

KOMPJUTERIZOVANA TOMOGRAFOJA (CT) - PRIMENA ZA KOMPJUTERSKU REKONSTRUKCIJU, INDUSTRIJSKO MERENJE I ANALIZU PROIZVODA

Biljana Gemović¹ Ivan Bilić²

Rezime: CT merenje je vrlo precizno i pruža pogled na sve dimenzije i najmanje detalje. Ova tehnologija omogućava virtuelni prikaz preseka i analizu unutrašnjih osobina bez lomljenja i rastavljanja, merenje debljine pregrada, njihovu udaljenost, prikaz položaja, oblika i veličine otvora. Takođe omogućuje zumiranje promatranog predmeta. U radu su prikazane prednosti CT uređaja za industrijsko merenje i analizu proizvoda.

Ključne reči: kompjuterizovana tomografija, 3D skeneri, merenje, CAD model

COMPUTERIZED TOMOGRAPHY (CT) - APPLICATION FOR COMPUTER RECONSTRUCTION, INDUSTRIAL MEASUREMENT AND PRODUCT ANALYSIS

Abstract: CT measurement is very precise and provides a view of all dimensions and the smallest details. This technology enables a virtual view of the section and analysis of the internal features without breaking and disassembling, measuring the thickness of the partitions, their distance, displaying the position, shape and size of the openings. It also enables zooming in on the observed object. The paper presents the advantages of CT devices for industrial measurement and product analysis.

Keywords: computerized tomography, 3D scanners, measurement, CAD model

1. UVOD

Kompjuterizovana tomografoja (CT) je tehnologija koja koristi zračenje (x-zrake) za kompjutersku rekonstrukciju poprečnog tomografskog sloja na temelju višestrukog merenja apsorpciranih vrednosti x-zraka, odnosno izradu 3D prikaza skeniranog objekta.

3D kompjuterska rendgenska tomografija predstavlja najnapredniji i najmoćniji uređaj za industrijsko merenje i analiziranje proizvoda napravljenih od raznih vrsta materijala. Korišćenjem ove metode, moguće je uočiti eventualne probleme i odstupanja nastala za vreme proizvodnje, a omogućila je precizna i detaljna merenja unutrašnje konfiguracije.

CT merenje je vrlo precizno i pruža pogled na sve dimenzije i najmanje detalje. Ova tehnologija omogućava virtuelni prikaz preseka i analizu unutrašnjih osobina bez lomljenja i rastavljanja, merenje debljine pregrada, njihovu udaljenost, prikaz položaja, oblika i veličine otvora. Takođe omogućava zumiranje posmatranog predmeta. [1]

2. CT SKENERI - VRSTE I PRINCIP RADA

2.1. Princip rada i priroda X zraka

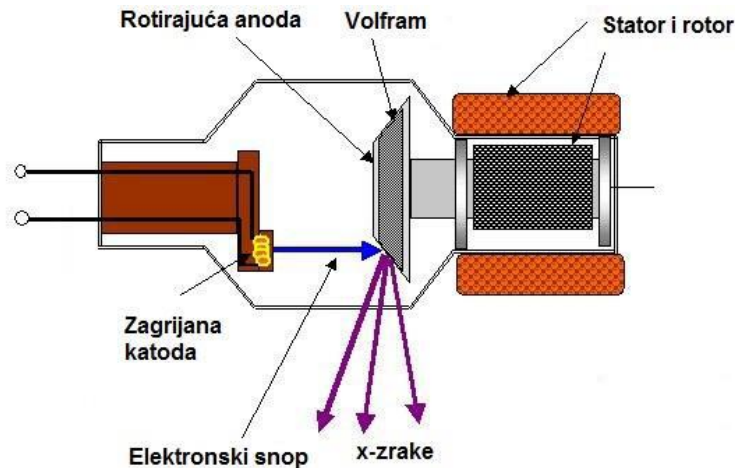
U tipičnom industrijskom postupku CT skeniranja, deo ili sklop je zatvoren unutar uređaja, najčešće na podlozi od ekspanzirane poliesterne pene, kako ne bi bilo fizičkog uticaja podloge na predmet i time došlo do deformacija.

¹Profesor strukovnih studija, Visoka tehnička škola strukovnih studija u Novom Sadu, Školska 1, Novi Sad, gemovic@vtsns.edu.rs,

²Nastavnik veština, Visoka tehnička škola strukovnih studija u Novom Sadu Školska 1, Novi Sad, bilic@vtsns.edu.rs

X-zraci koji izlaze iz rendgenske cevi prolaze kroz volumen posmatranog dela ili sklopa.

Rendgenska cev je vakuumaska cev u kojoj se sa jedne strane nalazi anoda, a s druge katoda uz koju se nalazi žarna nit (slika 1). Katoda je na visokom naponu u odnosu na anodu. Kada žarnom niti teče električna struja ona se užari (volfram se užari na oko 2600 K), pa katoda izbacuje elektrone koji se ubrzavaju u električnom polju između katode i anode. Elektroni udaraju u anodu koja je napravljena od materijala koji su otporni na visoku temperaturu, poput molibdena i volframa, a istovremeno se i vrti kako bi imala što bolje hlađenje. Pri tome se 99% energije elektrona pretvara u toplotu, a samo 1% odlazi u obliku jonizujućeg zračenja koje pod pravim uglom izlazi kroz mali otvor na rendgenskoj cevi, slika 1.



Slika 1– Nastanak X zraka[2]

Na suprotnoj strani od izvora zračenja nalazi se detektor koji meri količinu jonizujućeg zračenja koje dolazi do detektora koji to zračenje pretvara u električne signale. To omogućava određivanje slabljenja pojedinih zraka njihovim prolaskom kroz volumen tela. Slabljenje se izražava koeficijentom apsorpcije koji zavisi od gustine i atomskog broja elementa.

X-zraci su oblik elektromagnetnog zračenja, kao što je i svetlost. Njihova posebnost je vrlo kratka talasna dužina koja je otprilike 10.000 puta manja od talasne dužine svetla. Upravo je ta karakteristika odgovorna za karakteristiku x-zraka da mogu prodrati kroz materijale koji apsorbuju ili reflektuju obično svetlo. [3]

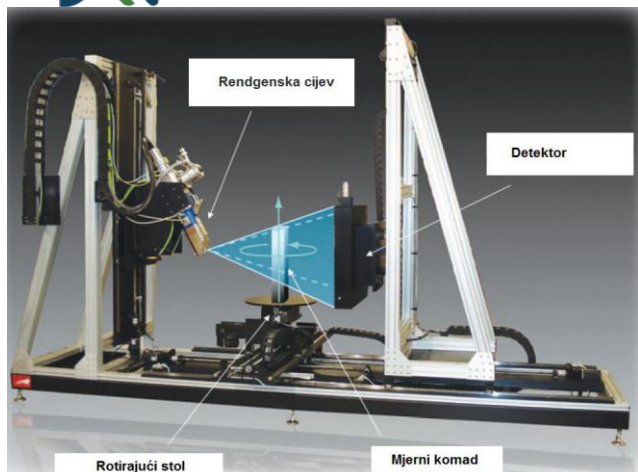
Predmet se rotira za pun krug, 360 stepeni, zaustavljajući se svaki treći deo stepena kako bi se dobio snimak. Na taj način se skeniranjem ukupno dobije između 800 i 1200 dvodimenzionalnih snimaka. Na osnovu tih snimaka se primenom složenih matematičkih algoritma uz pomoć kompjutera vrši rekonstrukcija 3D modela objekta. [4]

2.1.1. Translatorni skeneri

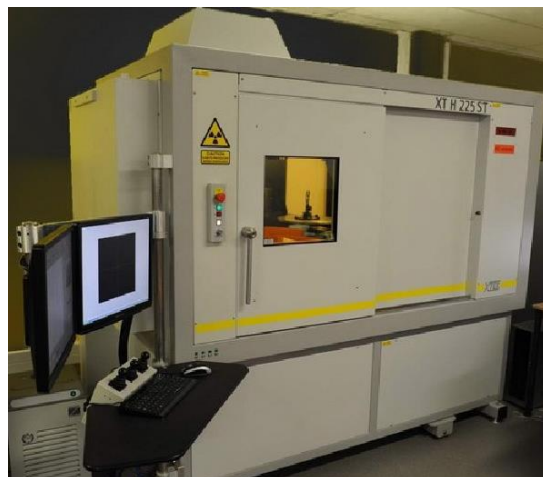
Translatorni skeneri su linijski skeneri čije zračenje ima oblik lepeze. Spadaju u prvu generaciju industrijskih CT skenera. Proizvedeni x-zraci su tako namešteni da čine neku liniju. Zbog linijskog detektora ovakvi skeneri mogu meriti 2D geometriju u jednom okretaju tela. [5]

2.2. Vrste CT uređaja

Postoje otvorene i zatvorene vrste (izvedbe) CT uređaja. Otvorene se obično koriste za skeniranje većih delova i njihova primena je česta u avio industriji. Kod otvorenih izvedbi postoji povećana opasnost za ljudsko zdravlje. Slike 2 i 3 prikazuju moguće izvedbe CT uređaja.



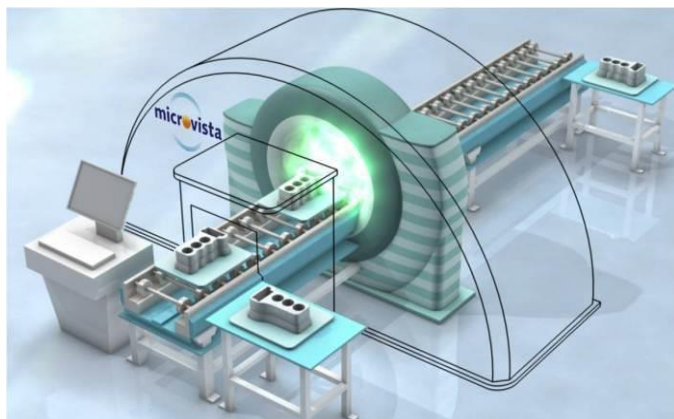
Slika 2 –Otvorena izvedba [6]



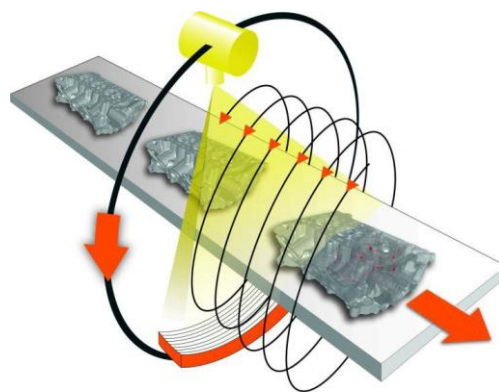
Slika 3 –Zatvorena izvedba [7]

2.2.1. „On line“ izvedba

„On line“ izvedbe omogućuju brza CT skeniranja za zahteve velikoserijske i masovne proizvodnje. Princip rada kod ovakvih izvedbi je sličan kao i kod medicinskih CT uređaja. Delovi koji se nalaze na pokretnoj traci kontinuirano prolaze kroz uređaj, a rendgenska cev i njoj na suprotnoj strani detektor se rotiraju oko pokretne trake. Slike 4 i 5 prikazuju „On line“ izvedbu CT uređaja. [8]



Slika 4 –„On line“ izvedba CT uređaja [9]

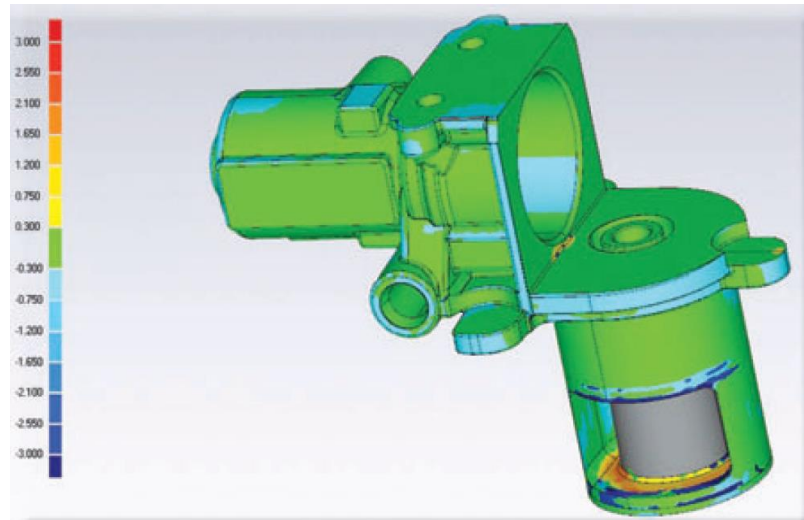


Slika 5 –Prikaz rendgenske cevi i detektora na rotirajućem postolju [10]

3. PRIMENA 3D KMPJUTERSKE RENDGENSKE TOMOGRAFIJE

Najčešći zahtevi za CT skeniranja su:

- Upoređivanje sa CAD modelom: Dimenziona analiza (slika 6),
- Ispitivanje materijala: Najčešće za upoređivanje dva ista proizvoda koja su izrađena različitim tehnologijama gde CT skeniranje daje mogućnost analize unutrašnje strukture što omogućava analiziranje odstupanja (slika 7),
- Analiza sklopova: CT skeniranje omogućuje uvid otvora i šupljina, različitosti, zaptivanja i uklapanja bez rastavljanja ili rezanja što je velika prednost,
- Povratno/reverzibilno inženjerstvo.



Slika 6 –Dimenziona analiza 3D modela [1]

Sve dimenzijske razlike skeniranog modela i CAD modela prikazane su u različitim bojama. Tolerancije u granicama od -0,300 mm do +0,300 mm su zelene boje. Žuta predstavlja područja gde je izmerena veća vrednost od CAD modela, a plava manje vrednosti.



Slika 6 –Ispitivanje materijala [1]

4. IZBOR MERNOG UREĐAJA I KARAKTERISTIKE U PRIMENI

Svaki merni uređaj ima određene prednosti i nedostatke.

Fotogeometrijske metode su pogodne za merenja objekata velikih dimenzija, ali ih karakteriše manja tačnost, zato su za tačnije merenje, kada je to zahtev, pogodniji laserski interferometri i njihova primena je najčešća pri izradi alata za visoko precizne uređaje.

Najbrža merenja daju fotogrametrijske metode ako se koristi robotizirani sistem sa dve kamere. Ručno snimanje jednom kamerom je dosta sporo jer operator mora kružiti oko objekta i iz različitih uglova slikati. Merenja laser trackerom također mogu biti brza ako se ne meri geometrija već specifične tačke premeštanjem retrorefleksivne mete. Najsporija su CT merenja koja mogu potrajati po nekoliko sati, ali jedino ona daju uvid u unutrašnju strukturu materijala.

Brzina višesenzornih trokoordinatnih mernih uređaja prvenstveno zavisi od odabranog senzora s kojim se meri kao što je slučaj i kod mernih ruku koje mogu koristiti različite senzore. Ako su to kontaktni senzori merenje je dosta sporo. Za dobijanje 3D modela tela zbog upoređivanja sa izvornim

CAD modelom najpraktičnije je korišćenje projekcijskih skenera koji omogućavaju prikupljanje stotina hiljada tačaka u sekundi.

Što se tiče on line kontrole tu se mogu primeniti fotogrametrijske metode, projekcijski skeneri, laser trackeri i CT skeniranje.

U slučaju ispitivanja materijala mogu se primeniti samo CT uređaji.

Na primeru prikazanom na slici 8 prikazana je glava cilindra motora za koji je potrebno odabrati odgovarajući uređaj za merenje.



Slika 8 –Glava cilindra [10]

Oblik i veličina objekta i tražena tačnost kriterijum su za izbor mernog uređaja.

U ovom slučaju veličina mernog predmeta je manja od 1 m^3 , tako da su pogodne sve metode. U praksi se laser tracker i laserski interferometar ne koriste za ovakva merenja pa ostaju četiri alternative. Merne ruke se mogu koristiti, ali je njihova karakteristika prenosivost i koriste se većinom u slučajevima gde se merni predmet ne može doneti na radni sto uređaja već se onda 3D merne ruke donose na mesto merenja, pa se iz tog razloga za ovaj slučaj neće koristiti i merna rezolucija im nije dovoljno velika. Fotogrametrijske metode se najčešće koriste za merenje deformacija većih komada tako da i one nisu pogodne za ovaj primer.

Ovim ostaju tri mogućnosti, a to su:

- višesenzorni trokoordinatni merni uređaj,
- projekcijski skener i
- kompjuterska rendgenska tomografija.

Zbog složenog oblika dela najbolji izbor su CT skeniranje i višesenzorni trokoordinatni merni uređaj. Ako se traži kompletno merenje uključujući unutrašnju strukturu onda je jedina mogućnost korišćenje CT skenera. Ako nije potrebno ispitati unutrašnju strukturu materijala, najbolje rešenje uz visoku tačnost je korišćenje višesenzornog trokoordinatnog mernog uređaja kod kojeg jedan senzor nadopunjuje nemogućnosti drugoga pa je moguće izvršiti merenje i dobijanje 3D modela koji će dalje poslužiti za upoređivanje sa izvornim CAD modelom ili za potrebe reverzibilnog inženjeringa. S aspekta brzine merenja produktivnost korišćenja višesenzornog uređaja je veća. Međutim, ako je potrebno realizovati merenje direktno u proizvodnji, odnosno on-line kontrolu, takav zahtev može zadovoljiti samo CT skener.

5. ZAKLJUČAK

Specifičnost svakog merenja zavisi od karakteristika zahteva koji su postavljeni: veličina predmeta merenja, tražena rezolucija i tačnost, zahtev za mernu nesigurnost, vreme potrebno za obavljanje zadatka i ukupni troškovi merenja.

Koji će se uređaj i metoda merenja koristiti za specifični zadatak zavisi od karakteristika koje su postavljene. U slučajevima gde je potrebno meriti unutrašnju strukturu materijala i izvršiti analizu sklopova bez njihovog lomljenja i rastavljanja u obzir dolaze samo radiografske metode.

6. LITERATURA

- [1] Noel, J.: *Advantages of CT in 3D Scanning of Industrial Parts*
- [2] http://photos1.blogger.com/blogger/2836/1845/1600/X-ray_Tube.jpg
- [3] Garrett, W. R.; Splettstosser, H. R.; Titus, D. E.: *Radiography in Modern Industry*
- [4] Christoph, R.; Joachim Neumann, H.: *X-ray Tomography in Industrial Metrology*, 2011.
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_computed_tomography
- [6] http://www.mdtmag.com/sites/mdtmag.com/files/legacyimages/MDT/Articles/2010/07/principle_1.JPG
- [7] http://topmetrology.ro/produse/92-thickbox_default/nikon-xt-h-225-industrial-ct-scanning.jpg
- [8] http://www.giessereilexikon.com/en/foundry-lexicon/?tx_contagged%5Bsource%5D=default&tx_contagged%5Buid%5D=4727&cHash=52d8c3e73e42fa33d41bdcd1d1790443
- [9] <http://www.microvista.de/inline-ct/>
- [10] <https://www.tehnomotornis.rs/delovi-skutera-i-motorcikla-75/delovi-motora-104/cilindri%2C-glave%2C-poklopci-219/10665-Glava%20cilindra%20kpt.%20GY6%2080cc>