

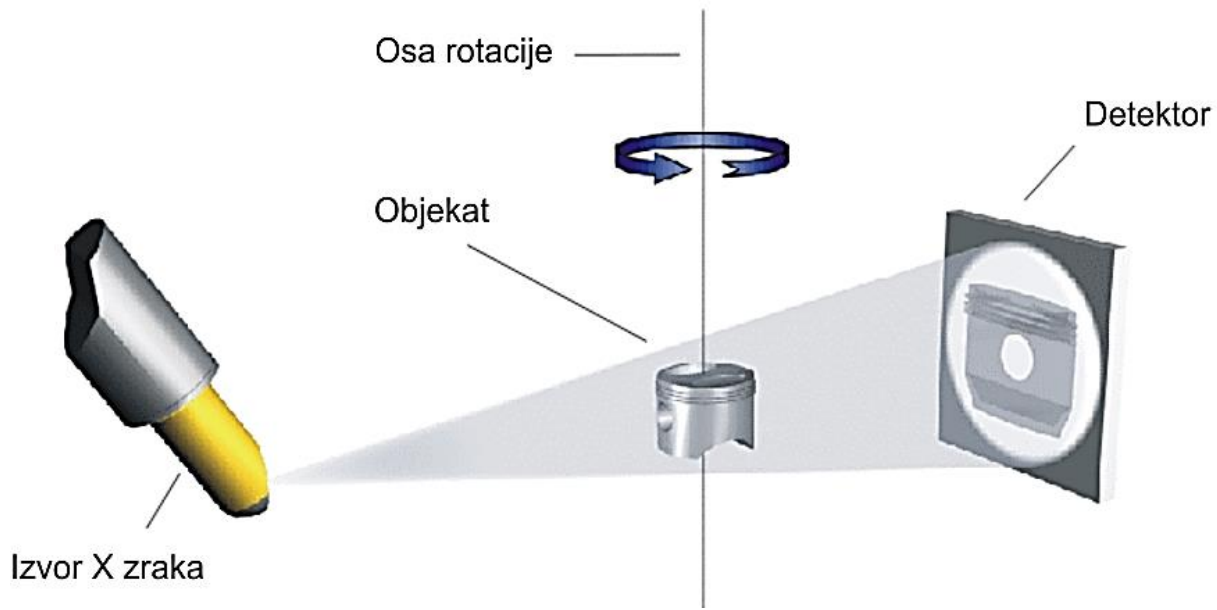
Univerzitet u Novom Sadu
Fakultet tehničkih nauka

SEGMENTACIJA SLIKE I ARTEFAKATI KOD KOMPJUTERIZOVANE TOMOGRAFIJE (CT)

Predavanje



Doc. dr Mario Šokac

Princip rada CT sistema



Princip rada Cone Beam kompjuterizovane tomografije

Prednosti i mane CT sistema

	
• Ne-destruktivna metoda;	• Kompleksni i brojni parametri uticaja;
• Definisanje unutrašnje i spoljašnje geometrije;	• Nema međunarodnih standarda (međutim, postoje smernice u okviru VDI/VDE standarda);
• Informacije o materijalu koji se skenira;	• Smanjena mogućnost merenja zbog nastanka grešaka merenja (artefakti);
• Mogućnost skeniranja objekata različitih veličina, gustina i debljina materijala;	• Merna nesigurnost je često nepoznata;
	• Problem kod skeniranja više-materijalnih komponenti (MMC);

Podela CT sistema

- Postoje različiti tipovi CT sistema koji se danas primenjuju, a klasifikuju se u sledeće kategorije [17]:
- **Medicinski CT** – kod ovih sistema rendgen jedinica (koja nosi izvor i detektor X-zraka) kontinualno rotiraju oko objekta ili pacijenta (koji ostaje nepokretan) kako bi se generisali tomografski snimci koji predstavljaju 2D snimke/slajsove/kriške skeniranog tela. U više od četiri decenije medicinskih aplikacija, razvijeno je nekoliko generacija medicinskih CT skenera koji obezbeđuju kontinualno povećanje njihovih karakteristika i performansi.
- **Industrijski CT za analizu materijala** – ovi sistemi se fundamentalno razlikuju od medicinskih CT sistema. Kod ovih sistema objekat rotira u pravcu X-zraka, a izvor X-zraka i detektor ostaju stacionarni. Pored toga, pošto ovde doza zračenja nije kritična po objekat, primenjuje se veći nivo zračenja nego kod medicinskih CT skenera.
- **CT za primenu u dimenzionalnoj metrologiji** – kod ovih sistema se dimenzionalna merenja 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.

Segmentacija – uvodni pojmovi

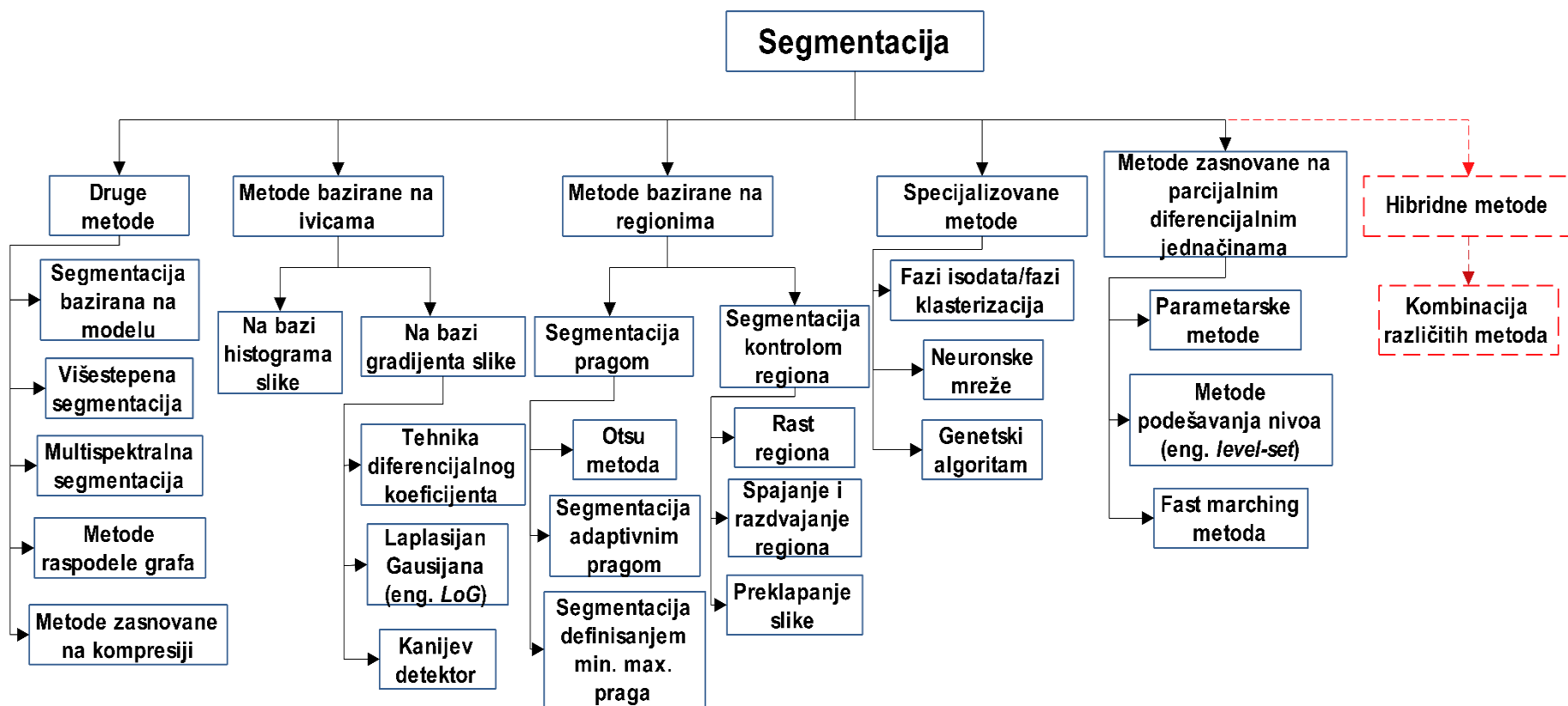
- **Segmentacija** - se često definiše kao proces koji deli sliku na njene sastavne delove i ekstrahuje delove (objekte) od interesa.
- To je jedan od najkritičnijih zadataka u automatskoj analizi slike, jer će rezultati segmentacije uticati na sve naredne procese analize slike, kao što su:
 - vizuelizacija 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.
- 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.
- U poređenju sa metodama detekcije ivice, algoritmi segmentacije bazirani na regionima su relativno jednostavniji i manje osetljivi na šum.

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).

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.

Najčešće primenjivane metode za segmentaciju CT snimaka

- Neke od najčešće primenjivanih metoda su:
 - Fazi isodata/fazi klasterizacija metodom C-srednjih vrednosti (engl. skraćeno FCM);
 - Rast regiona (engl. Region Growing);
 - Otsu metoda;
 - Neuronske mreže (engl. Neural Network);

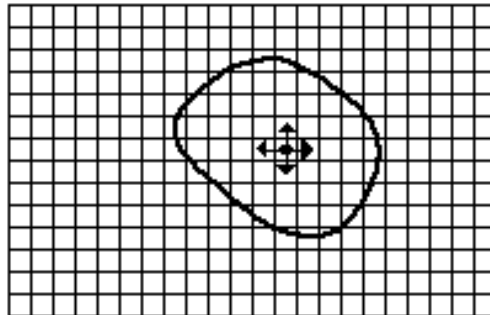
Fazi isodata/fazi klasterizacija metodom C-srednjih vrednosti

- 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.

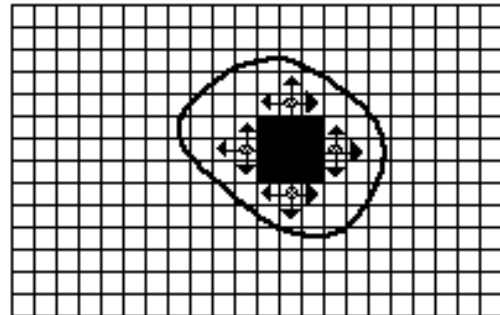
Rast regiona

- 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.

•



iteraciji

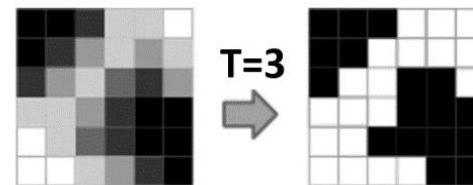
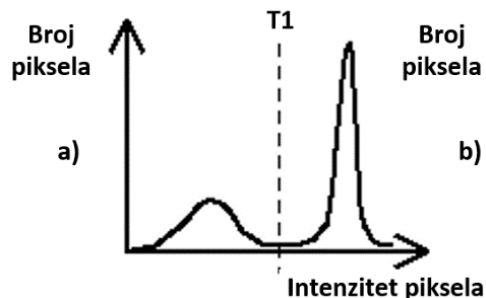


onačni

- **Izbor početnog rezultata segmentacije, odnosno generisanje 2D binarne slike.**

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 odvađa 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.**



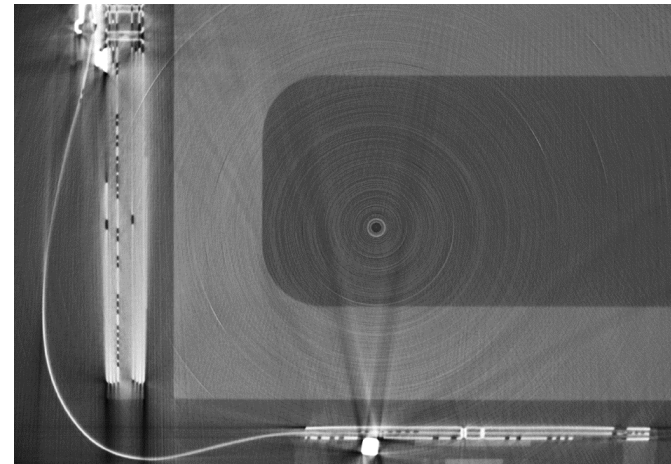
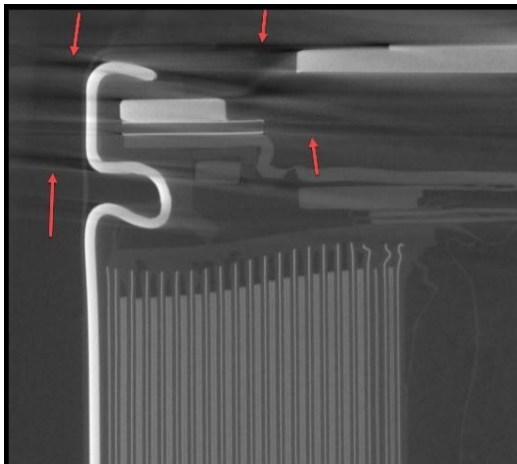
Veštačke neuronske mreže

- 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.

ARTEFAKTI

-osnovni pojmovi i definicije-

- Jedan od većih problema sa kojim se medicina danas suočava prilikom primene CT sistema 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.**

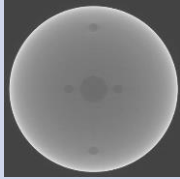
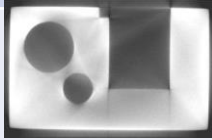
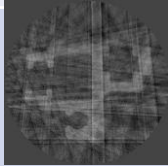
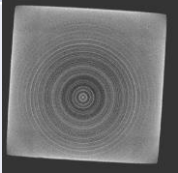
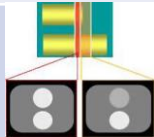


Artefakti – poreklo

- Artefakti predstavljaju rezultat različitog porekla, a mogu se klasifikovati na sledeći način:
 - Artefakti koji proizlaze iz samog procesa merenja ili karakteristike opreme (artefakti nastali usled širine snopa X-zraka, rasipanja zračenja, nestabilnosti i detekcije osobina)
 - artefakte inherentne u odnosu na metodu akvizicije (npr. očvršćavanje zraka)
 - Artefakti nastale usled akvizicije CT snimaka (npr. rasipanje radijacije zračenja, artefakte u vidu prstenova)
 - artefakte rekonstrukcije (npr. artefakte konusnog snopa). Dok se neki artefakti mogu eliminisati primenom odgovarajuće merne opreme sa odgovarajućim parametrima, kao i primenom različitih razvijenih metoda, drugi tipovi artefakata se mogu samo redukovati. Artefakti mogu biti veoma detrimentalni (štetni) za specifične zadatke dimenzionalnih merenja ili analiza.

Artefakti – podela

- Artefakti uzrokuju različite vrednosti intenziteta sive duž ivica objekta koji se snima, a koji mogu dovesti do nepravilne detekcije ivica.
- CT sistemi koji se zasnivaju na geometriji CBCT (Cone Beam Computed Tomography) i matičnim detektorima, su skloni nastanku artefakata .

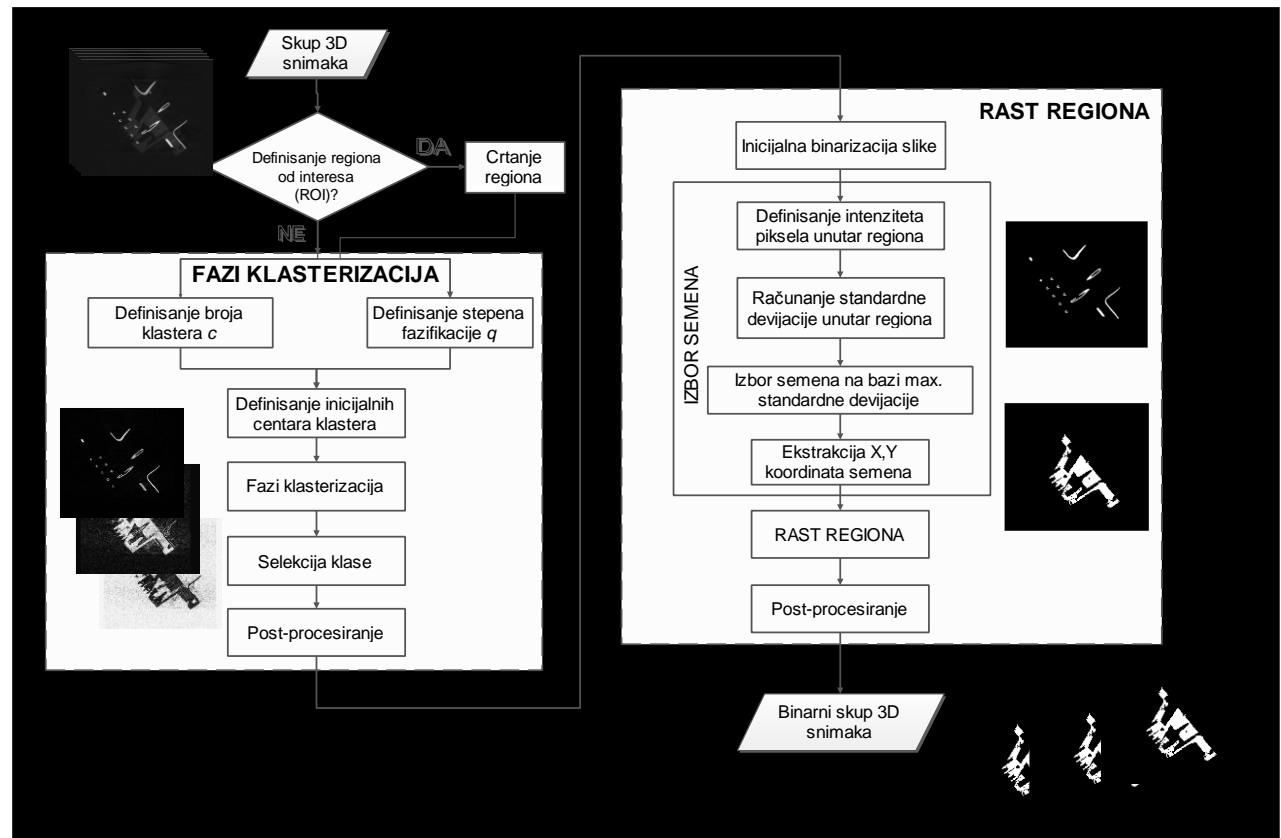
TIP ARTEFAKTA	GRAFIČKI PRIKAZ	OPIS
Očvršćavanje X-zraka (Beam hardening)		- Radni predmeti većeg poprečnog preseka smanjuju prodor zračenja u odnosu na tanje predmete, što dovodi do lažnog smanjenja vrednosti nijanse sive boje kod rekonstruisanih podataka prema unutrašnjim regionima predmeta.
Rasutost radijacije (Scattered radiation)		- Nijanse sive boje su unutar materijala, kao i na njegovim ivicama povećane. Ivice su zamućene i loš je kontrast.
Artefakti u vidu pruga (Streaking artefacts)		- Kod predmeta velike gustine nije došlo do potpune penetracije X-zraka. Prenizak dinamički opseg detektora i nedovoljan broj projekcija tokom skeniranja.
Artefakti u vidu prstenova (Ring artefacts)		- Nastaju kod kontinualnog okretanja tokom snimanja. Nehomogenost susednih piksela kod detektora. Rotacija uzorka koji se skenira stvara kružne artefakte.
Efekat delimičnog prikaza zapremine predmeta (Partial volume effect)		- Preniska rezolucija menja vrednosti nijanse sive boje.

Pravci unapređenja CT sistema

- Unapređenje CT sistema se odvija u nekoliko ključnih pravaca:
 - Povećanje tačnosti;
 - Razvoj efikasnijih detektora X-zraka
 - Razvoj cevi X-zraka sa većom energijom (veća jačina struje) i sa manjim fokalnim tačkama koja će doprineti merenju većih objekata i/ili tačnijim rezultatima.
 - Razvoj poboljšanih algoritama za rekonstrukciju snimaka;
 - Podešavanje sistema za merenje specifičnih grupa materijala i predmeta;
 - Asistencija operateru kod podešavanja sistema;
 - Itd.

Primena metoda za redukciju/uklanjanje artefakata - primer

- Postoji mnogo metoda za redukciju/uklanjanje artefakata iz medicinskih CT snimaka.
- Manje-više uspešne.



Primena metoda za redukciju/uklanjanje artefakata

FAZI KLASERIZACIJA

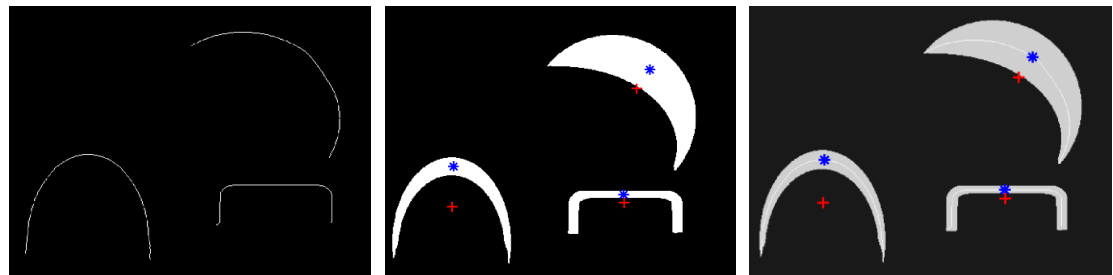
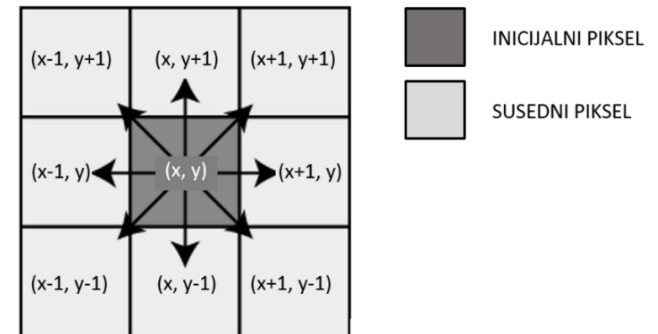
- Broj klastera (c);
- Težinski eksponent (q) ($q \geq 1,1$);
- Veća efikasnost i smanjenje vremena potrebnog za segmentaciju (koristi se histogram intenziteta slike);
- Primena na velikim skupovima CT snimaka.

Primena metoda za redukciju/uklanjanje artefakata

RAST REGIONA

- Segmentacija slike;
- Inovativni pristup u izboru semena;
- Standardna devijacija je definisana kao:

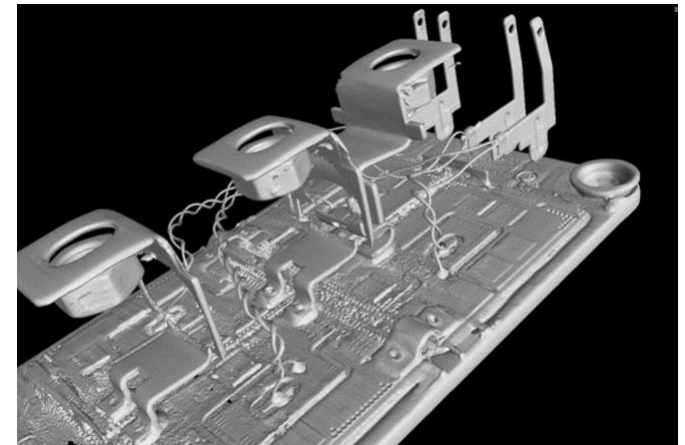
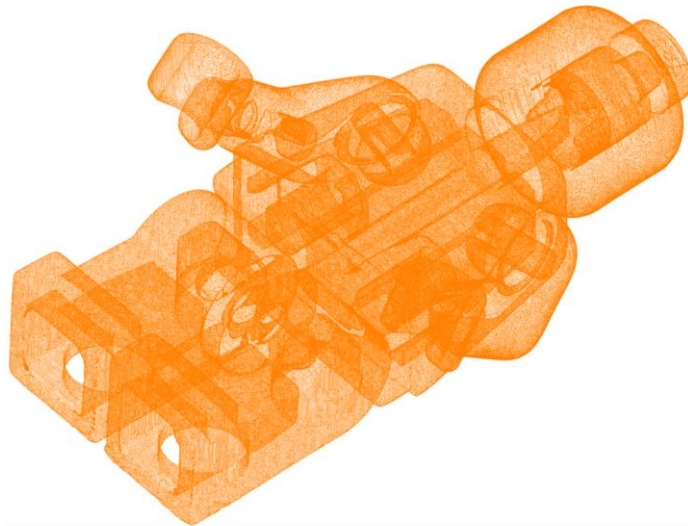
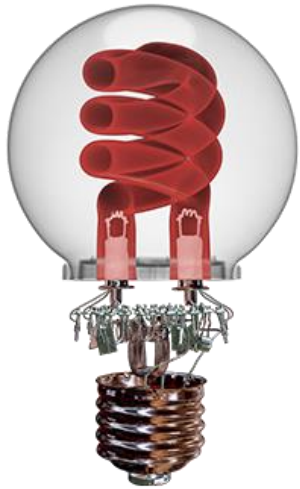
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (A_i - \mu)^2}$$



* - inovativni pristup

Hibridna metoda za segmentaciju multimaterijalnih komponenata (MMC)

- Multimaterijalne komponente – komponente koje se sastoje iz dva ili više različitih materijala sa različitom gustoćom.



VERIFIKACIJA HIBRIDNOG MODELA

- Subminijturni konektor sa 9 pinova (DB-9M);

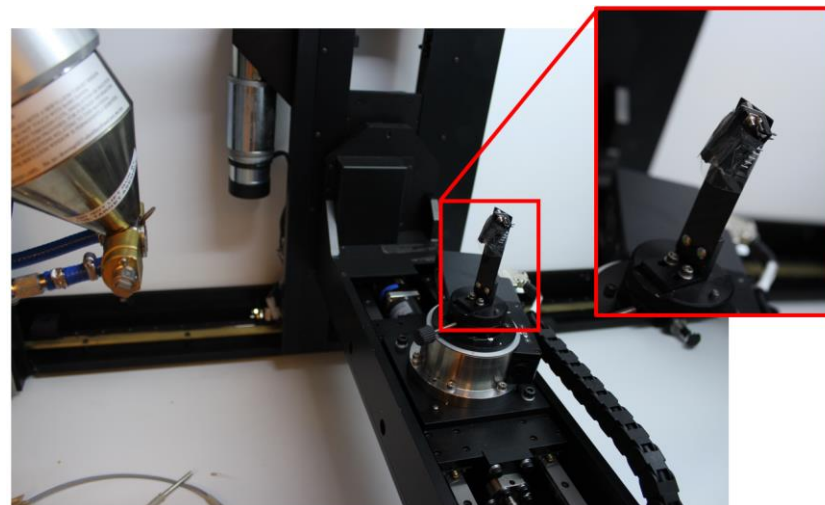
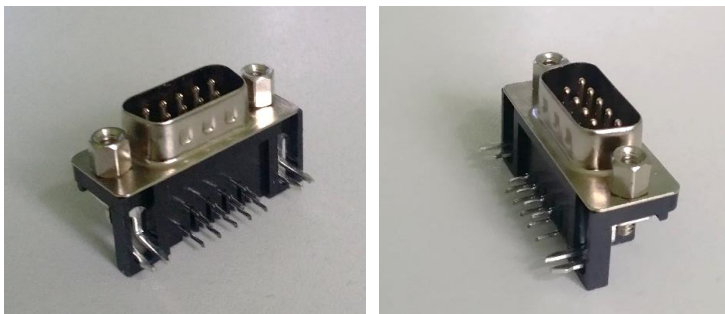


Tabela 5.8 Osnovne komponente DB-9M konektora

Komponente	Vijak	Pinovi	Lim	Plastično kućište
Materijal	UČKV*	Mesing C2680	tanki lim od UČKV	PBT**

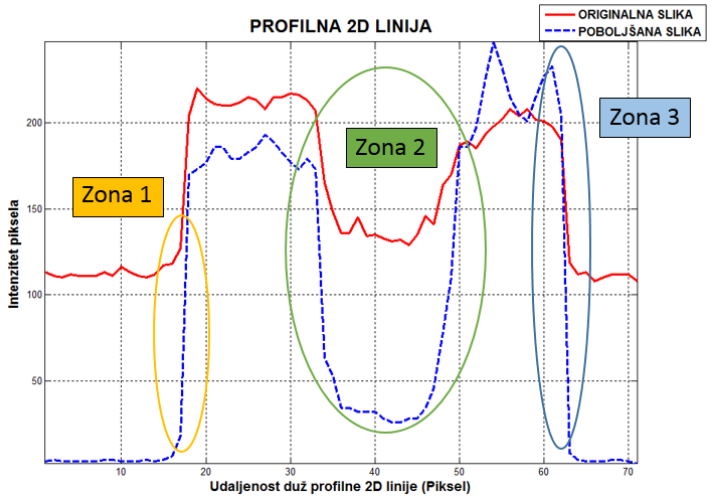
*UČKV - ugljenični čelik komercijalnog kvaliteta (prema Japanskom standardu JIS G3141)

**PBT – polibutilen tereftalat

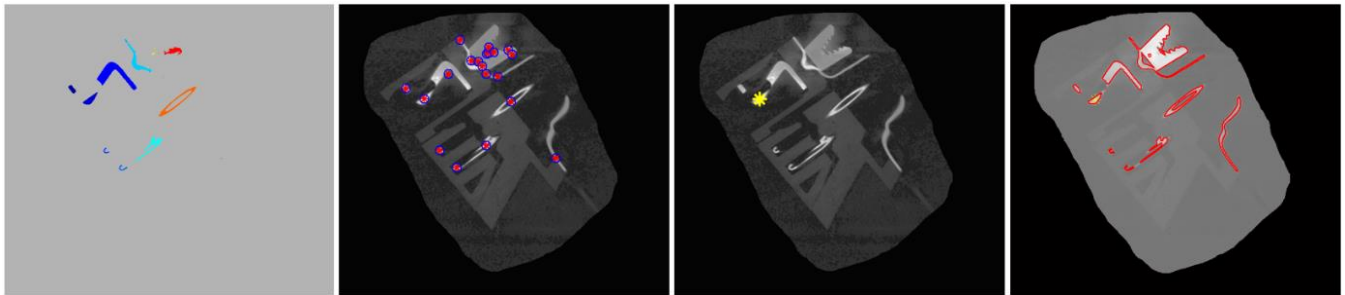
Tabela 5.9 Parametri korišćeni za akviziciju CT snimaka za studiju slučaja 2 na NIKON XT H 225 CT sistemu

	Energija X-zraka (kV):	Jačina struje (μ A):	Snaga penetriranja X-zraka (W):	Veličina vokseli X,Y,Z osa (μ m)	Rezolucija slike X x Y (piksel)	Broj projekcija	Veličina pikseli na detektoru (μ m)
Studija slučaja 2	180	95	20	18	3192 x 2296	1200	127

- Fazi klasterizacija;



- Rast regiona;



- Analiziran postotak uspešnosti pravilno klasifikovanih i definisanih X,Y koordinata;
- Raspodela tačaka u 3D prostoru preklopljenih sa generisanim površinskim 3D modelima DB-9M konektora.

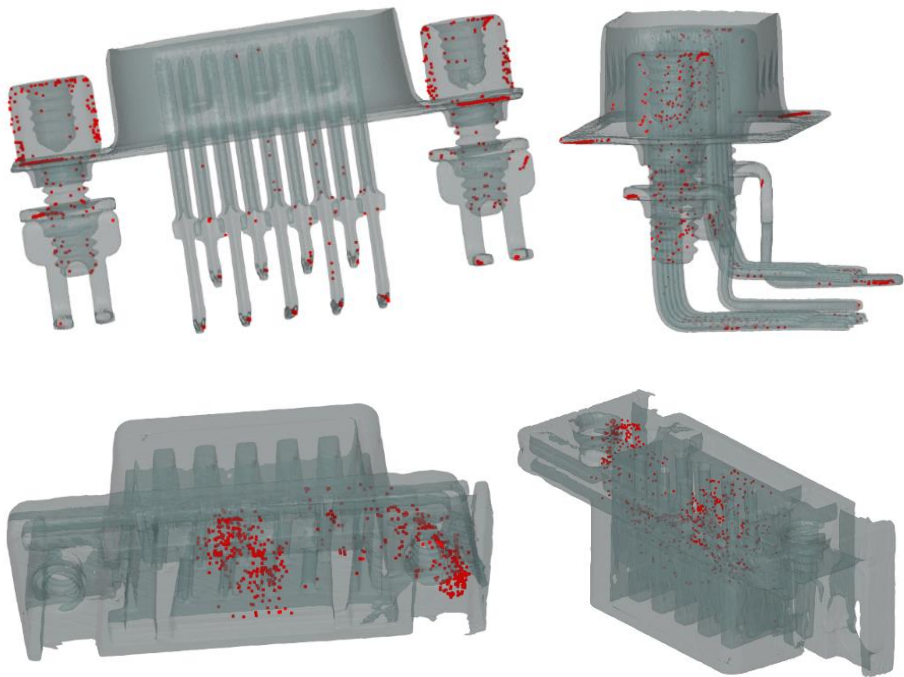
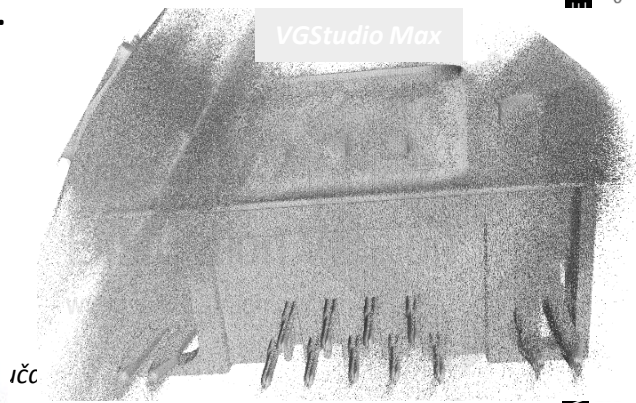


Tabela 5.10 Analiza učinka za selekciju inicijalnog semena za RG metodu

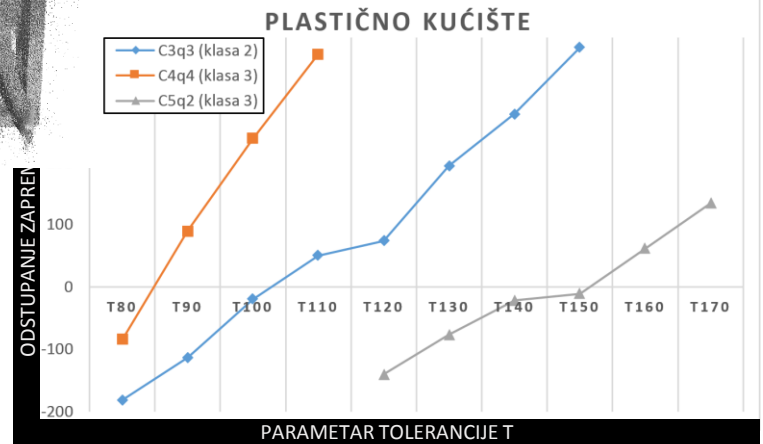
	Ukupan broj snimaka	Broj snimaka uzet za analizu	*ISD	Tačnost (%)
Metalna struktura	1839	698	698	100
Plastično kućište			698	100

*ISD - broj snimaka na kojima je inicijalno seme pravilno definisano

- Variranje parametara c i q kod FCM metode;
- Variranje parametra t kod RG metode;
- METAL: $c=4$ (pozadina, vijci, metalni deo i plastično kućište);
- PLASTIKA: $c=5$ (pozadina, vijci, metalni deo, plastično kućište i ŠUM).



Selektovan klaster	Rast regiona	Region od interesa (Uključen/Isključen)
	Tolerancija (t)	
2	180	Uključen
3	150	Isključen



- Komparativna analiza odnosa piksel – površina.

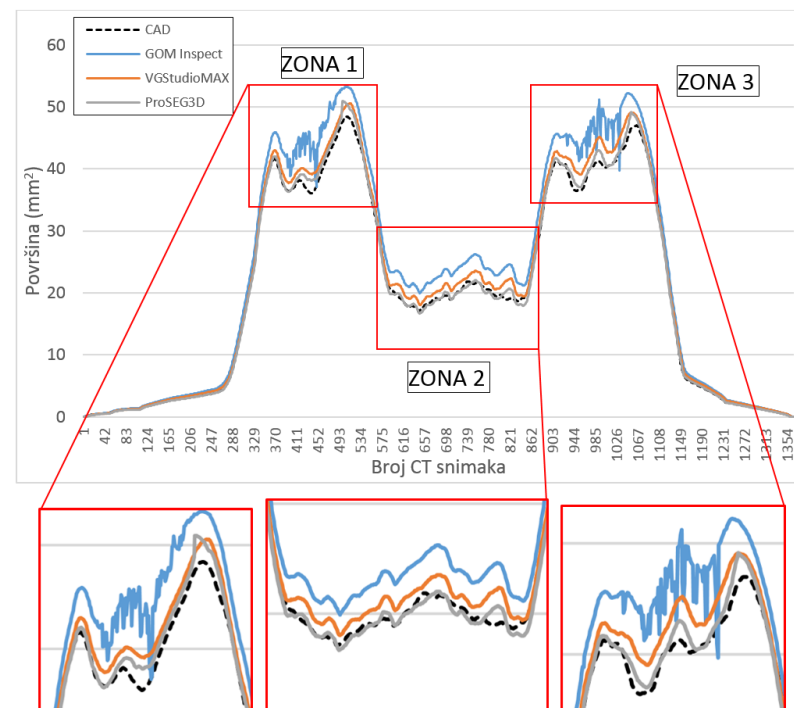
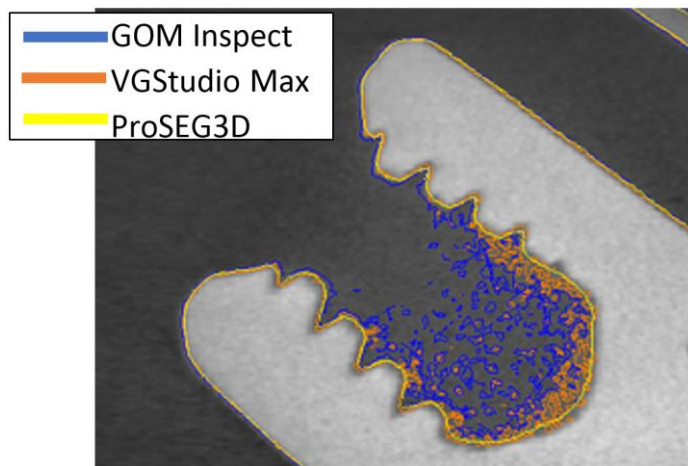
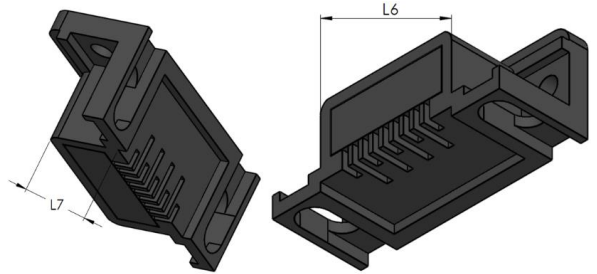
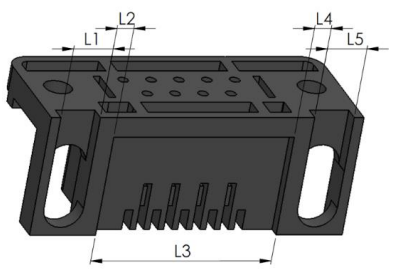
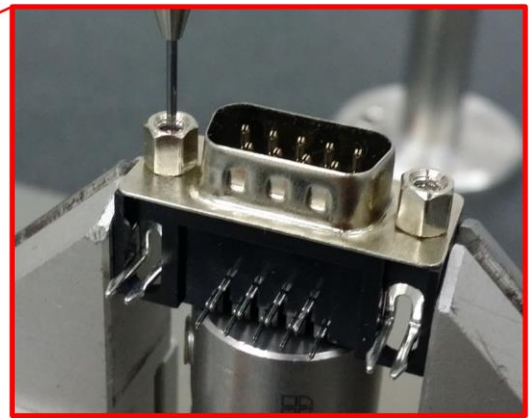
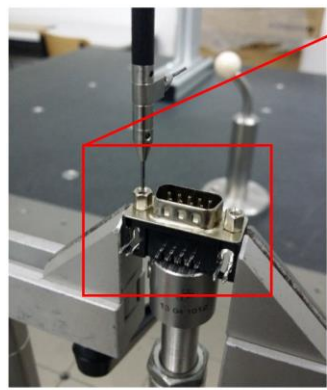
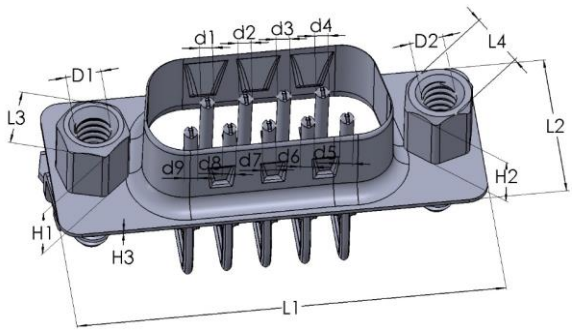


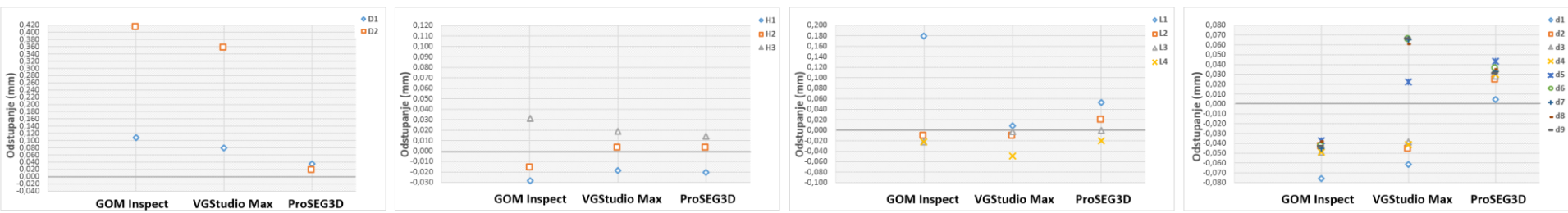
Tabela 5.12 Analiza greške generisanih 3D modela za DB-9M konektor

	METAL				PLASTIKA			
	CAD model	GOM Inspect v2018	VGStudio Max v3.1	ProSEG3D	CAD model	GOM Inspect v2018	VGStudio Max v3.1	ProSEG3D
Zapremina (mm ³)	499,183	578,68	569,067	502,766	1990,608	/	/	2002,021
Apsolutna greška(mm ³)	/	79,479	69,884	3,583	/	/	/	11,413
Relativna greška	/	0,1592	0,1399	0,0071	/	/	/	0,0057
Procentualna greška (%)	/	15,92	13,99	0,71	/	/	/	0,57

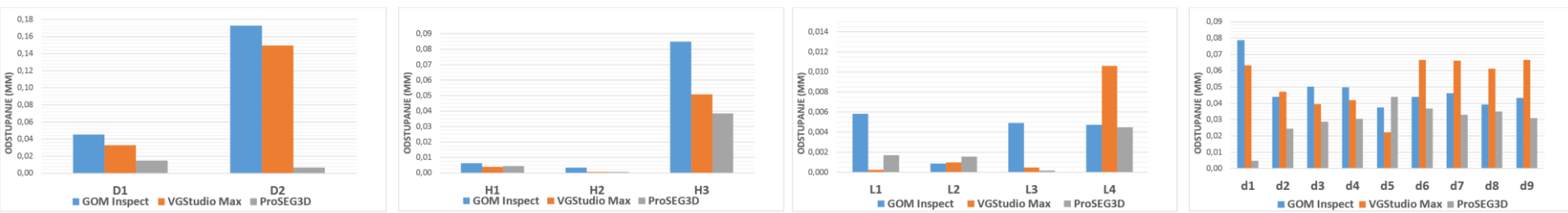
- Analiza referentnih mera metalnih komponenata;
- Analiza referentnih mera plastičnog kućišta.



- Komparativna analiza dimenzionalnih odstupanja karakteristika D(i), H(i), L(i) i d(i);



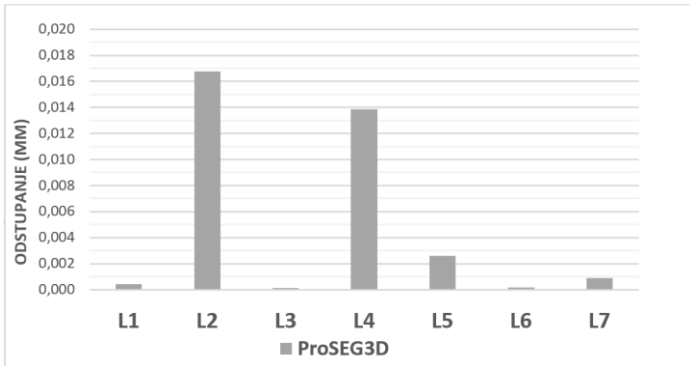
- Relative greške merenja dimenzionalnih karakteristika D(i), H(i), L(i) i d(i).



- Komparativna analiza dimenzionalnih odstupanja karakteristika L1 – L7 za plastično kućište;



- Relativne greške merenja dimenzionalnih karakteristika L1 – L7 za plastično kućište.



- Inspekcija geometrijske tolerancije oblika i orijentacije (cilindričnost, ravnost i pozicija);
- Inspekcija za površinske 3D modele generisane u softverima GOM Inspect, VGStudio Max i ProSEG3D.

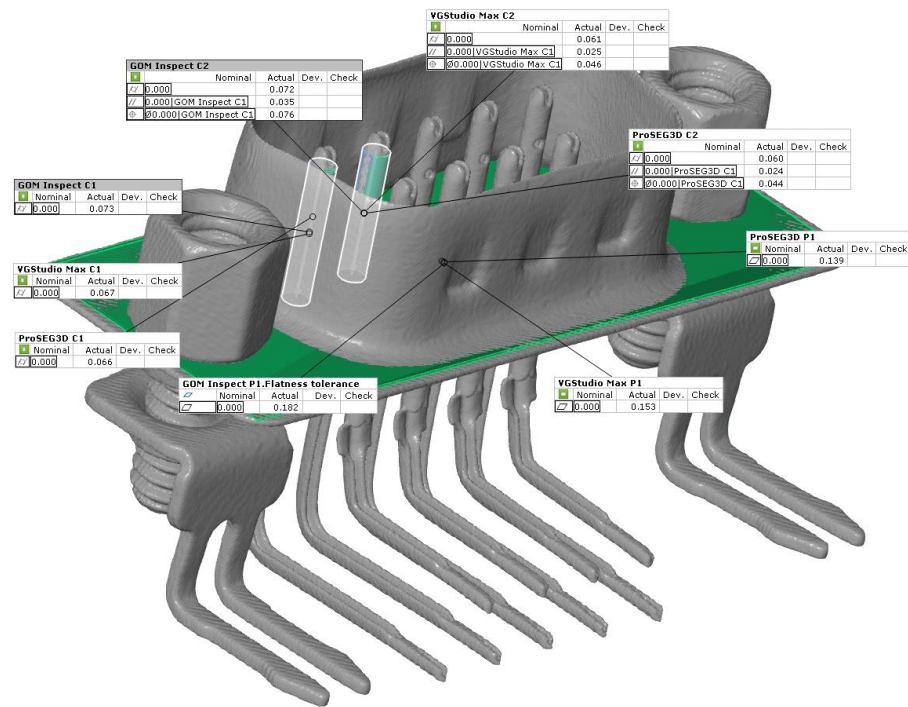


Tabela 5.15 Numeričke vrednosti dobijene primenom KMM i tri komparirana softvera GOM Inspect, VGStudio Max i ProSEG3D za metalne komponente kod studije slučaja 2 - DB-9M konektor

	Geometrijske karakteristike	KMM [mm]	GOM Inspect [mm]	VGStudio Max [mm]	ProSEG3D [mm]
Studija slučaja 2 (Metalne komponente)	Cilindričnost (C1)	0,072	0,073	0,067	0,066
	Cilindričnost (C2)	0,066	0,072	0,061	0,060
	Ravnost (P1)	0,111	0,182	0,153	0,139
	Paralelnost (C1-C2)	0,038	0,035	0,025	0,024
	Pozicija (C1-C2)	0,041	0,076	0,046	0,044

- CAD inspekcija površinskih 3D modela metalnih komponenta DB-9M konektora.

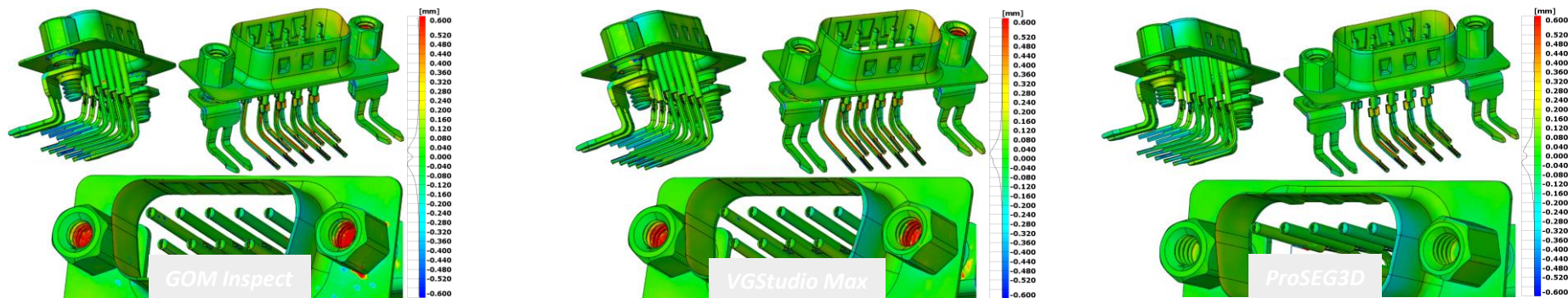
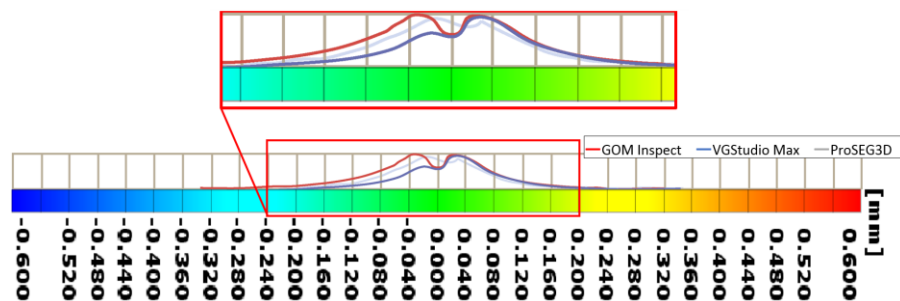


Tabela 5.16 Rezultati odstupanja CAD inspekcije metalnih komponenta za konektor

	Softver	Granične vrednosti devijacija [mm]	Granice koncentracija devijacija [mm]	Srednja vrednost odstupanja [mm]	Standardna devijacija [mm]
Metalna struktura	GOM Inspect	$\pm 0,24$	-0,02	+0,004	+0,178
	VGStudio MAX	$\pm 0,2$	+0,015	+0,023	+0,142
	ProSEG3D	$\pm 0,2$	-0,015	-0,008	+0,124



- CAD inspekcija površinskog 3D modela plastičnog kućišta DB-9M konektora.

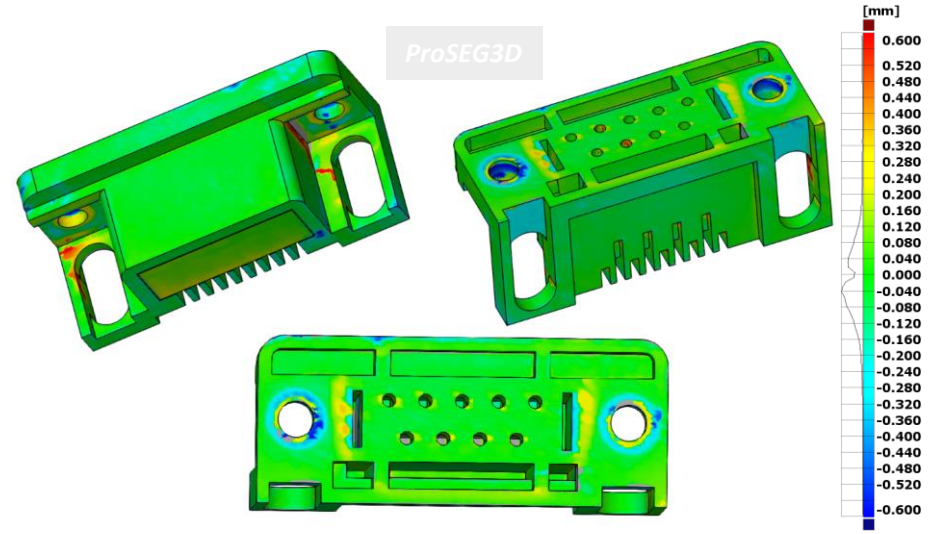


Tabela 5.16 Rezultati odstupanja CAD inspekcije plastičnog kućišta za DB-9M konektor

	Softver	Granične vrednosti devijacija [mm]	Granice koncentracija devijacija [mm]	Srednja vrednost odstupanja [mm]	Standardna devijacija [mm]
Plastično kućište	ProSEG3D	+0,22 -0,25	-0,04	-0,006	+0,158

HVALA NA PAŽNJI!