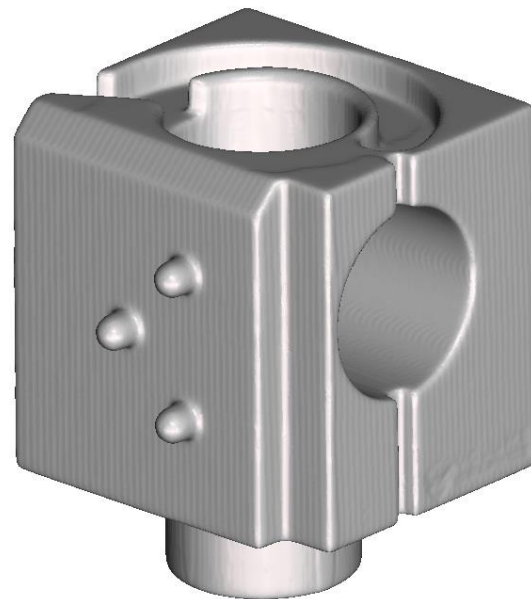
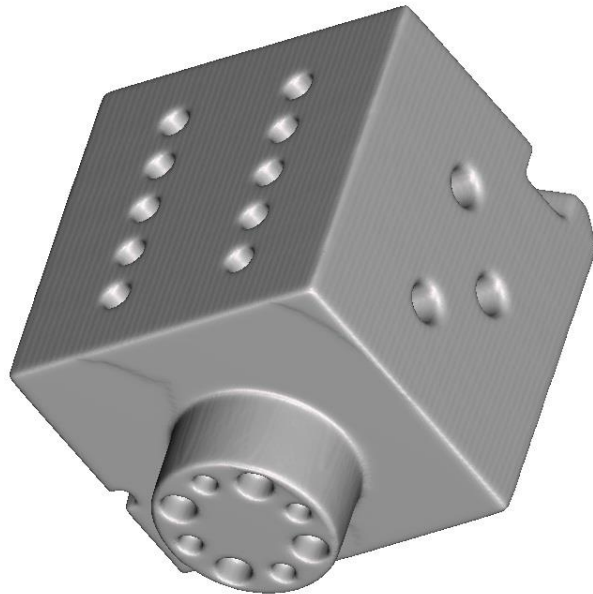
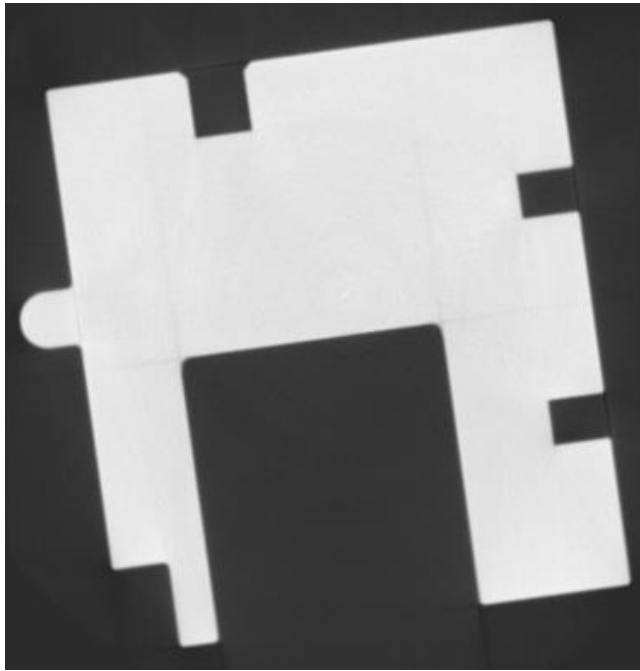


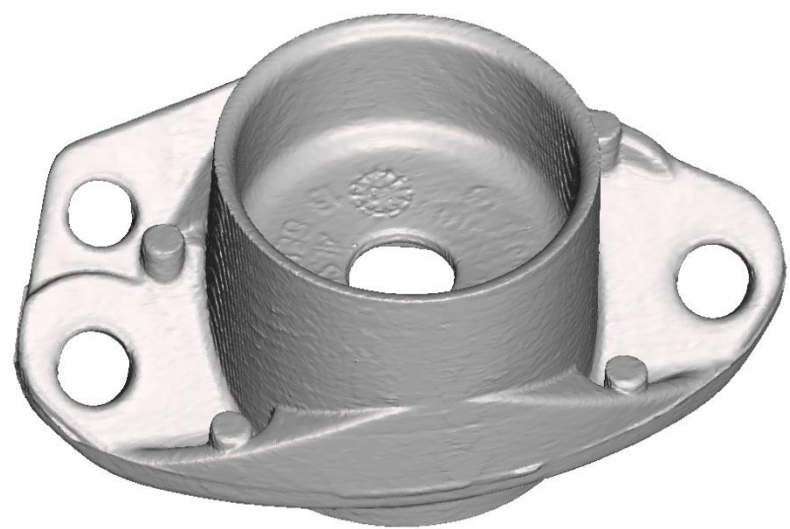
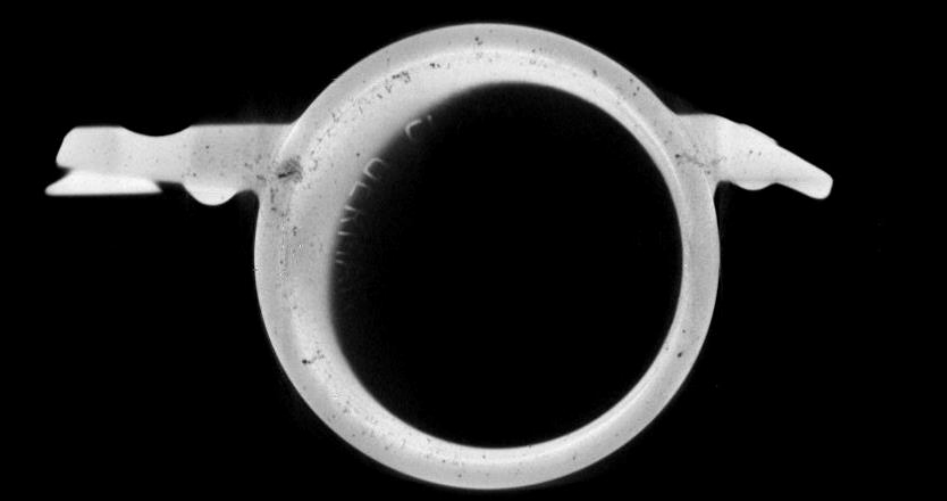
Jabuka





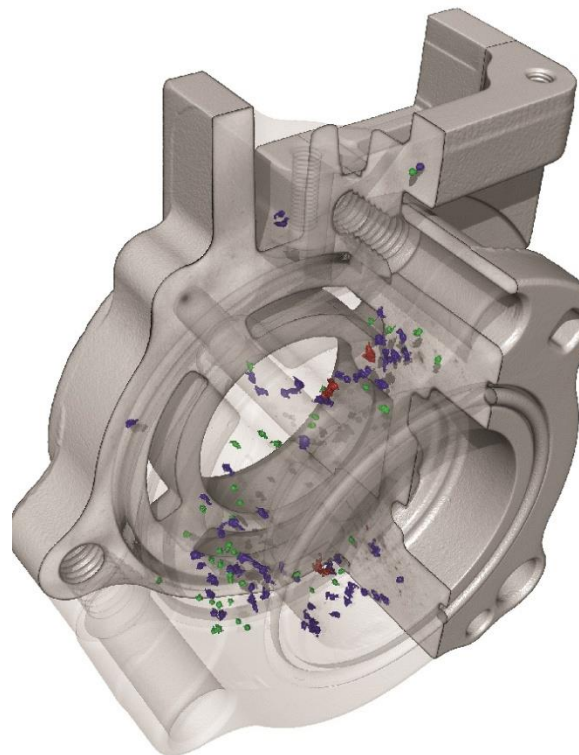
## Delovi od metala







- ✓ Zahvaljujući tome što CT omogućava nedestruktivnu karakterizaciju i unutrašnjosti objekta, to ovu metodu 3DD čini vrlo pogodnom i za primenu u industrijskoj inspekciji.



Segmentacija slike i artefakti  
kod kompjuterizovane  
tomografije (CT)

# *Segmentacija – uvodni pojmovi*

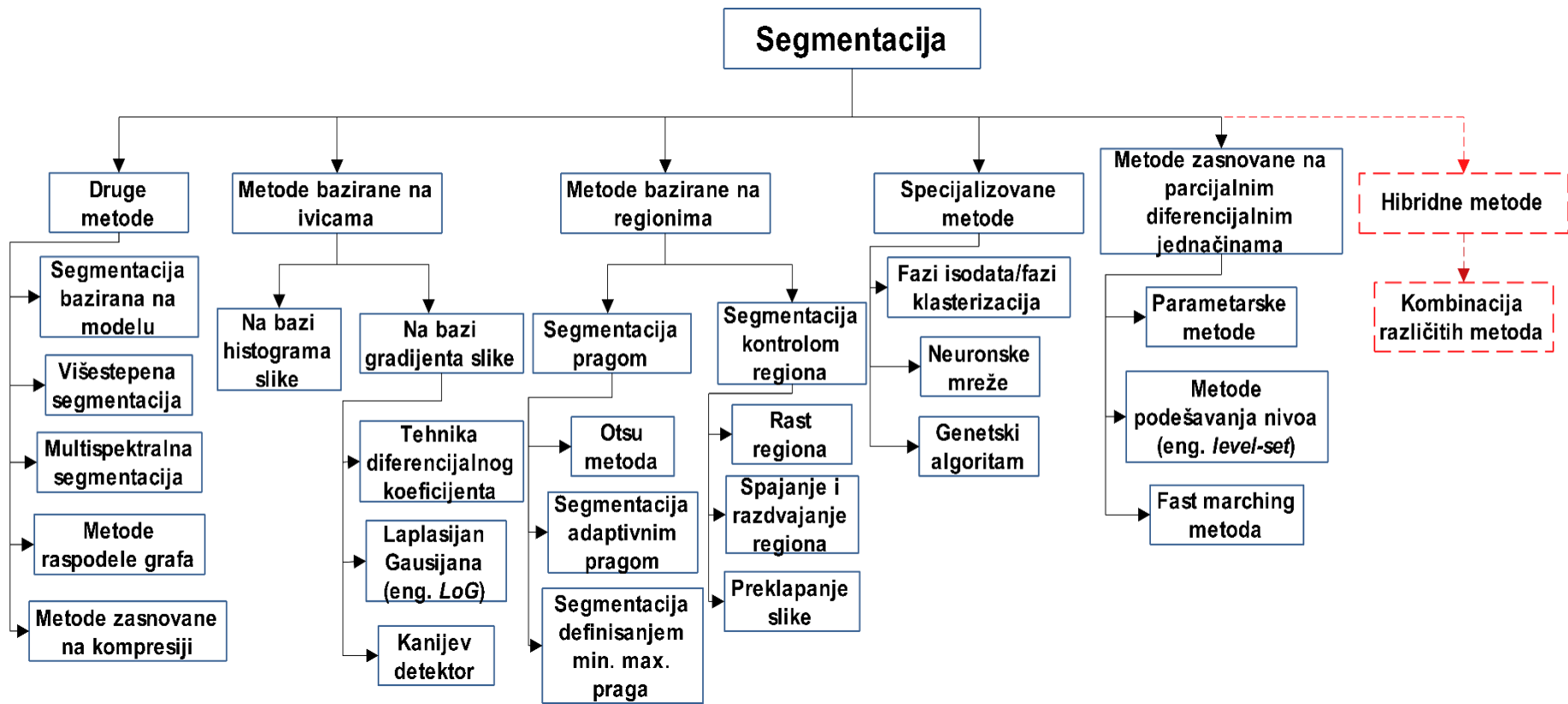
- **Segmentacija** - se često definiše kao proces koji deli sliku na njene sastavne delove i ekstrahuje delove (objekte) od interesa.
- To je jedan od najkritičnijih zadataka u automatskoj analizi slike, jer će rezultati segmentacije uticati na sve naredne procese analize slike, kao što su:
  - vizuelizacija i opis objekta,
  - merenje određenih karakteristika,
  - klasifikacije objekta,
  - itd.

# Segmentacija – uvodni pojmovi

- Kritičan parametar kod segmentacije predstavlja pažljivo definisanje granične vrednosti intenziteta piksela prisutnih na CT snimcima (engl. *threshold*).



# Segmentacija – podela



# Metode bazirane na ivicama

- Metode bazirane na ivicama (engl. *Edge Based*) se zasnivaju na ekstrakciji ivica objekta prisutnog na slici. **Ivica predstavlja** skup povezanih piksela koji leže na granici između različitih regiona, gde postoje intenzivni diskontinuiteti, kao što su promena intenziteta piksela, različite nijanse boje, različita tekstura itd.
- Detekcija ivice može predstavljati veliki izazov kod obrade slike, pogotovo danas kada se nameću sve kompleksniji slučajevi segmentacije slike.
- Postoji mnogo izazova kod primene metode detekcije ivica, a neki od njih su:
  - promena osvetljenja na slici;
  - dinamična pozadina slike;
  - šum ima veliki uticaj na oblikovanje ivice;
  - lažna detekcija ivice (detektovanje ivice gde ona ne postoji);
  - dislocirana ivica (otkrivena ivica koja se pomera sa svoje tačne lokacije).

# Metode bazirane na regionima

- Metode bazirane na regionima (engl. *Region Based*) zasnivaju se na kontinuitetu određenog parametra slike.
- Ove metode dele celu sliku u pod-regione na osnovu definisanih pravila. Npr. jedno od takvih pravila je da svi pikseli u jednom regionu moraju imati isti intenzitet.
- Metode bazirane na regionima se oslanjaju na vrednosti intenziteta piksela unutar klastera. Klaster se naziva region, a cilj algoritma segmentacije jeste grupisanje regiona prema njihovim funkcionalnim ulogama.
- U poređenju sa metodama detekcije ivice, algoritmi segmentacije bazirani na regionima su relativno jednostavniji i manje osetljivi na šum.
- Metode bazirane na detekciji ivica segmentiraju sliku zasnovanu na velikim promenama intenziteta piksela u blizini ivica, dok metode bazirane na regionima vrše particiju slike u regione.

# *Specijalizovane metode*

- U ovu grupu spadaju metode za segmentaciju veće složenosti u odnosu na prethodne dve.
- Ova grupa metoda se može kategorizirati na sledeći način:
  - Segmentacija zasnovana na genetskom algoritmu;
  - Segmentacija zasnovana na neuronskoj mreži;
  - Segmentacija slike zasnovana na klasterizaciji;
  - Segmentacija bazirana na Vejvletu (engl. Wavelet segmentation).
-

# *Metode zasnovane na parcijalnim diferencijalnim jednačinama*

- Koristeći metodu parcijalne diferencijalne jednačine (PDJ) i rešavanje PDJ jednačine numeričkim metodama, može se segmentirati slika.
- Ima brojne primene kao što su uklanjanje predmeta, praćenje objekata, stereo rekonstrukcija i sl.

# *Hibridne metode*

- Sa povećanjem kompleksnosti segmentacije slike, nameće se potreba za razvojem novih algoritama i metoda.
- Kombinovanjem prehodno pomenutih metoda moguće je razviti hibridne metode i postići bolje rezultate segmentacije.
- **Po pravilu, hibridne metode su robusnije, tj. manje osetljive na promene parametara** i kod njih se sa istim parametrima moгу dobiti dobri rezultati segmentacije za relativno širok spektar različitih slika.

# *Ostale metode*

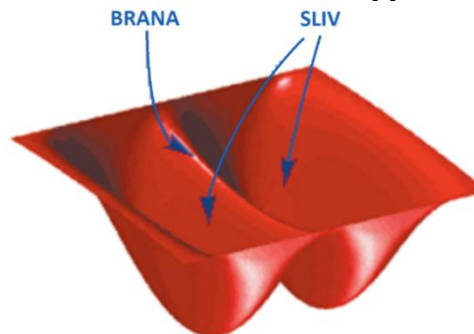
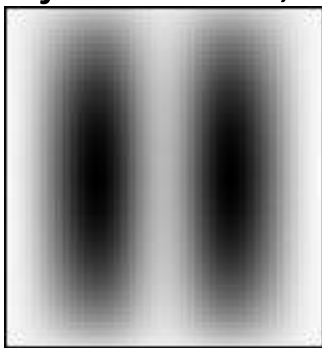
- Postoji još mnogo drugih metoda segmentacije kao što su:
  - višestepena segmentacija,
  - metoda raspodele grafa,
  - multispektralna segmentacija,
  - metode zasnovane na kompresiji,
  - itd.

# *Najčešće primenjivane metode za segmentaciju CT snimaka*

- Neke od najčešće primenjivanih metoda su:
  - Metoda sliva (engl. Watershed);
  - Fazi isodata/fazi klasterizacija metodom C-srednjih vrednosti (engl. skraćeno FCM);
  - Rast regiona (engl. Region Growing);
  - Segmentacija adaptivnim pragom (engl. Adaptive thresholding);
  - Otsu metoda;
  - Neuronske mreže (engl. Neural Network);
  - Genetski algoritam (engl. Genetic algorithm).

# Metoda sliva

- Metoda sliva je metoda za identifikaciju granica u kojoj su slike intenziteta sivog nivoa modelirane kao topografski reljefi, gde je intenzitet piksela analogan elevaciji u toj tački.
- Koncept ove metode se može razumeti tako što se pretpostavlja da se rupa definiše počevši od svakog lokalnog minimuma u reljefu. Pošto je reljef „uronjen“, voda kreće iz rupa u lokalnim minimumima. U svakoj tački gde voda prelazi iz jednog sliva u drugi, formira se tzv. „brana“. Kada je celokupni reljef uronjen u vodu, brana je formirana između svakog sliva prisutnog na slici.



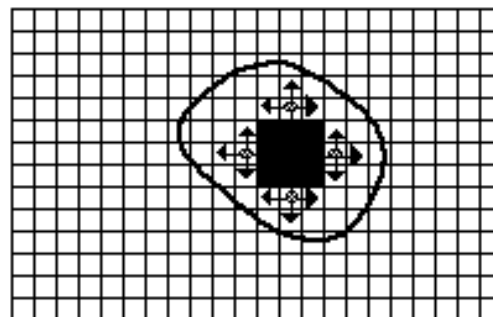
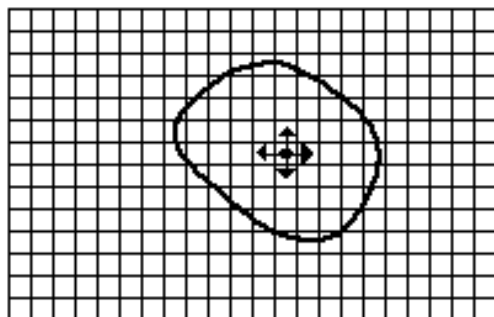
- Kod primene ove metode postoji tendencija preterane segmentacije slike.

# *Fazi isodata/fazi klasterizacija metodom C-srednjih vrednosti*

- Ova metoda se koristi za klasterizaciju, odnosno grupisanje podataka (piksela), gde svaki piksel može da pripada dva ili više klastera sa određenim stepenom pripadnosti.
- FCM algoritam generiše fazi (odnosno, rasplinite) particije za svaki skup numeričkih podataka (piksela), i na taj način dozvoljava da jedan piksel istovremeno pripada dva ili više klastera.
- Kod postupka klasterizacije slike, najčešći parametar koji se uzima u obzir jeste intenzitet piksela prikazan u nijansama sive boje.

# Rast regiona

- Predstavlja jednostavan algoritam za segmentaciju, **gde svaki region počinje kao jedno seme (piksel). U svakoj iteraciji, okolni pikseli su uzeti u obzir kako bi se utvrdilo da li region treba proširiti i da li ih treba uključiti u dati region ili ne, a to kontroliše parametar tolerancije.**
- Ovaj pristup se vodi činjenicom da susedni pikseli, koji se nalaze u blizini regiona imaju slične karakteristike u vidu vrednosti intenziteta piksela, boje, ili nekih drugih parametara.



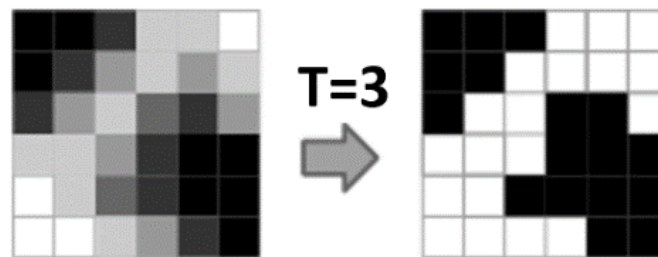
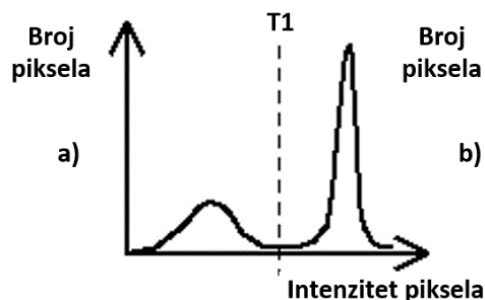
- **Izbor početnog semena za segmentaciju ima veliki uticaj na konačni rezultat segmentacije, odnosno generisanje 2D binarne slike.**

# *Segmentacija adaptivnim pragom*

- Metode segmentacije adaptivnim pragom predstavljaju metode koje **ne koriste** isti prag intenziteta piksela prilikom segmentacije cele slike.
- **Za svaki piksel na slici mora se izračunati prag intenziteta.** Ako je vrednost piksela ispod praga, ona se smatra kao pozadina, u suprotnom, ako ima vrednost piksela iznad praga, uzima se u obzir.
- **Nedostatak** ove metode jeste to što je izračunavanje vremenski zahtevno i, **stoga, nije prikladno za aplikacije u realnom vremenu.**

# Otsu metoda

- Primenom Otsu metode koristi se algoritam koji pretpostavlja da slika sadrži dve klase piksela (objekat i pozadinski pikseli), zatim se izračunava optimalni prag koji odvaja dve klase tako da je njihov kombinovani raspon minimalan ili ekvivalentan.
- Ulaz za operaciju praga tipično je slika u nijansama sive (ili RGB slika u boji). Crni pikseli odgovaraju pozadini, a beli pikseli odgovaraju objektu od interesa (ili obratno).
- U jednostavnim implementacijama **segmentacija se određuje samo jednim parametrom poznatim kao prag intenziteta piksela.**



# *Veštačke neuronske mreže*

- Danas se ova metoda često koristi za segmentaciju medicinskih slika.
- Koristi se za odvajanje objekta od interesa od pozadine.
- Neuronska mreža se sastoji od velikog broja povezanih čvorova i svaka veza ima određenu težinu. U tom slučaju problem se pretvara u više manjih problema koji se rešavaju primenom neuronske mreže.
- Veštačke neuronske mreže su korišćene u segmentaciji medicinskih slika, obično za potrebe obimnih identifikacija, ali i kod identifikacije 2D granica.
- Mreža mora prvo da bude obučena pomoću odgovarajućih podataka o slici, nakon čega se može koristiti za segmentiranje drugih slika.

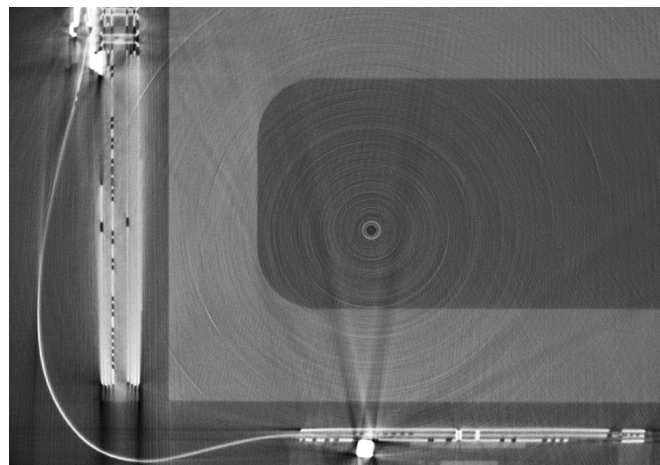
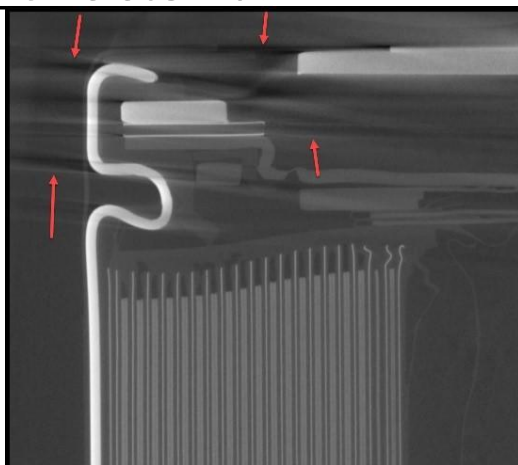
# Genetski algoritam

- Metoda genetskog algoritma (GA) je metoda optimizacije koja **koristi Darvinov kriterijum evolucije** populacije jedinki za rešavanje problema optimizacije zasnovanih na prirodnoj selekciji.
- GA se zasniva na principu "preživljavanje najsposobnijih".
- Svaki pojedinac predstavlja jedno rešenje za proces.
- Postupak je iterativne prirode gde se nakon završenog definisanog broja iteracija (generacija) algoritam zaustavlja.
- Pojedinac, odnosno jedinka sa najnižom vrednošću funkcije troškova proglašen je za rešenje zadatka GA.

# ARTEFAKTI

## *-osnovni pojmovi i definicije-*

- Jedan od većih problema sa kojim se CT sistemi danas suočavaju prilikom njihove primene jeste prisutnost artefakata na rezultatima CT snimaka.
- **Artefakti predstavljaju veštačke strukture koje se nalaze u rezultatima skeniranja, a koji ne odgovaraju realnom stanju.**
- **Artefakti se mogu opisati kao neslaganja između stvarne vrednosti nekog fizičkog svojstva objekta i mapiranja tog fizičkog svojstva generisanog primenom CT sistema.**



# ARTEFAKTI

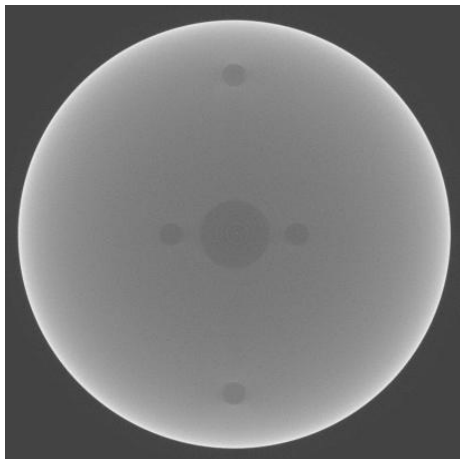
- Artefakti na rezultatima CT snimanja (CT slike) danas mogu biti uzrokovani mnogim stvarima, kao što su:
  - prirodom fizike,
  - neoptimalnim dizajnom sistema,
  - ograničenjima trenutnih i novih tehnologija,
  - karakteristikama objekata koji se snimaju i
  - neoptimalnim ili neodgovarajućim korišćenjem skenera.
- Računarske metode koje se danas koriste za redukciju i/ili eliminaciju artefakata CT slike **mogu se podeliti u dve glavne klase:**
  - ispravljanje artefakata i
  - izbegavanje artefakata.

# ARTEFAKTI

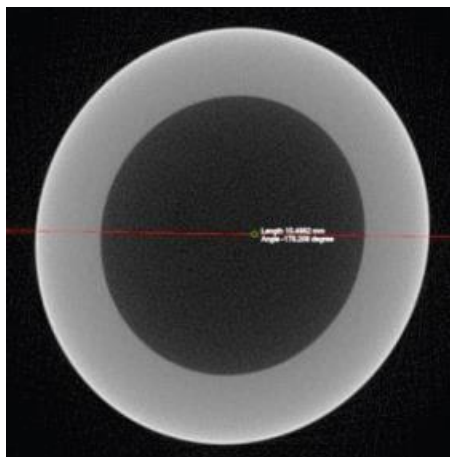
- Artefakti se danas mogu grupisati u četiri osnovna podskupa, a to su:
  1. Artefakti zasnovani na zakonima fizike
  2. Artefakti zasnovani na hardveru
  3. Artefakti zasnovani na podešavanju sistema
  4. Artefakti prisutni u oblasti medicine

# Artefakti zasnovani na zakonima fizike

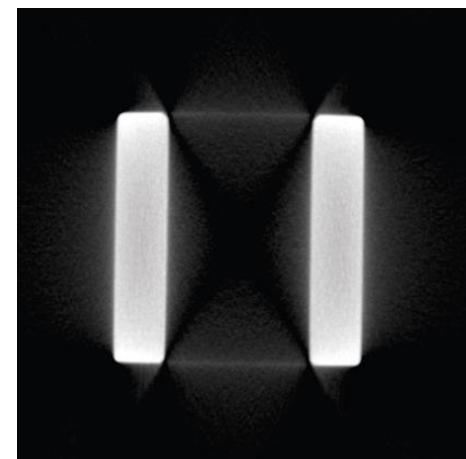
- U ovaj tip artefakata spadaju oni artefakti koji proizilaze iz fizičkih procesa uključenih u generisanje CT slike.
- Tokom prolaska rendgenskih X-zraka kroz material objekta, fotoni niže energije se češće apsorbuju i snop X-zraka postaje „tvrđi“.
- Rezultat nastanka ovih artefakata dovodi do toga da se materijali ujednačene gustine pojavljuju kao materijali različite gustine na CT slikama



Očvršćavanje snopa  
X-zraka



*cupping* artefakati

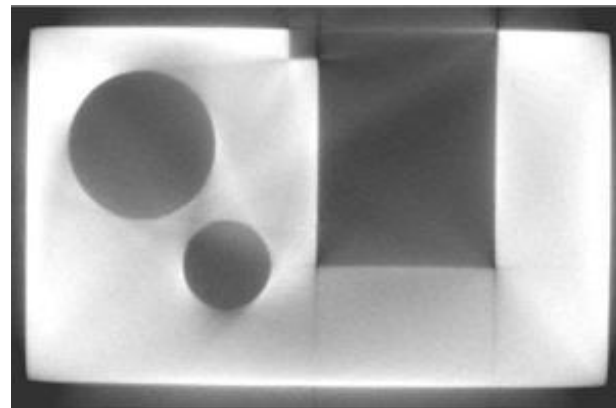
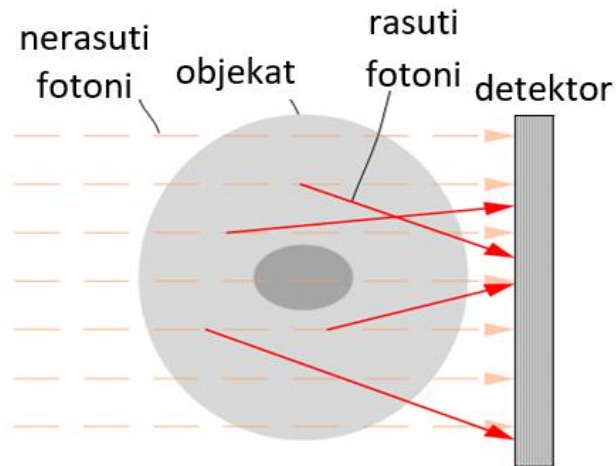


artefakati u vidu  
pruga

# Artefakti zasnovani na zakonima fizike

## Rasipanje X-zraka

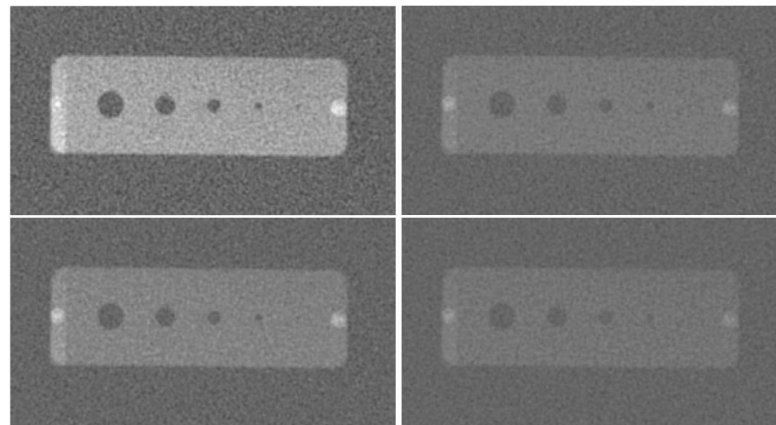
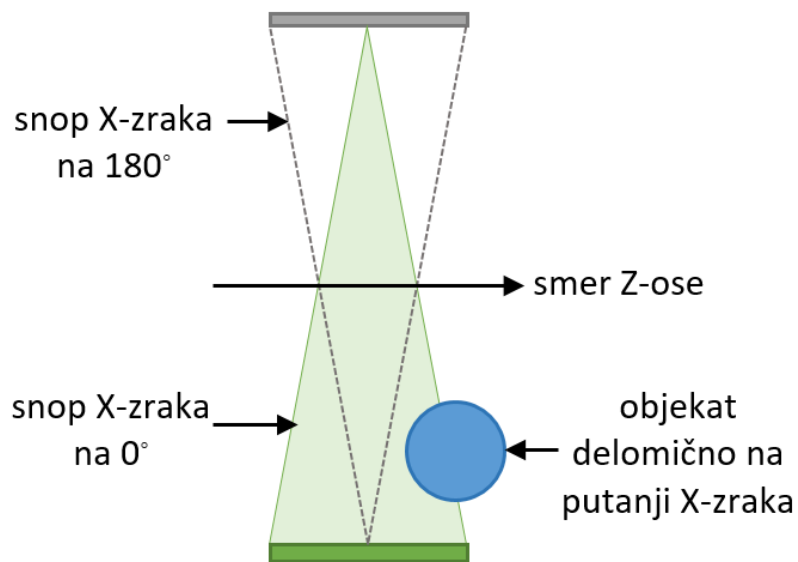
- Tokom širenja zračenja kroz material objekta, deo fotona se raspršuje i kao rezultat toga se odvaja od prvobitne putanje.
- Rasipanje X-zraka je uzrokovano interakcijama sa materijalom



# Artefakti zasnovani na zakonima fizike

## Artefakti delimičnog prikaza

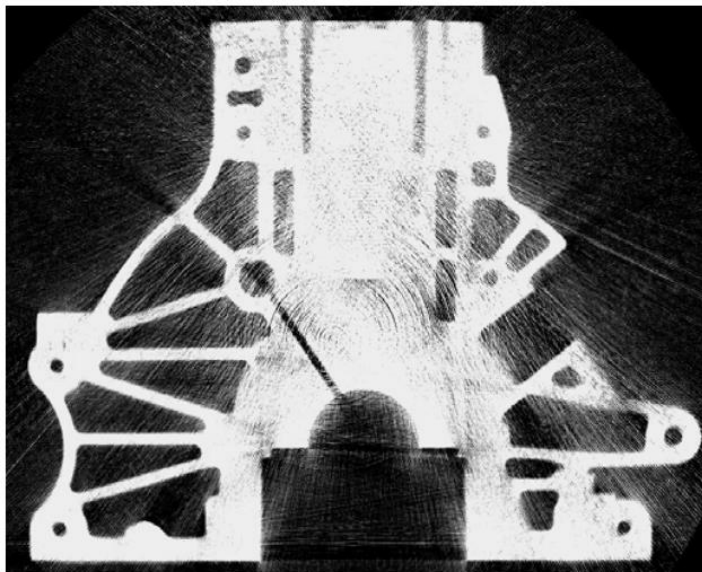
- Artefakti delimičnog prikaza zapremine objekta nastaju kada strukture visokog prigušenja ne pokrivaju ceo deo akvizicije zapremine objekta, tj. samo deo piksela detektora.
- Delimična zapremina nastaje kada objekat delimično upadne u ravan skeniranja.



# Artefakti zasnovani na zakonima fizike

## Artefakti fotonskog nedostatka

- Artefakt fotonskog nedostatka (odnosno fotonskog „gladovanja“) opisuje povećan šum na CT slici u određenim delovima slike, a koji je uzrokovan povećanim slabljenjem X-zračenja

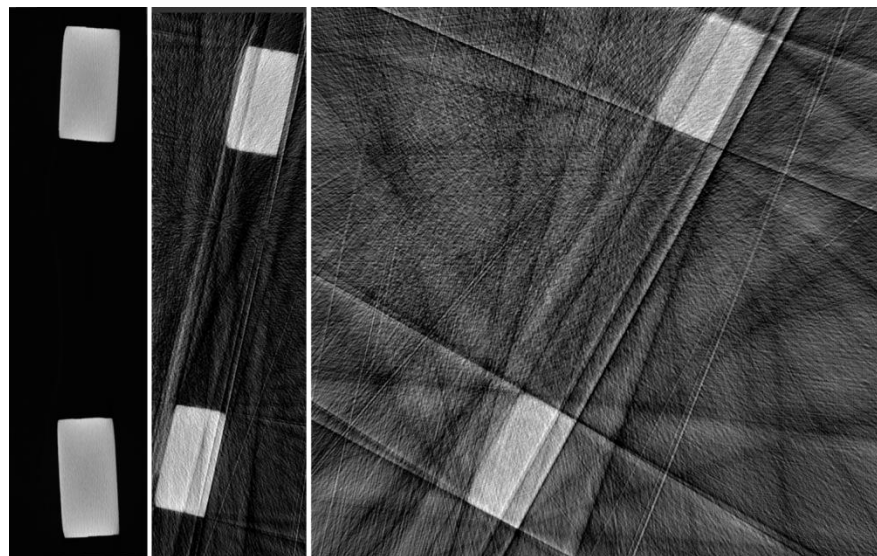


# Artefakti zasnovani na zakonima fizike

## Artefakti nedovoljnog uzorkovanja (alijasing)

- Artefakt nedovoljnog uzorkovanja (ili artefakti alijasinga) kod CT sistema se odnosi na grešku u tačnosti analogno-digitalnog pretvarača tokom digitalizacije CT slike.
- Ovaj tip artefakata se pojavljuje u vidu pravilnih pruga koje se projektuju sa tvrdih ivica visokog kontrasta unutar slike.

1000  
projekcija

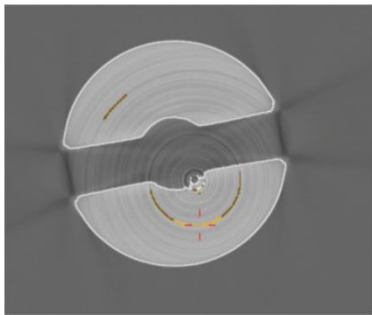


40  
projekcija

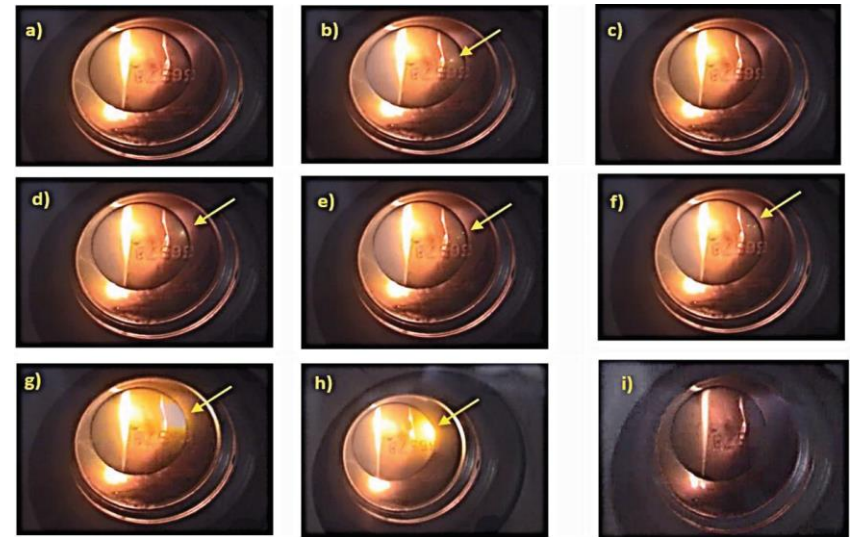
15 projekcija

# Artefakti zasnovani na hardveru

- Nastanak ovog tipa artefakata je vezan za rezultat nesavršenosti u sistemu kontrole kretanja i podešavanja Sistema (mehaničke komponente CT sistema kao što su rendgenska cev, detektor, itd.)



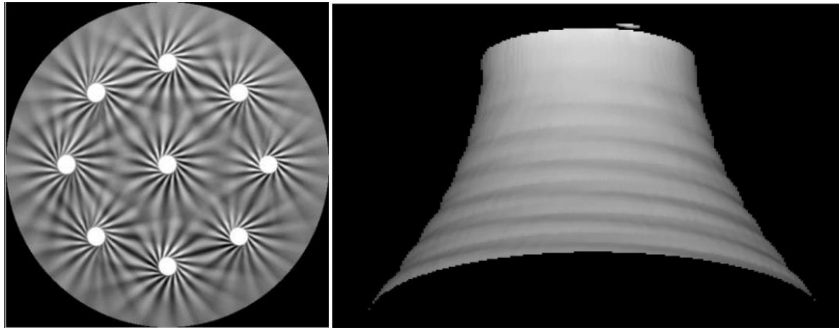
Artefakti u vidu prstenova



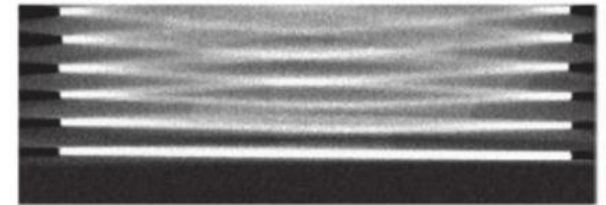
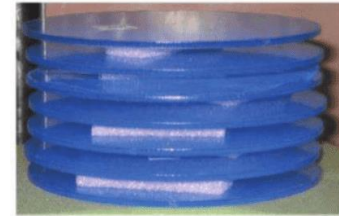
Lučenje rendgenske cevi  
(pojava lučnog luka)

# Artefakti zasnovani na podešavanju sistema

- Artefakti zasnovani na podešavanju sistema uglavnom nastaju tokom samog procesa podešavanja CT sistema.
- U velikom broju slučajevima, artefakti ovog tipa su uzrokovani interakcijom između poravnanja CT sistema i algoritma rekonstrukcije.



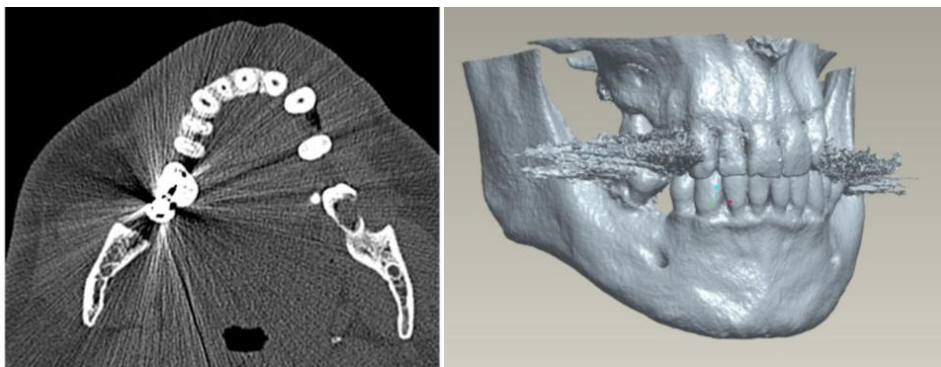
Helikoidni artefakti



Artefakti konusnog snopa

# Artefakti prisutni u oblasti medicine

- Ovi tipovi artefakata su uglavnom vezani za pacijente i javljaju se u oblasti medicine.
- Rezultat nastanka ovih artefakata je u velikoj većini slučajeva rezultat pomeranja pacijenta ili usled prisutnosti stranih objekata tokom akvizicije CT snimaka.



Metalni artefakti



Artefakti nastali usled pomeranja

HVALA NA PAŽNJI!