

# **DOKUMENTACIJA TEHNIČKOG REŠENJA**

## ***"Programski sistem za segmentaciju snimaka generisanih primenom kompjuterizovane tomografije"***

### **Autori tehničkog rešenja**

- Dr Mario Šokac, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka
- Dr Igor Budak, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka
- Dr Živana Jakovljević, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet
- Dr Đorđe Vukelić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka
- Mast. inž. maš. Željko Santoši, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka

### **Ključne reči**

- Kompjuterizovana tomografija (CT), segmentacija slike, hibridna metoda, analiza slike, artefakti

### **Oblast i naučna disciplina na koju se tehničko rešenje odnosi**

- Mašinsko inženjerstvo / Proizvodno mašinstvo

### **Naručilac i korisnik tehničkog rešenja**

- Wisil M, Nehruova 44/4, 11070 Novi Beograd, Srbija, Republika Srbija

### **Godina kada je tehničko rešenje urađeno**

- 2020.

### **Projekat u okviru koga je realizovano tehničko rešenje:**

- Program istraživanja u oblasti tehnološkog razvoja za period 2011 - 2020.;
- Tehnološka oblast: Mašinstvo;
- Rukovodilac projekta: dr Đorđe Vukelić, vanredni profesor;
- Naziv projekta: Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupaka izrade dentalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarom podržanih sistema;
- Broj projekta: TR 35020.

## **SADRŽAJ:**

<b>1. OBLAST NA KOJU SE TEHNIČKO REŠENJE ODNOSI .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OPIS PROBLEMA KOJI SE REŠAVA TEHNIČKIM REŠENJEM .....</b>	<b>1</b>
<b>3. PRIKAZ I ANALIZA POSTOJEĆIH REŠENJA PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
<b>4. SUŠTINA TEHNIČKOG REŠENJA .....</b>	<b>3</b>
<b>5. DETALJAN OPIS TEHNIČKOG REŠENJA.....</b>	<b>4</b>
5.1 Hibridni model za segmentaciju snimaka generisanih primenom CT-a .....	4
5.2 Pod-modul za segmentaciju CT snimaka primenom hibridne metode.....	5
5.3 ProSEG3D softver za segmentaciju i analizu CT snimaka .....	10
5.3.1 Podsystem za unos ulaznih podataka .....	11
5.3.2 Podsystem za izbor metode za segmentaciju ulaznih podataka .....	12
5.3.2.1 Panel za segmentaciju primenom Otsu metode .....	13
5.3.2.2 Panel za segmentaciju primenom hibridnog pristupa .....	14
5.3.3 Podsystem za analizu slike i grafički prikaz rezultata.....	18
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>21</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>21</b>

## 1. OBLAST NA KOJU SE TEHNIČKO REŠENJE ODNOSI

Tehničko rešenje u vidu programskog sistema za segmentaciju snimaka generisanih primenom kompjuterizovane tomografije se može posmatrati kao deo oblasti biomedicinskog inženjerstva i kao takvo predstavlja spoj dve oblasti, a to su mašinstvo i medicina.

Kompjuterizovana tomografija ili skraćeno CT (engl. *Computed Tomography*), je u poslednje vreme sa razvojem industrijskih CT sistema ušla na velika vrata u oblast mašinskog inženjerstva, a uveliko ulazi i u polje koordinatne metrologije. U oblasti mašinskog inženjerstva zbog karakterizacije objekata sačinjenih od različitih materijala (najčešće metala i plastike), prilikom CT skeniranja se javljaju određeni problemi u vidu nastanka artefakata kod rezultata dimenzionalnih merenja. U skladu sa tim, u okviru ovog tehničkog rešenja razvijen je novi programski sistem baziran na hibridnom principu gde je izvršena kombinacija dve metode za obradu slike, a to su fazi klasterizacija i rast regiona, sa ciljem supresije nastalih artefakata i dobijanja tačnijih rezultata segmentacije, a što će posledično doprineti i dobijanju dimenzionalno tačnijih površinskih 3D modela.

## 2. OPIS PROBLEMA KOJI SE REŠAVA TEHNIČKIM REŠENJEM

Kompjuterizovana tomografija je pored primene u oblasti medicine ušla i u polje mašinske industrije, kao alternativa za kontaktne i optičke 3D koordinatne merne sisteme u oblasti geometrijske karakterizacije proizvoda. Napredak tehnologije i razvoj softverske podrške obezbeđuje ovim sistemima sve veću primenljivost uz postizanje visoke tačnosti merenja.

Sa druge strane, iako razvoj ovih uređaja danas omogućava dobijanje rezultata merenja visoke tačnosti, usled različitih uticaja (parametri skeniranja, uticaj operatera, geometrija mernih predmeta, vrsta materijala od kojeg je predmet izrađen i dr.) dolazi do nastanka šuma i artefakata na rezultatima merenja. Prema revidiranom standardu ISO 15708-2:2018 [1] artefakti predstavljaju veštačke strukture koje se nalaze u rezultatima skeniranja, a koji ne odgovaraju realnom stanju. Jedan od glavnih problema kod industrijskih CT sistema predstavlja skeniranje predmeta koji se sastoje iz više različitih materijala (engl. *Multi-material components* - MMCs). Objekti koji se sastoje od više različitih materijala često se susreću u mernim zahtevima industrijskog CT sistema. MMC su inherentno problematični za industrijski CT sa aspekta definisanja parametara skeniranja pošto se u većini slučajeva MMC komponente sastoje od plastičnih (manja gustina) i metalnih komponenata (veća gustina) [2]. Ovde je problem posebno izražen kada se prilikom skeniranja želi postići adekvatna vizuelizacija svih materijala prisutnih u okviru MMC gde artefakti mogu ozbiljno uticati, ili čak i ugroziti pouzdanost merenja [3–6]. Oni se mogu pojaviti u vidu varijacija nijansi sive boje, odnosno kao odstupanja na rekonstruisanim podacima. Prethodno navedeno nameće potrebu za razvojem i primenom novih metoda i softvera (programskih sistema) za efikasnu redukciju i eliminaciju šuma i artefakata na CT snimcima i generisanje dimenzionalno tačnijih površinskih 3D modela.

Softveri za obradu i analizu slike služe za segmentaciju i obradu 2D CT snimaka, i kao podrška kod obrade velikog broja podataka. Tehničko rešenje je izvedeno kao softver

(programski sistem) i omogućava izbor i kombinovanje različitih metoda sa ciljem ekstrakcije svih objekata prisutnih na 2D CT snimcima, bez obzira na njihovu vrstu materijala (tj. njihovu specifičnu gustinu). Posebna pažnja je takođe posvećena razvijenom inovativnom i hibridnom modelu u okviru softvera, a koji se prvo koristi za klasifikaciju i poboljšanje generisanih 2D CT snimaka, a zatim i za segmentaciju i rekonstrukciju dimenzionalno tačnijih površinskih 3D modela.

### 3. PRIKAZ I ANALIZA POSTOJEĆIH REŠENJA PROBLEMA

U današnjem svetu rapidnog industrijskog razvoja u oblasti proizvodnog mašinstva fokus se stavlja na tačnost kao parametar koji je od ključne važnosti. Industrijske komponente koje se danas izrađuju su sve kompleksnije i samim tim se povećavaju zahtevi za kontrolu kvaliteta i osiguranje kvaliteta. Zbog toga se razvijaju nove tehnologije kako bi se zadovoljile potrebe krajnjeg korisnika ovih proizvoda. Kompjuterizovana tomografija je, pre svega, poznata po širokoj upotrebi u oblasti medicine već više od 40 godina, a od nedavno je sve više primenjivana i u oblasti mašinske industrije. CT se može smatrati trećom generacijom mernih sistema u oblasti koordinatne metrologije, zajedno sa koordinatnim mernim mašinama (KMM) i optičkim sistemima [7]. Kod rešavanja problema poboljšanja generisanih CT snimaka, kao i nastanka artefakata i njihovog uklanjanja (ili barem njihove redukcije), u dostupnoj literaturi je prikazano više različitih pristupa, zasnovanih na različitim metodama. Pošto postoje različiti tipovi artefakata [3–6] koji su karakteristični za matrične detektore kod CBCT tehnologije [2], do sada se veći broj autora bavio ovim problemom. Ukazano je i na potrebu za sofisticiranim algoritmima i njihovom primenom za rešavanje metroloških zadataka [8].

Shodno tome, razvijani su novi sofisticirani pristupi kroz primenu različitih metoda gde su sprovedene naučne studije u oblasti ekstrakcije površina sa generisanih CT snimaka [9]. Autori u [10] su analizirali nekoliko različitih metoda za segmentaciju sa aspekta njihove primene u oblasti industrijske kompjuterizovane tomografije.

Segmentacija MMC primenom dualnih CT sistema<sup>1</sup> je predložena od strane autora u [11] gde se kao rezultat dobija poboljšanje akvizicije i ekstrakcije 2D granica segmentiranih objekata sa CT snimaka u odnosu na mono CT sisteme<sup>2</sup>. Još jednu metodu za segmentaciju i ekstrakciju površina kod MMC su predstavili autori u [12]. Oni su razvili novu metodu za uklanjanje površina iz MMC koja je bazirana na klasifikaciji voksela prema postignutoj maksimalnoj grešci površine veličine jednog voksel. Kod segmentacije MMC u oblasti industrijske tomografije, autori u [13] su predložili kombinaciju dve metode, rast regiona i metodu grafičkog rezanja (engl. *Graph Cut*) za klasifikaciju volumetrijskih modela. Autori u [14] su takođe predstavili hibridnu metodu baziranu na primeni metode fazi klasterizacije i metode rasta regiona, a sa ciljem redukcije artefakata i segmentacije MMC. Autori u [15] su se bavili eksperimentalnom procenom uticaja procesa određivanja površina na MMC, pri tome koristeći dostupne metode za segmentacije (metoda ISO-50%, metoda lokalnog praga, metoda rasta regiona, i dr.) u komercijalnom softveru za analizu CT snimaka (VGStudio Max v2.2.6.). Autori u [16] su se bavili problemom segmentacije 2D CT snimaka, sa naglaskom na detekciji ivica,

---

<sup>1</sup> CT sistem sa dva izvora X-zraka (jači i slabiji izvor) za akviziciju CT snimaka.

<sup>2</sup> CT sistem sa jednim izvorom X-zraka za akviziciju CT snimaka.

odnosno granica objekta. Kada je u pitanju RE modeliranje novih proizvoda u oblasti industrijske proizvodnje, takođe je predstavljeno softversko rešenje pod nazivom „SegMo“ [17] koje prema ovim istraživanjima može učinkovitije izvršiti segmentaciju kompleksnih sklopova u odnosu na konvencionalne metode. U novijim istraživanjima, autori u [18] su predstavili novu metodu za detekciju ivica kod ekstrakcije površina sa CT snimaka. Metoda je bazirana na 3D Kenijevom algoritmu sa sub-vokselskom rezolucijom.

Kada je reč o tačnosti segmentacije, odnosno tačnosti ekstrakcije važnih podataka sa generisanih CT snimaka, postavlja se važno pitanje o sposobnosti algoritama da na efikasan način izvuku adekvatne informacije [19]. Autori u [20] su se bavili ovim pitanjem gde su predstavili novu metodu za ekstrakciju podataka sa industrijskih CT snimaka. Takođe je još jedna metoda predstavljena u [21] za segmentaciju CT snimaka generisanih na industrijskim CT sistemima, a koja je zasnovana na separaciji okolnog vazduha i materijala predmeta. Značajnu pažnju istraživača u ovoj oblasti privlače i metode koje služe za uklanjanje ili redukciju artefakata (engl. *Metallic Artefact Reduction - MAR*) koji su posledica prisustva metalnih komponenti u sklopovima koji se sastoje iz više materijala. Za razliku od metoda koje se bave ekstrakcijom informacija sa generisanih CT snimaka, ove metode rade na principu reparacije i rekonstrukcije generisanih sinograma<sup>3</sup>, pri čemu se kao rezultat dobijaju novi rekonstruisani CT snimci sa redukovanim/uklonjenim artefaktima. Autori u [22] su razvili novu metodu koja se bazira na redukciji artefakata kod delova koji se sastoje od više različitih materijala, dok su autori u [23] razvili novu metodu za uklanjanje metalnih artefakata koja koristi Laplasov operator da otkrije podatke iz projekcije pozadine skrivene u regionima koji sadrže podatke sa metala. Autori u [24] su razvili novu MAR metodu za redukciju metalnih artefakata zasnovanu na primeni filtera za redukciju artefakata i poboljšanje originalnih 2D CT snimaka, zatim segmentaciju metalnih artefakata i metalnih objekata primenom algoritma za segmentaciju podataka, i na kraju modifikovanu metodu za repariranje podataka (piksela) na 2D sinogramu.

Pored ovih MAR metoda, u primeni je više različitih metoda i pristupa koji se bave komparativnom analizom različitih metoda za redukciju metalnih artefakata [25], zatim metoda baziranih na interpolaciji [26], kombinovanim metodama [27], kao i metoda baziranih na primeni interaktivnih blokova [28].

#### 4. SUŠTINA TEHNIČKOG REŠENJA

U okviru tehničkog rešenja razvijen je hibridni model za unapređenje generisanih 2D CT snimaka, što će posledično doprineti rekonstrukciji dimenzionalno tačnijih zapreminskih modela, odnosno tačnijim rezultatima merenja geometrijskih veličina. Primena ovakvog modela može doprineti poboljšanju kvaliteta segmentiranih 2D CT snimaka. Poboljšanje kvaliteta se ogleda u vidu pojačanja kontrasta između geometrijskih entiteta na CT snimcima primenom metode fazi klasterizacije sa  $C$  srednjih vrednosti – FCM (fazi isodata) radi ekstrakcije piksela od značaja. U cilju postizanja veće efikasnosti i smanjenja vremena potrebnog za segmentaciju koristi se histogram intenziteta slike kod postupka klasterizacije. Uloga metode rasta regiona (RG) jeste segmentacija i generisanje binarnih 2D slika. U okviru

---

<sup>3</sup> Sinogram predstavlja skup projekcija pod različitim uglovima koje sadrži jedan 2D CT snimak

ove metode razvijen je inovativni pristup za definisanje centra segmentiranih regiona nepravilne geometrije, zasnovan na standardnoj devijaciji intenziteta piksela.

Prilikom razvoja hibridnog modela za segmentaciju CT snimaka, na osnovu postavljenog cilja, pošlo se od sledećih zahteva koje ovakav jedan softver treba da omogućiti:

- primenu više različitih metoda za segmentaciju generisanih 2D CT snimaka,
- primenu metode FCM za adekvatnu klasifikaciju i poboljšanje generisanih 2D CT snimaka,
- primenu metode RG bazirane na selekciji regiona sa najvećom vrednosti standardne devijacije, a unutar kojeg će se definisati inicijalno seme za segmentaciju,
- propratnu analizu segmentiranih snimaka, kako bi se utvrdila tačnost njihove segmentacije primenom više različitih statističkih metoda za analizu oblika i granica segmentiranih objekata,
- odgovarajući grafički prikaz za rezultate analize, kao i numerički zapis rezultata,
- jednostavno i korisnički intuitivno okruženje pri interakciji korisnika sa programskim sistemom,
- određeni stepen automatizovanosti i fleksibilnosti kod segmentacije koji bi mogao da obezbedi ekstrakciju različitih objekata sa generisanih CT snimaka.

## **5. DETALJAN OPIS TEHNIČKOG REŠENJA**

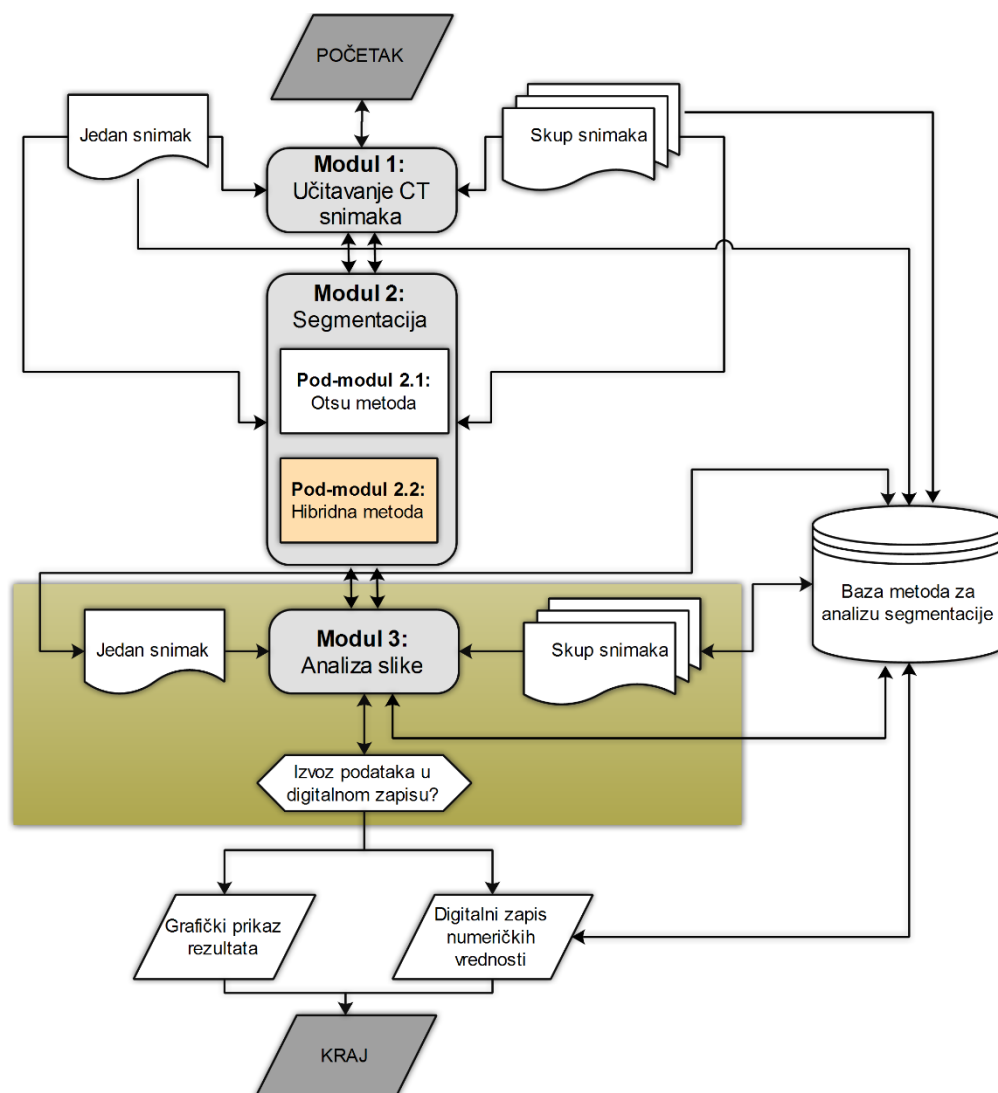
### **5.1 Hibridni model za segmentaciju snimaka generisanih primenom CT-a**

Hibridni model za segmentaciju CT snimaka je modularne strukture i sastoji se od tri glavna modula (Slika 1):

- Modul za unos podataka;
- Modul za segmentaciju:
  - Pod-modul za segmentaciju primenom Otsu metode,
  - Pod-modul za segmentaciju primenom hibridne metode;
- Modul za analizu slike.

Model obuhvata bazu znanja koju čine četiri celine:

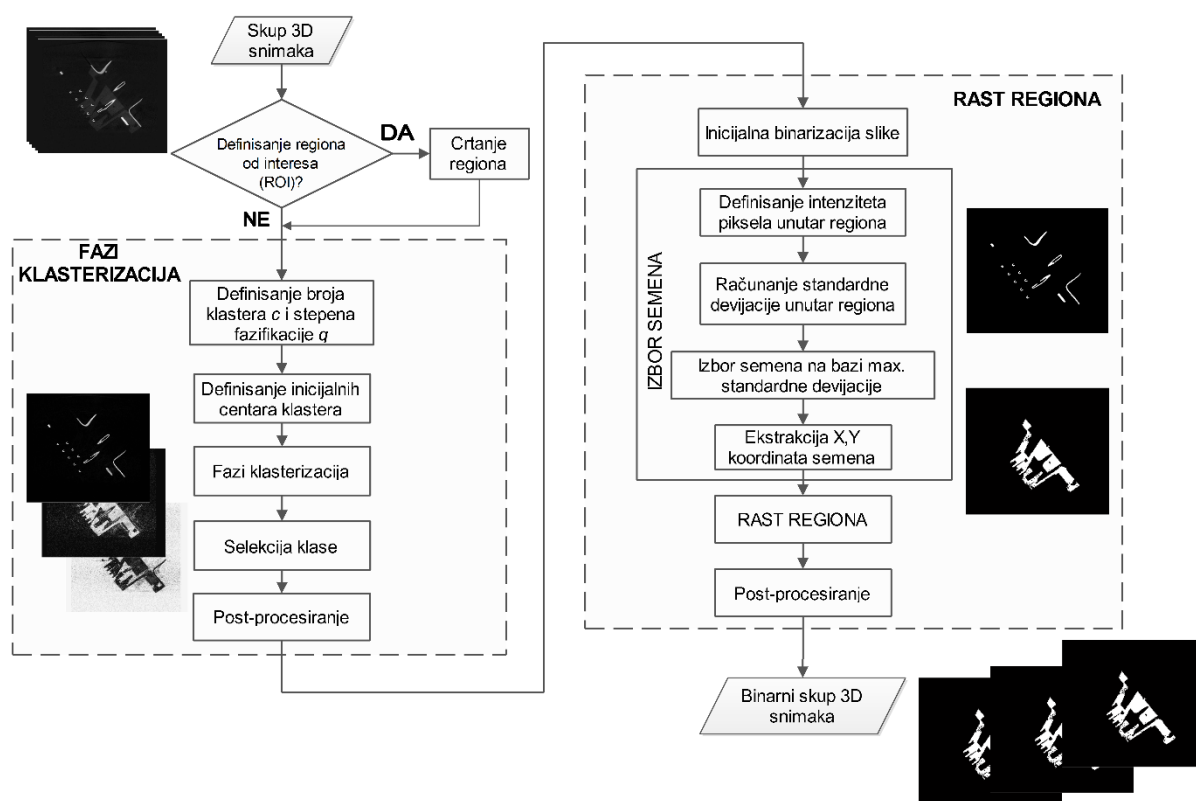
1. Baza metoda za analizu greške površine kod segmentacije;
2. Baza metoda za analizu greške granica kod segmentacije;
3. Baza metoda za evaluaciju segmentacije;
4. Baza metoda za statističku analizu kod segmentacije.



Slika 1. Međusobni odnos modula i baze znanja u okviru hibridnog modela za segmentaciju CT snimaka

## 5.2 Pod-modul za segmentaciju CT snimaka primenom hibridne metode

Pod-modul za segmentaciju primenom hibridne metode predstavlja centralni deo hibridnog modela i prikazan je na slici 2. Razvijena hibridna metoda je bazirana na dve metode, FCM i RG, koje su izabrane iz razloga što njihova kombinacija doprinosi poboljšanoj segmentaciji i ekstrakciji ivica različitih objekata prisutnih na CT snimcima.



Slika 2. Prikaz hibridne metode u okviru hibridnog pod-modula za segmentaciju

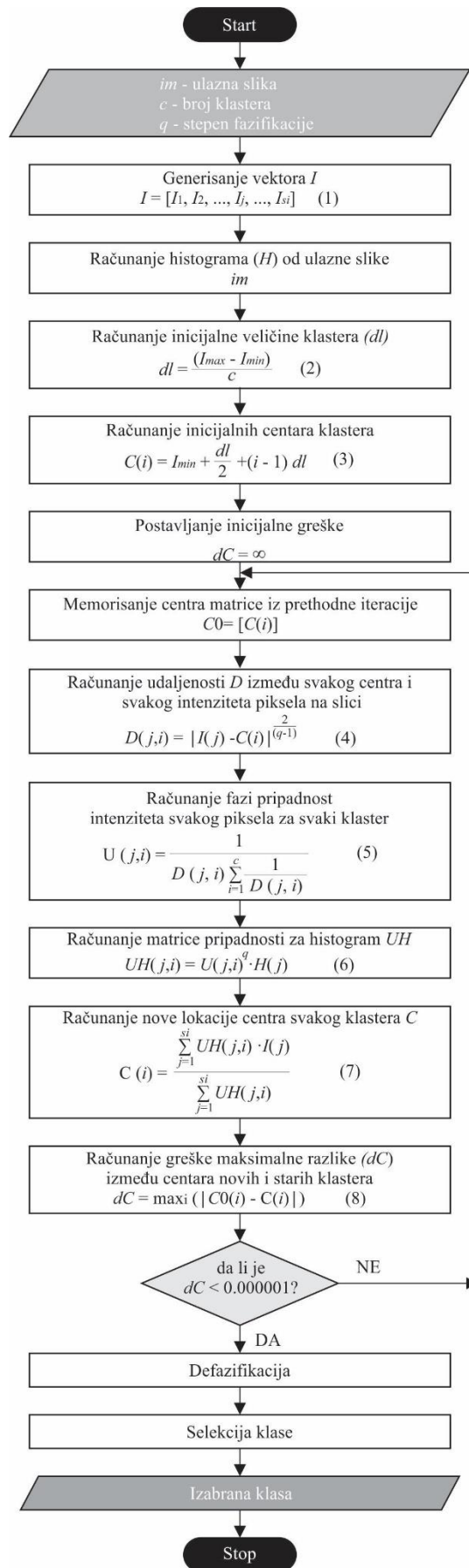
Kod definisanja ulaznih parametara u algoritam potrebno je definisati broj klastera  $c$  (koji ujedno predstavlja i najvažniji parametar) i težinski eksponent  $q$  koji definiše stepen fazifikacije ( $q \geq 1,1$ ), odnosno pripadnosti piksela klasterima.

FCM zasnovan algoritam razvijen u okviru ovog tehničkog rešenja je iterativan u cilju postizanja veće efikasnosti i smanjenja vremena potrebnog za segmentaciju. U tu svrhu se koristi histogram intenziteta slike kod postupka klasterizacije umesto samih podataka slike (piksela). Izjednačavanje histograma slike je standardna tehnika koja se koristi za poboljšanje generisanih slika.

Na ovaj način se ubrzava i poboljšava celokupan postupak fazi klasterizacije, što pogotovo dolazi do izražaja kod primene ove metode na velikim skupovima snimaka.

Opis algoritma za jednu sliku je prikazan na slici 3, dok se isti koristi za skup snimaka primenom petlje sa ciljem ponavljanja bloka naredbi za ceo skup snimaka, i sastoji se iz koraka definisanih u algoritmu.





Slika 3. Algoritam toka procesa FCM metode koja se koristi za poboljšanje slike

U algoritmu (Slika 3), ulazni parametri su ulazna slika ( $im$ ), broj klastera ( $c$ ) i stepen fazifikacije ( $q$ ). U prvom koraku ovog algoritma generisan je vektor  $I$  koji sadrži sve intenzitete piksela  $im$  u rastućem redosledom (jed. (1)) gde je  $I_1=I_{min}$ ,  $I_{si}=I_{max}$  ( $I_{min}$  i  $I_{max}$  su minimalne i maksimalne vrednosti piksela intenziteta) i  $I_{j+1}>I_j$ ;  $si$  je veličina vektora  $I$ . Nakon toga se izračunava histogram ( $H$ ) skupa slika  $im$  (histogram intenziteta piksela je korišćen kako bi se postigla proračunska efikasnost). U narednim koracima, inicijalna veličina klastera ( $dI$ ) je izračunata koristeći jednačinu (2), i inicijalni centri klastera  $C(i)$  su dobijeni koristeći jednačinu (3), gde je  $i=1, 2, \dots, c$ ; inicijalni centri klastera su podjednako raspoređeni duž intenziteta na slici. Pre ulaska u iterativni postupak, početna greška je postavljena na  $dC = \infty$ . Na početku svake iteracije centri matrice iz prethodne iteracije se memorišu  $C0=[C(i)]$ . Nakon toga se izračunava udaljenost  $D$  između svakog centra i intenziteta slike svakog piksela (jed. (4)), gde je  $i=1, 2, \dots, c, j=1, 2, \dots, si$ . Zatim se izračunava fazi pripadnost intenziteta svakog piksela svakom klasteru (jed. (5)) i matrica pripadnosti histograma  $UH$  (jed. (6)). Nakon ovih koraka, stvara se nova matrica centra klastera  $C$  (jed. (7)) gde je  $i=1, 2, \dots, c$ . Na kraju se izračunava maksimalna razlika ( $dC$ ) između trenutnih i prethodnih centara klastera (jed. (8)), gde je  $i=1, 2, \dots, c$ . Nakon svake iteracije proverava se vrednost  $dC$  i, ako se ne ispuni traženo pravilo ( $dC < 0.000001$ ), postupak se ponavlja od koraka  $C0=[C(i)]$ . Kada se ovo pravilo ispuni, petlja se napušta i sledeći korak predstavlja defazifikaciju (dodeljivanje piksela klasterima u skladu sa maksimalnom pripadnošću). Mapa pripadnosti piksela za svaki klaster se generiše, a najprikladniji klaster bira korisnik koji mora razmotriti koji materijal želi izdvojiti iz MMC-a. Odabrana mapa pripadnosti piksela bi trebalo da daje najbolje kontrastno odvajanje između granica razmatranog materijala i ostatka slike.

Osnovni cilj segmentacije slike jeste podeliti sliku u smislene regione. Segregacija zasnovana na metodi RG je tehnika za direktno određivanje regiona. U okviru RG algoritma razvijenog u hibridnom modelu, povezivanje piksela je izvršeno kao 8-povezan sistem zasnovan na povezivanju susednih piksela preko njihovih ivica ili uglova (temena) sa početnim inicijalnim pikselom. Ovi pikseli su povezani horizontalno, vertikalno i dijagonalno preko svojih koordinata ( $x \pm 1, y \pm 1$ ).

U cilju poboljšanja tačnosti izbora inicijalnog semena, a koji ujedno predstavlja ulaz kod metode RG, predstavljen je inovativni pristup razvijen u okviru ovog tehničkog rešenja. Ovaj pristup je zasnovan na izboru regiona sa najvećom vrednošću standardne devijacije intenziteta piksela i ekstrakcijom X,Y koordinata za seme. Za svaku 2D sliku zasebno se u celom skupu snimaka (prethodno poboljšanih primenom FCM metode) vrši inicijalna binarizacija slike (primenom Otsu metode) i podeljenih regiona na njoj. Osnovna pretpostavka jeste definisanje maksimalne vrednosti standardne devijacije (STD) intenziteta piksela prvobitno podeljenih regiona kod segmentacije. Svi pikseli u tim regionima imaju određeni nivo intenziteta i sa većim rasponom odstupanja intenziteta piksela, vrednost STD će biti veća. Na ovaj način veličina regiona ne utiče na izbor semena. Regioni koji su poboljšani primenom FCM metode će imati veću STD npr. prilikom poređenja sa regionima dobijenim iz originalne slike.

Za vektor slučajne promenljive  $A$  sačinjen od  $N$  skalarnih opservacija, STD je definisana kao (1):

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

gde je  $\mu$  prosečna vrednost vektora  $A$  (2):

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

Kada je pronađen region sa najvećom vrednošću STD, njegov centar se bira kao početno seme za metodu rasta regiona. Međutim, pošto regioni mogu varirati od jednostavnog oblika do veoma složenog i nepravilnog oblika, kako bi se osiguralo da će početno seme biti unutar regiona, razvijen je algoritam u cilju prevazilaženja ovog problema.

Ovaj algoritam se zasniva na principu skeletonizacije ili stanjivanja regiona sa najvećom vrednošću STD. Kao rezultat skeletonizacije, generiše se skelet (ili linija) regiona koji se sastoji iz velikog broja tačaka sa njihovim X,Y koordinatama. Ekstrakcijom srednjeg para X,Y koordinata se obezbeđuju koordinate za inicijalno seme za rast regiona. Na ovaj način je osigurano da će izabrano seme ostati unutar odabranog regiona sa maksimalnom vrednošću STD što je prikazano na slici 4. Tabela 1 prikazuje algoritam za izbor XY koordinata inicijalnog semena.

Tabela 1. Algoritam za izbor XY koordinata inicijalnog semena kod RG metode

**ULAZ:** img - region sa maksimalnom vrednošću STD

**IZLAZ:** X,Y koordinate

**L1** → označi **img**

**m** → skeletonizacija **L1**

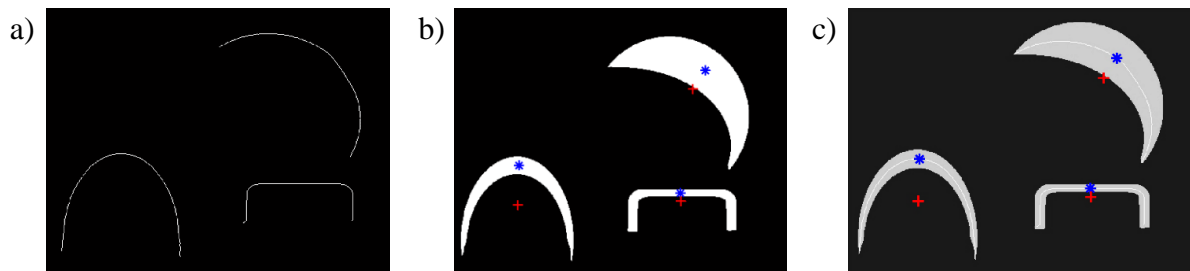
**L2** → označi **m**

**pronađi** PixelList od **L2**

**pronađi** srednji par koordinata iz PixelList

**Ekstrakuj** X,Y koordinate iz PixelList

**KRAJ**



Slika 4. Prikaz a) skeletonizacija regiona, b) lokacije centroida svih regiona na slici prikazane sa crvenim i plavim markerima i c) preklapanje slika

Slika 4 prikazuje centre regiona određene korišćenjem centra masa regiona (crveni marker) i korišćenjem predložene metode (plavi markeri). Sa slike se može uočiti da crveni markeri pokazuju netačno definisana inicijalna semena koja se nalaze izvan regiona. U nekim

specifičnim aplikacijama selekcija inicijalnog semena bazirana na definisanju centra mase nekog oblika može predstavljati prihvatljivo rešenje, međutim kada je reč o složenijim i nepravilnim oblicima, ovakav pristup neće pružiti prihvatljive rezultate, što je veoma bitno kod primene inicijalnog semena za metodu RG. Kada se koristi predloženi pristup, složenost oblika ne predstavlja problem (prikazano plavim markerima), što dodatno doprinosi ukupnoj tačnosti i stabilnosti predstavljenog pristupa.

### 5.3 ProSEG3D softver za segmentaciju i analizu CT snimaka

Realizovani softver, nazvan ProSEG3D, sastoji se iz glavnog dijalog okvira prikazanog na slici 5 iz kojeg se pozivaju pomoćni dijalog okviri, koji su razvijeni na bazi modela tri podmodula za unos ulaznih podataka, segmentaciju učitanih CT snimaka, kao i analizu i grafički prikaz rezultata segmentacije primenom statističkih metoda i evaluatora. Drugim rečima, ProSEG3D softver obuhvata tri programska podsistema:

1. Podsistem za unos ulaznih podataka (CT snimaka);
2. Podsistem za segmentaciju ulaznih podataka, koji čine:
  - 2.1 Panel za segmentaciju primenom Otsu metode;
  - 2.2 Panel za segmentaciju primenom hibridnog pristupa;
3. Podsistem za analizu slike i grafički prikaz rezultata.



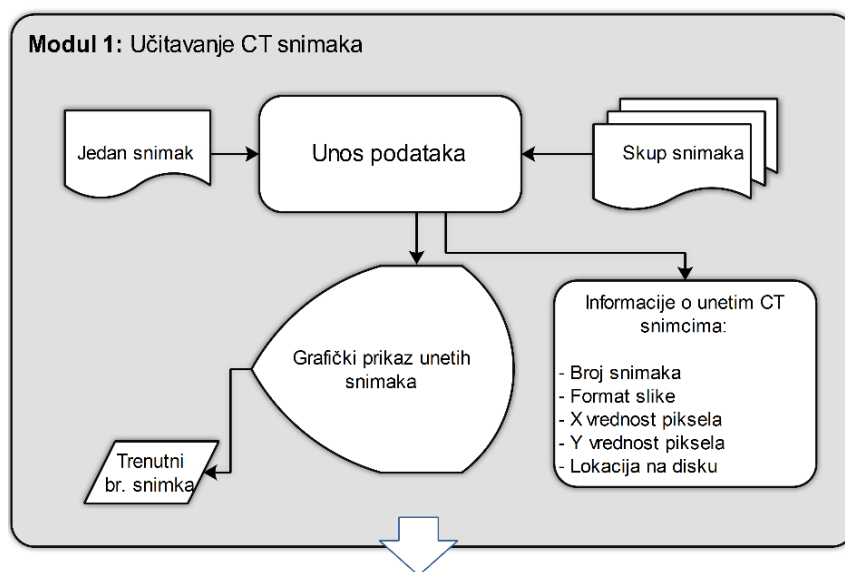
Slika 5. Glavni dijalog okvir razvijenog softvera ProSEG3D

U glavnom dijalog okviru se nalazi pristup prema sva tri podsistema u okviru softvera ProSEG3D. U donjem delu glavnog dijalog okvira nalaze se opcije (realizovane u obliku tastera) „O programu“ i „IZLAZ“. Opcija „O programu“ sadrži uputstvo ProSEG3D softvera u obliku PDF (engl. *Portable Document Format*) dokumenta sa opisom svih funkcija i korišćenja

softvera. Tasterom „IZLAZ“ koji je markiran crvenom bojom je omogućen izlaz iz programa. Ovaj taster je prisutan u svim dijalog okvirima ProSEG3D softvera sa ciljem da se u bilo kom trenutku omogućiti prekid rada u softveru. ProSEG3D takođe sadrži mehanizme (procedure) za proveru ulaznih podataka, iskaćuće dijalog okvire o odlukama i o nastalim greškama u softveru.

### 5.3.1 Podsystem za unos ulaznih podataka

Svrha ovog modula je unos ulaznih podataka, odnosno generisanih CT snimaka koji su predmet segmentacije i na osnovu kojih se žele generisati površinski 3D modeli. Šematski prikaz ovog modula je prikazan na slici 6.



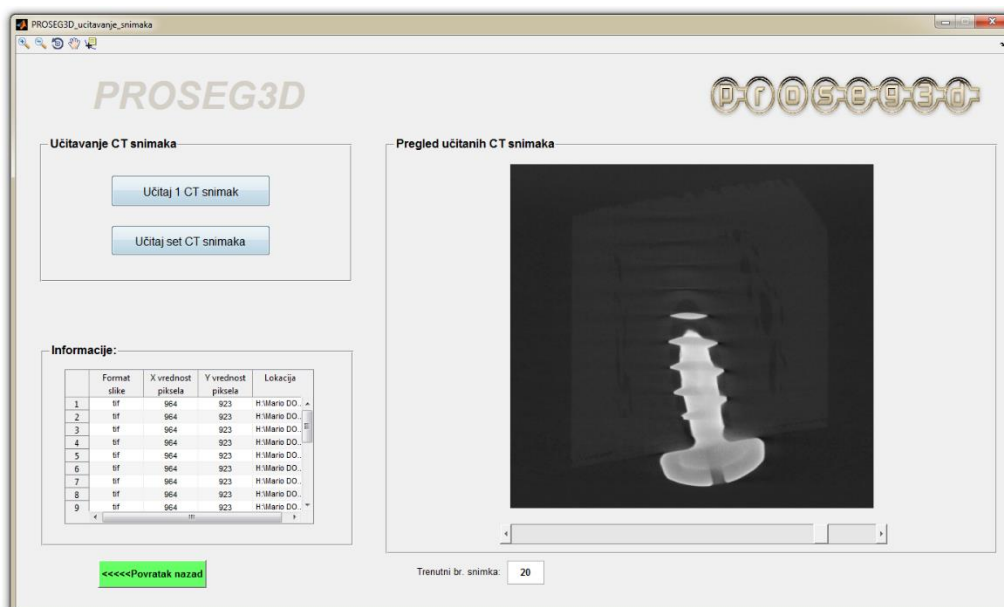
Slika 6. Međusobni odnosi unutar modula 1: Učitavanje CT snimaka u okviru hibridnog modela za segmentaciju CT snimaka

Koncept ovog modula je osmišljen tako da omogućuje unos samo jednog 2D snimka, ili celog skupa 3D snimaka. Na ovaj način podsystem daje slobodu da se na osnovu učitano 2D snimka ili skupa 3D snimaka kasnije izvrši segmentacija, rekonstrukcija 3D modela i/ili analiza i grafički prikaz rezultata segmentacije. Pored ovoga, podsystem pruža i povratne informacije na osnovu učitano 2D snimka/skupa 3D snimaka, u okviru kojih su dostupni podaci o:

- ukupnom broju učitanih snimaka,
- digitalnom formatu učitanih snimaka (ekstenzije kao što su \*.jpg, \*.tif ili \*.png),
- X vrednosti piksela, odnosno njegovoj rezoluciji po X osi,
- Y vrednosti piksela, odnosno njegovoj rezoluciji po Y osi,
- lokaciji učitano 2D snimka/skupa 3D snimaka na hard disku računara.

U okviru grafičkog dijaloga okvira za ulaz podataka su sadržani paneli za učitavanje CT snimaka, informacije o učitanim 2D CT snimcima, panel za grafički prikaz učitanih snimaka, kao i prikaz trenutnog broja snimka prisutnog u panelu za grafički prikaz (slika 7). Primenom horizontalnog klizaća omogućen je pregled učitanih CT snimaka, kao i dobijanje povratne informacije o 2D snimku koji je trenutno prikazan u panelu za grafički prikaz. Ovo je omogućeno prikazom u malom panelu pod nazivom „Trenutni br. snimaka“. U okviru ovog

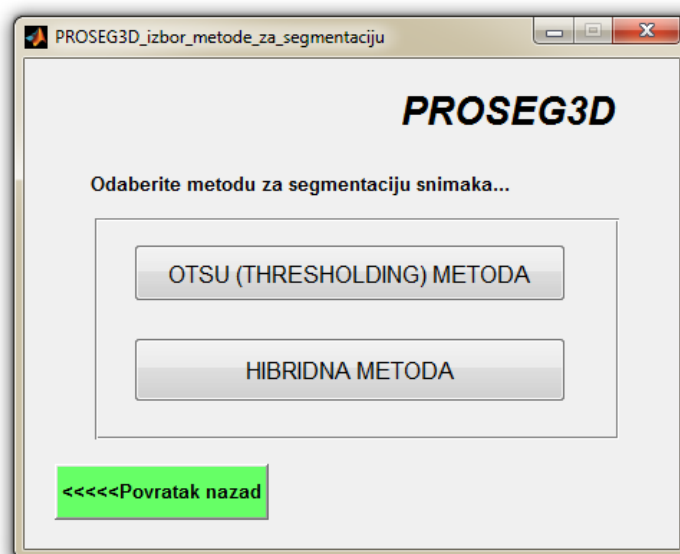
panela se nalazi taster „<<<<<Povratak nazad“ koji omogućuje povratak u prethodni panel, a to je glavni dijalog okvir ProSEG3D softvera, kako bi se nastavilo sa daljnim koracima.



Slika 7. Dijalog okvir za unos podataka u okviru ProSEG3D softvera

### 5.3.2 Podsistem za izbor metode za segmentaciju ulaznih podataka

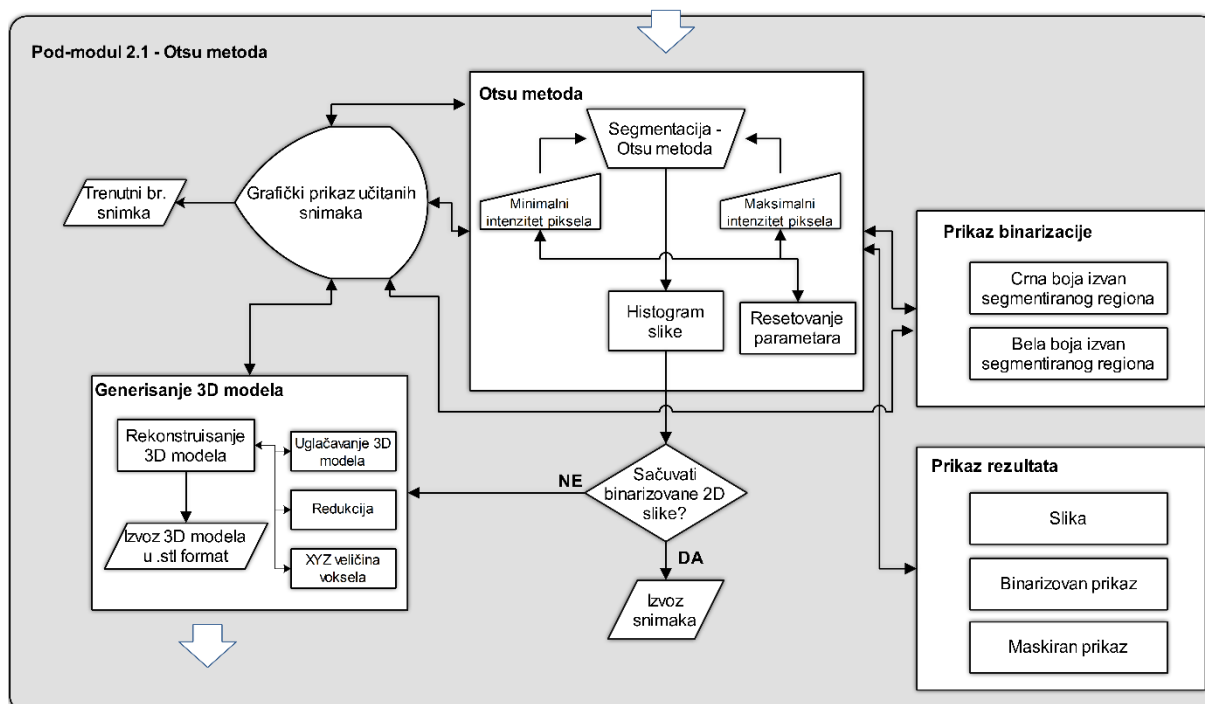
U okviru ovog modula može se odabrati način na koji se želi izvršiti segmentacija učitanih podataka (CT snimaka) primenom nekih od ponuđenih metoda. Prva metoda je Otsu metoda koja se može koristiti kod jednostavnijih slučajeva, kao i kod slučajeva gde su granice objekata prisutnih na CT snimcima jasno vidljive. Osnovna metoda koja je integrisana u ovaj softver jeste hibridna metoda za segmentaciju. U okviru ovog grafičkog dijaloga u donjem levom uglu se nalazi taster „<<<<<Povratak nazad“ koji omogućava povratak na prethodni dijalog okvir. Na slici 8 je prikazan grafički prikaz ovog panela.



Slika 8. Dijalog okvir za selekciju metoda za segmentaciju u okviru ProSEG3D softvera

### 5.3.2.1 Panel za segmentaciju primenom Otsu metode

U okviru ovog pod-modula je omogućena realizacija segmentacije koja se može koristiti kod trivijalnijih slučajeva i kod slučajeva gde su granice objekata prisutnih na CT snimcima jasno uočljive. Ovaj pristup se bazira na definisanju minimalnog i maksimalnog praga intenziteta piksela na CT snimku. Na ovaj način se vrši segmentacija i ekstrakcija objekata od interesa sa slike. Slika 9 prikazuje šematski prikaz ovog pod-modula.



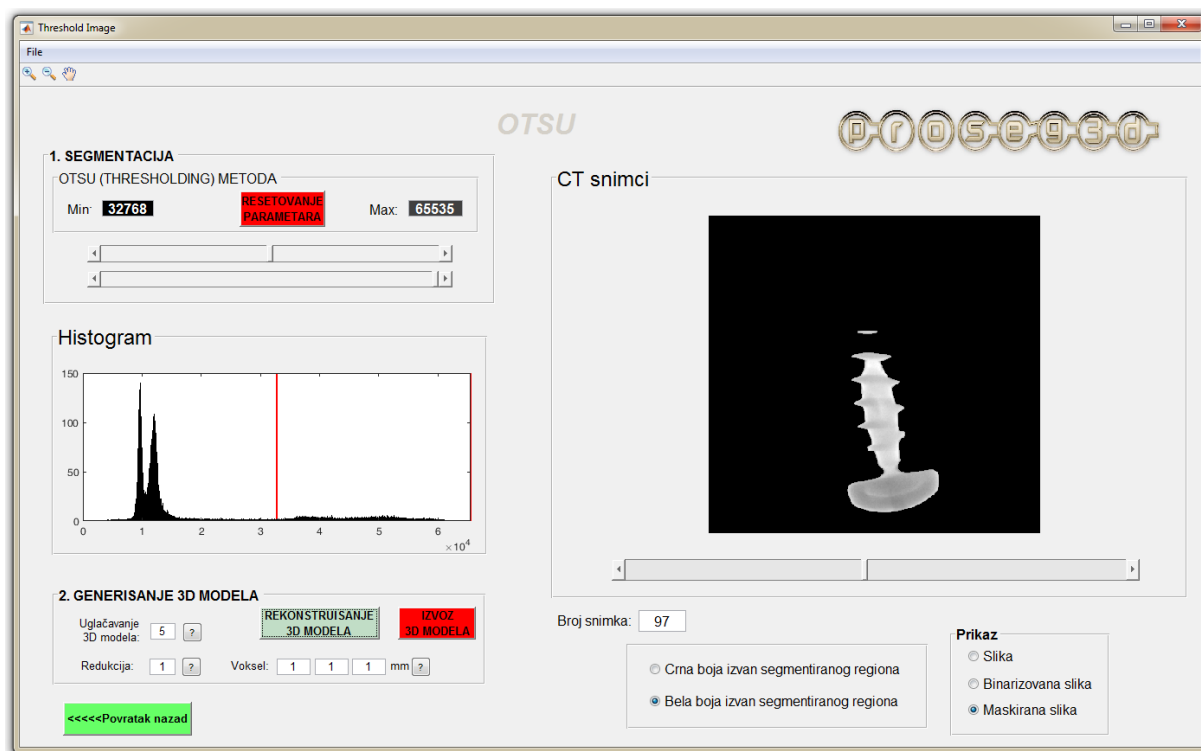
Slika 9. Međusobni odnosi unutar pod-modula za segmentaciju CT snimaka primenom Otsu metode

Slika 10 prikazuje grafički dijalog okvir panela za segmentaciju primenom Otsu metode. U gornjem levom uglu se nalazi panel za definisanje minimalnih i maksimalnih vrednosti intenziteta piksela na snimku, kao i taster „*RESETOVANJE PARAMETARA*“. Na ovaj način se vrši segmentacija, odnosno ekstrakcija objekta od interesa sa CT snimka.

U okviru ovog dijaloga se takođe nalazi i histogram slike koji korisniku omogućava analizu rasporeda intenziteta piksela, i to u realnom vremenu za svaku sliku zasebno. Na ovaj način mogu da se definišu prethodno spomenuti parametri za segmentaciju.

Pored toga, na raspolaganju je još nekoliko alata koji omogućavaju drugačiji grafički prikaz, a tiču se definisanja rezultata segmentacije koji mogu biti prikazani u binarnom prikazu, ili inverznom prikazu (menja se intenzitet binarne 2D slike, i to crno-belo u belo-crno). Na ovaj način se može definisati prikaz radi lakše interpretacije rezultata. Pored toga, omogućena su još tri načina prikaza rezultata segmentacije, a to su:

- Slika u RGB domenu (slika u boji);
- Binarna slika;
- Maskirana slika (slika sa definisanim 2D granicama kao maskama).



Slika 10. Grafički prikaz dijalog okvira za segmentaciju CT snimaka primenom Otsu metode

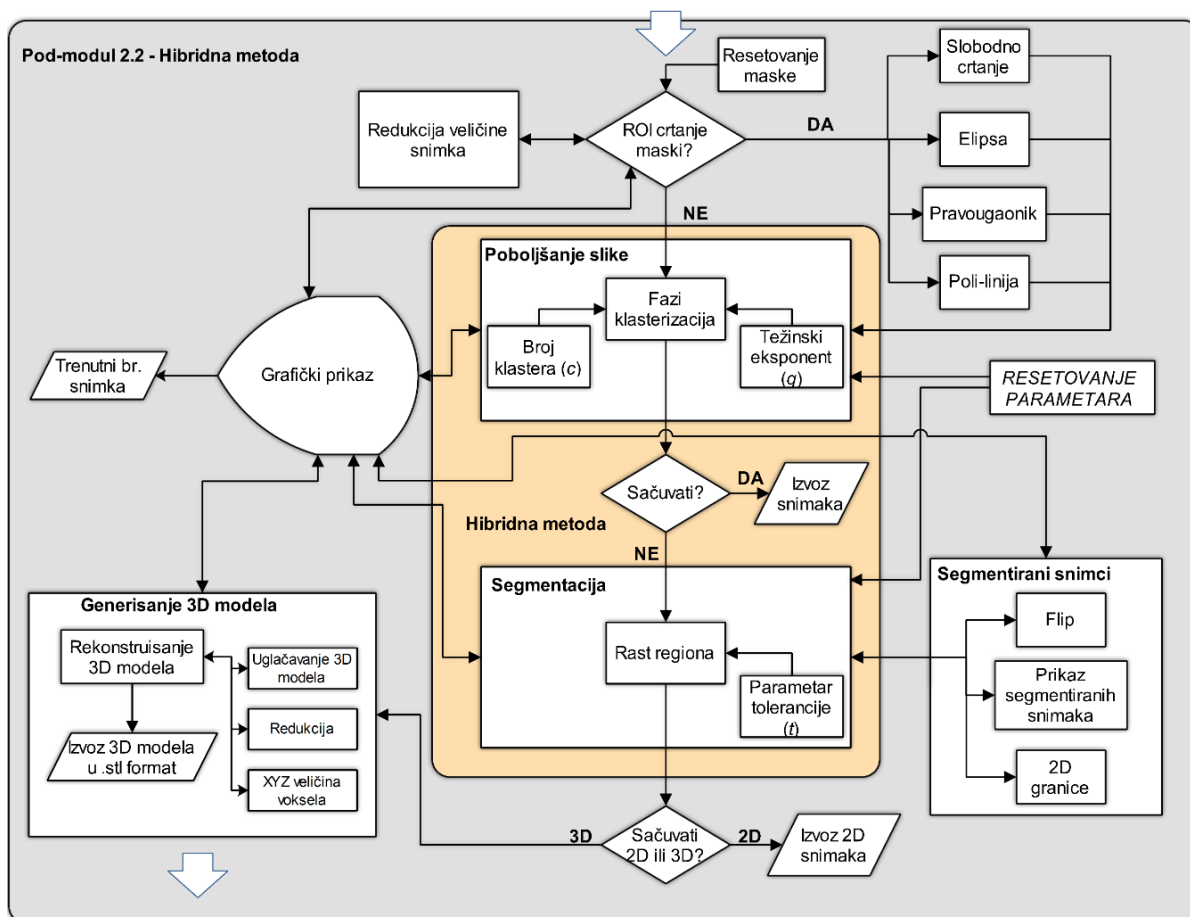
### 5.3.2.2 Panel za segmentaciju primenom hibridnog pristupa

Grafički dijalog okvir u softveru ProSEG3D za segmentaciju CT snimaka primenom hibridnog pristupa (koji je predstavljen u potpoglavlju 5.2.1) obuhvata četiri osnovne procedure:

1. ROI crtanje maski;
  - 1.1. Redukovanje veličine slike – ukoliko je učitani skup 3D snimaka veliki, i ukoliko su hardverske performanse računara na kojem se vrši segmentacija slika slabe, ova podprocedura omogućava redukciju ulaznog skupa slika za unapred definisani faktor (2x, 3x,...);
2. Pобољшanje slike;
3. Segmentacija;
  - 3.1. Segmentirani snimci – u okviru ove podprocedure su omogućena tri alata za manipulaciju generisanih binarnih 2D slika i prikaz segmentiranih granica;
4. Generisanje 3D modela.

U okviru navedene četiri procedure korisnik se intuitivno navodi kroz ceo postupak obrade, segmentacije i generisanja površinskog 3D modela. Slika 11 prikazuje međusobni odnos unutar pod-modula za segmentaciju primenom hibridne metode.





Slika 11. Međusobni odnosi unutar pod-modula za segmentaciju CT snimaka primenom hibridne metode

Na završetku svake od procedura sadržana je opcija da se sačuva trenutni rezultat u vidu procesiranih snimaka u nekom od grafičkih zapisa slike (\*.tif, \*.jpg, \*.png i dr.). Korisnik takođe može u ovom dijalog okviru da pregleda učitane slike koje se nalaze prikazane u panelu predviđenom za grafički prikaz lociran sa desne strane dijalog okvira.

U okviru prve procedure pruža se mogućnost da se izabere jedan od četiri ponuđena načina za definisanje regiona od interesa (Slika 12):

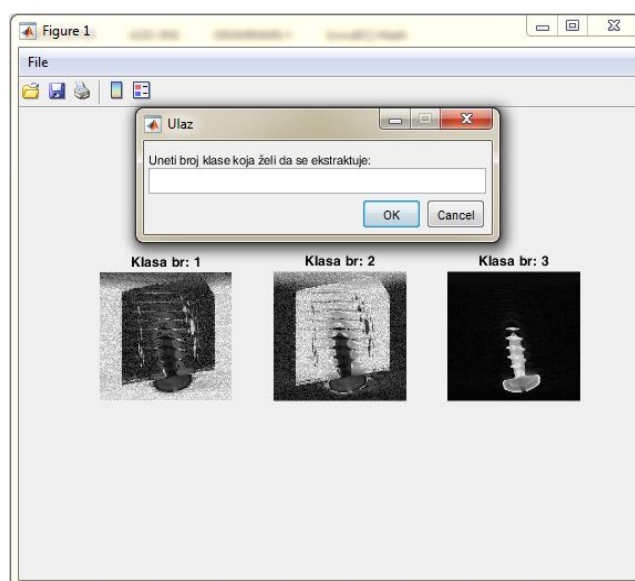
- slobodno crtanje,
- crtanje elipse,
- crtanje pravougaonika i
- crtanje poli-linijom.

Ukoliko nije potrebno definisati region od interesa, njegova selekcija se može jednostavno isključiti selekcijom opcije „Deaktivirano“. Podrazumevana selekcija regiona od interesa je podešena na „Deaktivirano“ prilikom ulaska u ovaj pod-modul. Unutar ove procedure na raspolaganju je mogućnost redukcije veličine slike, odnosno smanjenje rezolucije CT snimaka. Ovo može biti od posebnog značaja kod obrade velikog skupa snimaka visoke rezolucije na računarima slabijih hardverskih karakteristika.



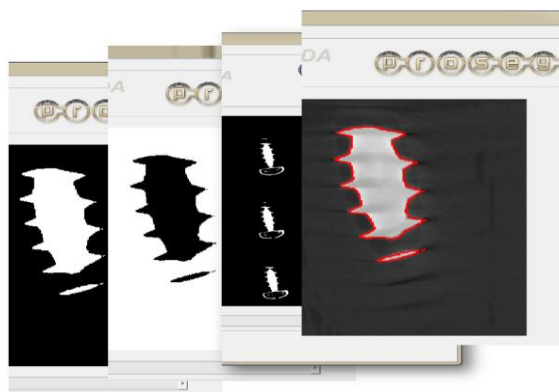
Slika 12. Grafički prikaz dijaloga okvira za segmentaciju CT snimaka primenom hibridne metode

Sledeća procedura se odnosi na poboljšanje slike. U okviru nje se primenjuje metoda fazi klasterizacije za poboljšanje učitanih CT snimaka. Od korisnika se traži da definiše dva parametra, a to su broj klastera ( $c$ ) i težinski eksponent ( $q$ ). Nakon definisanja ovih parametara pojavljuje se novi dijalog okvir, prikazan na slici 13, u okviru kojeg je potrebno izabrati broj klase koja treba da se ekstrahuje. Broj klasa koje će biti ponuđene korisniku za izbor zavisi od definisanog broja klastera (primer: ukoliko korisnik definiše parametar  $c=3$ , broj ponuđenih klasa će biti tri). Nakon toga će u glavnom prozoru za grafički prikaz biti prikazani CT snimci na kojima su primenjeni ovi parametri kod metode fazi klasterizacije.



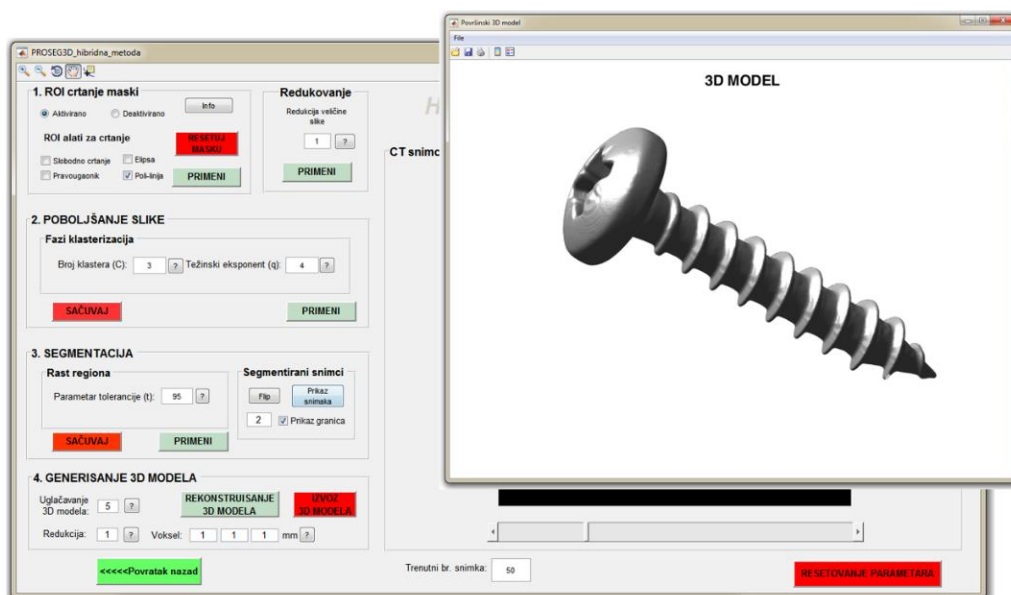
Slika 13. Grafički prikaz dijaloga okvira za selekciju klase

Treća procedura se tiče segmentacije, odnosno binarizacije poboljšanih CT snimaka primenom metode rasta regiona. U njoj je potrebno definisati parametar tolerancije ( $t$ ). U okviru ove procedure se takođe nalazi jedna podprocedura u okviru koje se mogu izvršiti tri dodatne radnje, a to su okretanje intenziteta segmentiranih snimaka (tzv. *flip* funkcija), prikaz svih segmentiranih snimaka u glavnom prozoru za grafički prikaz i generisanje segmentiranih 2D granica na skupu 3D snimaka što je prikazano na slici 14. Na ovaj način se omogućuje pregled segmentiranih snimaka, kao i kvalitet izvršene segmentacije pre nego što se pređe na sledeći korak.



Slika 14. Grafički prikaz dijalog okvira za manipulaciju segmentiranih snimaka, „flip“ intenziteta segmentiranih snimaka, prikaz svih segmentiranih CT snimaka i njihovih 2D granica

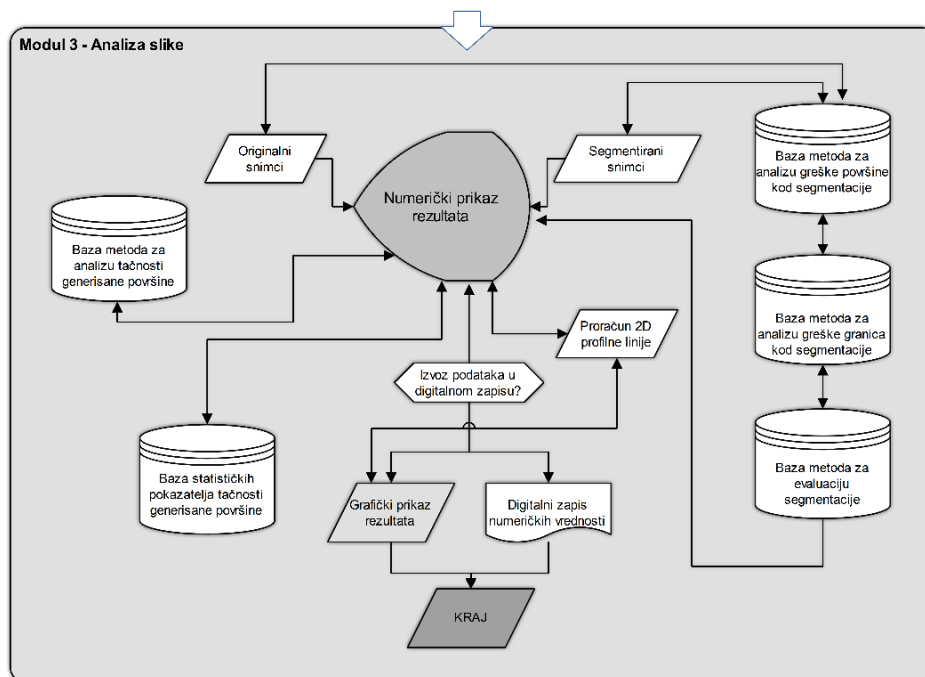
Četvrta procedura koja je prikazana na slici 15 realizuje generisanje površinskog 3D modela na osnovu segmentiranih 2D CT snimaka. Definišu se parametri uglašavanja 3D modela, redukcije i XYZ vrednosti vokselu gde se zatim selekcijom tastera „*REKONSTRUKCIJA 3D MODELA*“ generiše površinski 3D model. Nakon generisanja površinskog 3D modela selektuje se taster *IZVOZ 3D MODELA* kako bi se realizovao izvoz 3D modela u \*.stl formatu zapisa.



Slika 15. Grafički prikaz dijalog okvira za segmentaciju CT snimaka primenom hibridnog modela i rekonstrukcije površinskog 3D modela

### 5.3.3 Podsystem za analizu slike i grafički prikaz rezultata

Modul za analizu slike je zasnovan na primeni savremenih metoda za analizu. Imajući u vidu kompleksnost integrisanih analiza, u okviru ovog podsystema su implementirana detaljna objašnjenja zadržavanjem računarskog miša preko malih tastera za pomoć prikazanih u vidu upitnika (?) o primeni određene metode ili funkcije i koja je njena uloga. Slika 16 prikazuje međusobne odnose unutar modula, a grafički prikaz ovog modula je prikazan na slici 17.



Slika 16. Međusobni odnosi unutar modula 3: Analiza slike

**PROSEG3D ANALIZA SLIKE**

**ULAZNI PODACI:**

REFERENTNI SNIMCI    SEGMENTIRANI SNIMCI

Info

**Podaci o zapremini:**

Nominalna zapremina 3D modela: 540 ?

Izmerena zapremina 3D modela: 538 ?

**Tačnost generisane površine:**

Apsolutna greška: 2.0000

Relativna greška: 0.0037

Procentualna greška: 0.3704

**Izračunaj**

Odobriti 2D sliku za analizu: ?

**Izračunati profilnu 2D liniju ?**

**Rezultati:**

Redni indeks	Dajsov koeficijent	Hausdorfova udaljenost
1	0.0152	0.0168
2	0.0384	0.0426
3	0.1112	0.1232
4	0	0
5	0.2712	0.3005
6	0.3672	0.4069
7	0.4832	0.5355
8	0.5632	0.6241
9	0.5464	0.6055
10	0.5280	0.5851
11	0.5224	0.5789
12	0.5768	0.6392
13	0.6152	0.6817
14	0.6464	0.7183
15	0.6504	0.7207
16	0.6608	0.7323
17	0.6816	0.7553
18	0.7096	0.7863
19	0.7040	0.7801
20	0.7008	0.7786

**METODE ZA ANALIZU SLIKE**

**Greška površine:**

☒ Zakarov indeks

☒ Dajsov koeficijent

**Greška granica:**

☒ Hausdorfova udaljenost

**Evaluatori:**

☐ Tačnost

☐ Preciznost

☐ Osetljivost

☐ Specifičnost

**Selekcija metoda:**

**SVE**    **NIŠTA**

**IZVRŠI ANALIZU!**

**Izvoz rezultata**

**SAČUVAJ**

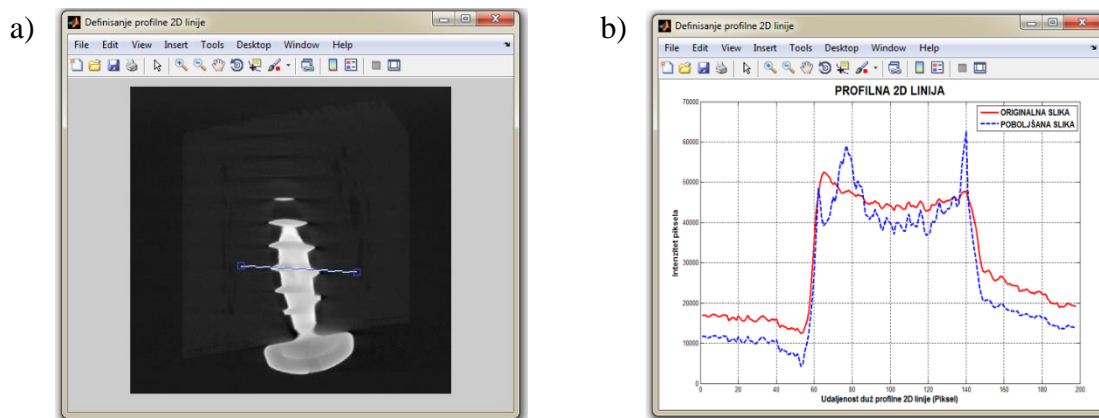
**Grafički prikaz**    **Histogram**

**<<<<Povratak nazad**

Slika 17. Grafički prikaz dijalog okvira za analizu slike

Dijalog okvir za analizu slike, prikazan na slici 17, je kreiran tako da navodi korisnika na izvršenje svih neophodnih procedura kako bi se uspešno sprovela analiza slike, a što uključuje:

- *Uvoz referentnih i segmentiranih snimaka:*  
Omogućava učitavanje referentnih binarnih snimaka, kao i snimaka generisanih u ProSEG3D softveru kako bi se sprovela dalja analiza.
- *Analiza tačnosti generisane površine:*  
Mogućnost da se izračuna greška površine primenom statističkih pokazatelja (Žakarov indeks, Dajsov koeficijent, Tanimotov koeficijent, Hausdorfova udaljenost, Tačnost, Preciznost, Osetljivost i Specifičnost). Od korisnika se traži da unese referentnu vrednost zapremine (zapremina CAD modela) i izmerenu vrednost zapremine 3D modela. Ovaj 3D model može biti generisan u pod-modulu 2 primenom hibridnog modela, Otsu metode, ili vrednost može biti uneta na osnovu 3D modela generisanog primenom nekog drugog softvera. Nakon što se unesu vrednosti nominalne i izračunate zapremine, selekcijom tastera „Izračunaj“ dobijaju se vrednosti apsolutne, relativne i procentualne greške zapremine 3D modela.
- *Analiza pojedinačnih snimaka pomoću 2D profilne linije:*  
Primena 2D profilne linije omogućava realizaciju analize pojedinačnog CT snimka definisanjem njegovog broja u naznačeno polje pod nazivom „Odabрати 2D sliku za analizu“ i zatim selekcijom tastera „Izračunati profilnu 2D liniju“. Nakon toga se otvara novi dijalog okvir gde je potrebno definisati 2D liniju na odabranom CT snimku što je prikazano na slici 18a. Nakon toga se otvara drugi dijalog okvir sa prikazom rezultata 2D profilne linije u vidu 2D plota intenziteta piksela duž profilne 2D linije, prikazano na slici 18b.



Slika 18. Prikaz: a) definisanja 2D profilne linije na odabranom CT snimku i b) 2D plot intenziteta piksela duž profilne 2D linije

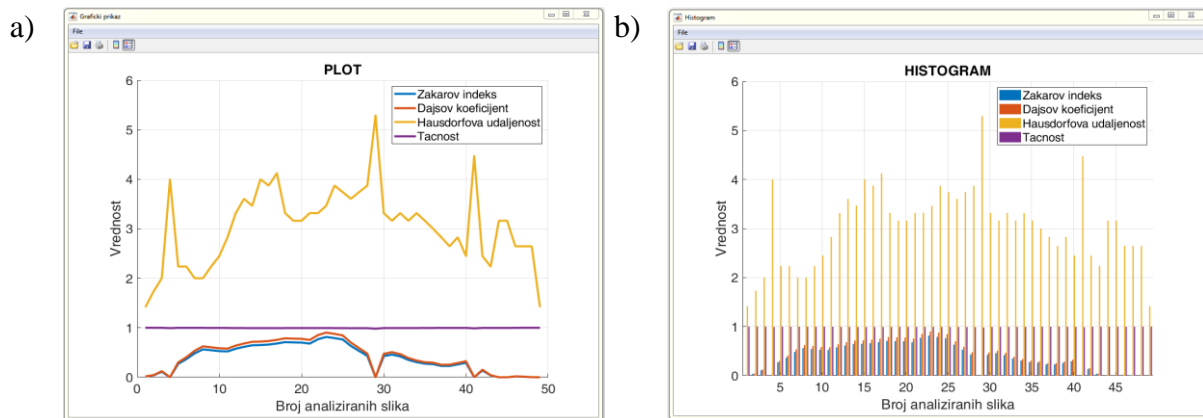
- *Primena metoda za analizu slike:*

U okviru metoda za analizu slike integrisane su tri osnovne grupe metoda:

- 1) Metode za analizu greške površine;
- 2) Metode za analizu greške granica;
- 3) Evaluatori uspešnosti klasifikacije.

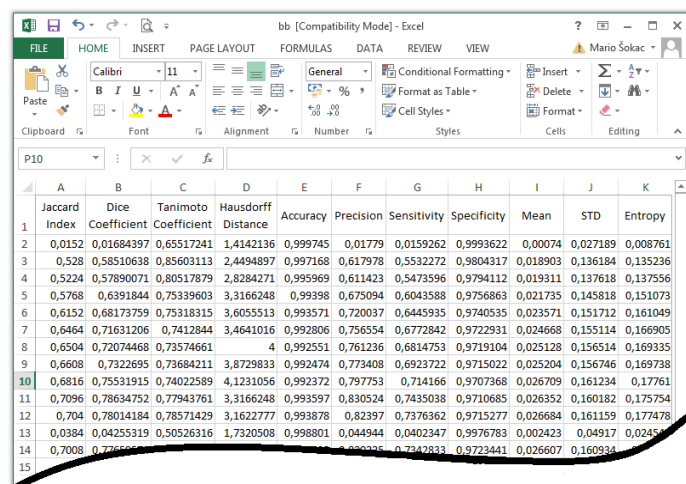
Procedura nudi mogućnost da se selektuju metode koje su pogodne za sprovođenje i evaluaciju konkretnih slučajeva. Nakon selekcije, potrebno je takođe selektovati taster „IZVRŠI ANALIZU“, na osnovu čega će se rezultati prikazati u glavnoj tabeli „Rezultati:“.

- *Selekcija metoda za analizu slike:*  
Korisnik ima opciju da selektuje sve metode ukoliko želi da ih uključi u analizu.
- *Numerički prikaz rezultata:*  
Korisniku se takođe nudi i opcija grafičkog prikaza rezultata prikazanih u glavnoj tabeli „Rezultati:“.
- *Grafički prikaz rezultata:*  
Prikaz rezultata može biti u vidu histograma i kao grafički prikaz u vidu plot koji se selektuju na tasteru „Grafički prikaz“ (Slika 19a) i „Histogram“ (Slika 19b).



Slika 19. Grafički prikaz rezultata u vidu a) plot i b) histograma

- *Memorisanje rezultata u \*.xls datoteku:*  
Kao finalni vid distribucije rezultata analize, omogućen je izvoz rezultata u vidu Excel-ove datoteke u \*.xls formatu zapisa. Slika 20 prikazuje izvoz rezultata analize slike u \*.xls datoteku.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Jaccard Index	Dice Coefficient	Tanimoto Coefficient	Hausdorff Distance	Accuracy	Precision	Sensitivity	Specificity	Mean	STD	Entropy
1											
2	0,0152	0,01684397	0,65517241	1,4142136	0,999745	0,01779	0,0159262	0,9993622	0,00074	0,027189	0,008761
3	0,528	0,58510638	0,85603113	2,4494897	0,997168	0,617978	0,5532272	0,9804317	0,018903	0,136184	0,135236
4	0,5224	0,57890071	0,80517879	2,8284271	0,995969	0,611423	0,5473596	0,9794112	0,019311	0,137618	0,137556
5	0,5768	0,6391844	0,75339603	3,3166248	0,99398	0,675094	0,6043588	0,9756863	0,021735	0,145818	0,151073
6	0,6152	0,68173759	0,753318315	3,6055513	0,993571	0,720037	0,6445935	0,9740535	0,023571	0,151712	0,161049
7	0,6464	0,71631206	0,7412844	3,4641016	0,992806	0,756554	0,6772842	0,9722931	0,024668	0,155114	0,166905
8	0,6504	0,72074468	0,73574661	4	0,992551	0,761236	0,6814753	0,9719104	0,025128	0,156514	0,169335
9	0,6608	0,7322695	0,73684211	3,8729833	0,992474	0,773408	0,6923722	0,9715022	0,025204	0,156746	0,169738
10	0,6816	0,75531915	0,74022589	4,1231056	0,992372	0,797753	0,714166	0,9707368	0,026709	0,161234	0,17761
11	0,7096	0,78634752	0,77943761	3,3166248	0,993597	0,830524	0,7435038	0,9710685	0,026352	0,160182	0,175754
12	0,704	0,78014184	0,78571429	3,1622777	0,993878	0,82397	0,7376362	0,9715277	0,026684	0,161159	0,177478
13	0,0384	0,04255319	0,50526316	1,7320508	0,998801	0,044944	0,0402347	0,9976783	0,002423	0,04917	0,0245
14	0,7008	0,77659915	0,753318315	3,6055513	0,993571	0,720037	0,6445935	0,9740535	0,023571	0,151712	0,161049
15											

Slika 20. Izvoz rezultata analize slike u \*.xls datoteku

## 6. ZAKLJUČAK

Na osnovu postojećih metoda i softvera za segmentaciju CT snimaka, u okviru ovog tehničkog rešenja je razvijen model i propratni softver baziran na hibridnom principu sa ciljem tačnije segmentacije, redukcije artefakata i dobijanja tačnijih površinskih 3D modela. Model za segmentaciju CT snimaka karakteriše inovativni hibridni pristup baziran na kombinaciji dve metode za obradu slike, a to su fazi klasterizacija i rast regiona.

Razvijeni softver predstavlja intuitivno rešenje koje poseduje fleksibilni korisnički interfejs i mogućnosti izbora odgovarajuće metode za segmentaciju, kao i sprovođenje adekvatne analize slike u okviru odgovarajućeg modula. Korisničko uputstvo u obliku dokumenta sa opisom ProSEG3D softvera pruža pomoć korisnicima kojima je potrebno detaljnije objašnjenje pojedinih funkcija softvera, kao i pomoć novim korisnicima.

## 7. LITERATURA

- [1] ISO 15708-2:2018; Non-destructive testing – Radiation methods for computed tomography – Part 2: Principles, equipment and samples, 2018.
- [2] L. De Chiffre, S. Carmignato, J.-P. Kruth, R. Schmitt, A. Weckenmann: Industrial applications of computed tomography, CIRP Annals, vol. 63, no. 2, pp. 655–677, 2014.
- [3] J. Hsieh: Computed tomography: principles, design, artifacts, and recent advances. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009.
- [4] F. Welkenhuyzen: Investigation of the accuracy of an X-ray CT scanner for dimensional metrology with the aid of simulations and calibrated artifacts, Doktorska disertacija, KU Leuven, Holandija, 2016.
- [5] C. Heinz: Analysis and Visualization of Industrial CT Data, Doktorska disertacija, Institut za kompjutersku grafiku i algoritme, Tehnički Univerzitet Beč, Austrija, 2008.
- [6] F. E. Boas, D. Fleischmann: CT artifacts: causes and reduction techniques, Imaging in Medicine, vol. 4, no. 2, pp. 229–240, 2012.
- [7] P. Müller: Coordinate Metrology by Traceable Computed Tomography, Doktorska disertacija, Tehnički Univerzitet u Danskoj, 2012.



- [8] C. Heinzl, J. Kastner, B. Georgi, H. Lettenbauer: Comparison of surface detection methods to evaluate cone beam computed tomography data for three dimensional metrology, *International Symposium on Digital industrial Radiology and Computed Tomography - DIR 2007*, 25 – 26.07., Lion, Francuska, 2007, pp. 21–29.
- [9] M. Sokac, Z. Santosi, D. Vukelic, M. Katic, M.N. Durakbasa, I. Budak: Enhancement of Images from Industrial X-Ray Computed Tomography Systems by Hybrid Approach, *Proceedings of the International Symposium for Production Research 2019 - ISPR 2019*, 28 - 30.08., Beč, Austrija, 2019, pp. 138–146.
- [10] S. Ontiveros, J. A. Yagüe, R. Jiménez, F. Brosed: Computer Tomography 3D Edge Detection Comparative for Metrology Applications, *Procedia Engineering*, vol. 63, no. 2010, pp. 710–719, 2013.
- [11] C. Heinzl, J. Kastner, E. Gröller: Surface Extraction from Multi-Material Components for Metrology using Dual Energy CT, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 13, no. 6, pp. 1520–1527, Nov. 2007.
- [12] T. Fujimori, H. Suzuki: Surface Extraction from Multi-material CT Data, *IEEE Ninth International Conference on Computer Aided Design and Computer Graphics (CAD-CG'05)*, 07 – 10.05., Hong Kong, Kina, 2005, pp. 1–6.
- [13] M. Haitham Shammaa, Y. Ohtake, H. Suzuki: Segmentation of multi-material CT data of mechanical parts for extracting boundary surfaces, *Computer-Aided Design*, vol. 42, no. 2, pp. 118–128, 2010.
- [14] M. Sokac, I. Budak, M. Katic, Z. Jakovljevic, Z. Santosi, D. Vukelic: Improved surface extraction of multi-material components for single-source industrial X-ray computed tomography, *Measurement*, vol. 153, pp. 107438, 2020.
- [15] F. Borges de Oliveira, A. Stolfi, M. Bartscher, L. De Chiffre, U. Neuschaefer-Rube: Experimental investigation of surface determination process on multi-material components for dimensional computed tomography, *Case Studies in Nondestructive Testing and Evaluation*, vol. 6, pp. 93–103, 2016.
- [16] R. Jimenez, C. Comps, J. A. Yague: An Optimized Segmentation Algorithm for the Surface Extraction in Computed Tomography for Metrology Applications, *Procedia Engineering*, vol. 132, pp. 804–810, 2015.
- [17] Y. Nagai, Y. Ohtake, H. Suzuki: SegMo: CT volume segmentation using a multi-level Morse complex, *Computer-Aided Design*, vol. 107, pp. 23-26, 2019.
- [18] J. A. Yagüe-Fabra, S. Ontiveros, R. Jiménez, S. Chitchian, G. Tosello, S. Carmignato: A 3D edge detection technique for surface extraction in computed tomography for dimensional metrology applications, *CIRP Annals*, vol. 62, no. 1, pp. 531–534, 2013.
- [19] M. Sokac, D. Vukelic, Z. Jakovljevic, Z. Santosi, M. Hadzistevic, I. Budak: Fuzzy Hybrid Method for the Reconstruction of 3D Models Based on CT/MRI Data, *Strojniški Vestnik – Journal of Mechanical Engineering*, vol. 65, no. 9, pp. 482-494, 2019.
- [20] A. Townsend, L. Pagani, L. Blunt, P. J. Scott, X. Jiang: Factors affecting the accuracy of areal surface texture data extraction from X-ray CT, *CIRP Annals*, vol. 66, no. 1, pp. 547–550, 2017.
- [21] T. Kowaluk, A. Wozniak: A new threshold selection method for X-ray computed tomography for dimensional metrology, *Precision Engineering*, vol. 50, pp. 449–454, Oct. 2017.
- [22] A. Amirkhanov, C. Heinzl, M. Reiter, J. Kastner, M. E. Gröller: Projection-based metal-artifact reduction for industrial 3D X-ray computed tomography, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 17, no. 12, pp. 2193–2202, 2011.



- [23] H. Park J. Choi, K. Park, K. Kim, S. Lee, J. Ye, J. Seo: Metal artifact reduction in CT by identifying missing data hidden in metals, *Journal of X-Ray Science and Technology*, vol. 21, no. 3, pp. 357–372, 2013.
- [24] Y. Chen, Y. Li, H. Guo, Y. Hu, L. Luo, X. Yin, J. Gu, C. Toumoulin: CT Metal Artifact Reduction Method Based on Improved Image Segmentation and Sinogram In-Painting, *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2012, pp. 1–19, 2012.
- [25] U. Heil, D. Gross, R. Schulze, U. Schwanecke, E. Schomer, Metal artifact reduction in x-ray computed tomography: inpainting versus missing value, *IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference*, 23 – 29.10., Sidnej, Australija, 2011, pp. 2675–2677.
- [26] A. Mehranian, M. R. Ay, A. Rahmim, H. Zaidi: Sparsity Constrained Sinogram Inpainting for Metal Artifact Reduction in X-ray Computed Tomography, *IEEE Nuclear Science Symposium Conference*, 29.10. – 03.11. Anahajm, Kalifornija, SAD, 2011, pp. 3694–3699.
- [27] Z. Tang, G. Hu, H. Zhang: Efficient Metal Artifact Reduction Method Based on Improved Total Variation Regularization, *Journal of Medical and Biological Engineering*, vol. 34, no. 3, pp. 261–268, 2013.
- [28] K. Van Slambrouck, J. Nuyts: Metal artifact reduction in computed tomography using local models in an image block-iterative scheme, *Medical Physics*, vol. 39, no. 11, pp. 7080–7093, 2012.



УНИВЕРЗИТЕТ  
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ  
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија  
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централна: 021 485 2000  
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763  
Телефакс: 021 458-133; e-mail: [ftndeap@uns.ac.rs](mailto:ftndeap@uns.ac.rs)

ИНТЕГРИСАНИ  
СИСТЕМ  
МЕНАДЖМЕНТА  
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: \_\_\_\_\_

Ваш број: \_\_\_\_\_

Датум: \_\_\_\_\_

### ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 37. редовној седници одржаној дана 22.1.2020. године, донело је следећу одлуку:

**-непотребно изостављено-**

#### **ТАЧКА 14. Питања научноистраживачког и уметничкоистраживачког рада и међународне сарадње**

Тачка 14.1.1: У циљу верификације новог техничког решења усвајају се рецензенти:

1. Др Слободан Митровић, редовни професор, Факултет инжењерских наука, Крагујевац
2. Др Горан Шимуновић, редовни професор, Стројарски факултет, Славонски Брод

Назив техничког решења:

#### **„ПРОГРАМСКИ СИСТЕМ ЗА СЕГМЕНТАЦИЈУ СНИМАКА ГЕНЕРИСАНИХ ПРИМЕНОМ КОМПЈУТЕРИЗОВАНЕ ТОМОГРАФИЈЕ“**

Аутори: Марио Шокац, Игор Будак, Живана Јаковљевић, Ђорђе Вукелић, Жељко Сантоши.

**-непотребно изостављено-**

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл.правник

Тачност података оверева:  
Секретар

Иван Нешковић, дипл.правник



Декан

Проф.др Раде Дорословачки

Dr Slobodan Mitrović, redovni profesor  
Univerzitet u Kragujevcu  
Fakultet inženjerskih nauka  
Sestre Janjić br. 6  
34000 Kragujevac  
Republika Srbija

## **RECENZIJA TEHNIČKOG REŠENJA**

Odlukom Nastavno-naučnog veća Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu na 38. redovnoj sednici održanoj dana 28.01.2020. godine imenovana sam za recenzenta tehničkog rešenja "Programski sistem za segmentaciju snimaka generisanih primenom kompjuterizovane tomografije", čiji su autori:

- Dr Mario Šokac, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka
- Dr Igor Budak, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka
- Dr Živana Jakovljević, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet
- Dr Đorđe Vukelić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka
- Mast. inž. maš. Željko Santoši, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka

Tehničko rešenje "Programski sistem za segmentaciju snimaka generisanih primenom kompjuterizovane tomografije", realizovano 2020. godine opisano je na 25 strana. Sadrži 20 slika i 28 referenci. Sastoji se od 7 poglavlja. Naslovi poglavlja su:

1. Oblast na koju se tehničko rešenje odnosi,
2. Opis problema koji se rešava tehničkim rešenjem,
3. Prikaz i analiza postojećih rešenja problema,
4. Suština tehničkog rešenja,
5. Detaljan opis tehničkog rešenja,
6. Zaključak,
7. Literatura

Tehničko rešenje pripada polju tehničko-tehnoloških nauka i naučnoj oblasti mašinsko inženjerstvo.



Naručilac i korisnik tehničkog rešenja je Wisil M, Novi Beograd, Republika Srbija.

Tehničko rešenje je realizovano u okviru naučno-istraživačkog projekta projekta "Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupaka izrade dentalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarom podržanih sistema" finansiranom od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja u oblasti tehnološkog razvoja.

Tehničko rešenje je publikovano u jednom radu u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21), jednom radu u međunarodnom časopisu (M23) i jednom radu na međunarodnom skupu (M33):

1. M. Sokac, I. Budak, M. Katic, Z. Jakovljevic, Z. Santosi, D. Vukelic: Improved surface extraction of multi-material components for single-source industrial X-ray computed tomography, Measurement, vol. 153, 107438, 2020. (M21)
2. M. Sokac, D. Vukelic, Z. Jakovljevic, Z. Santosi, M. Hadzistevic, I. Budak: Fuzzy Hybrid Method for the Reconstruction of 3D Models Based on CT/MRI Data, Strojnicki Vestnik – Journal of Mechanical Engineering, Vol. 65, No. 9, pp. 482-494, 2019. (M23)
3. M. Sokac, Z. Santosi, D. Vukelic, M. Katic, M.N. Durakbasa, I. Budak: Enhancement of Images from Industrial X-Ray Computed Tomography Systems by Hybrid Approach, International Symposium for Production Research - ISPR, 28.-30.08., 2019, pp. 138–146. (M33)

Tehničko rešenje, u vidu programskog sistema za segmentaciju snimaka generisanih primenom kompjuterizovane tomografije, je bazirano na hibridnom principu gde je izvršena kombinacija dve metode za obradu slike, a to su metoda fazi klasterizacije i metoda rasta regiona. Cilj ove kombinacije jeste redukcija nastalih artefakata i dobijanja tačnijih rezultata segmentacije što za uzvrat doprinosi i dobijanju dimenzionalno tačnijih površinskih 3D modela.

Poboljšanje prilikom segmentacije i ekstrakcije objekata od interesa se ogleda, prvo, pojačanjem kontrasta između geometrijskih entiteta na CT snimcima (metoda fazi klasterizacije), gde se vrši klasifikacija piksela od interesa. Segmentacija se vrši primenom metode rasta regiona. U okviru ove metode je takođe razvijen novi pristup za definisanje centra inicijalnog piksela, i taj pristup je baziran na standardnoj devijaciji intenziteta piksela.

Hibridni model za segmentaciju CT snimaka je modularne strukture i sastoji se od tri glavna modula, a to su Modul za unos podataka, Modul za segmentaciju koji se sastoji iz dva pod-modula (Otsu metoda i hibridna metoda za segmentaciju) i Modul za analizu slike.

Pod-modul za segmentaciju primenom hibridne metode predstavlja centralni deo hibridnog modela. Metode korišćene u okviru razvijene hibridne metode su izabrane iz razloga što njihova kombinacija doprinosi poboljšanoj segmentaciji i ekstrakciji ivica različitih objekata prisutnih na CT snimcima.

Realizovani softver sastoji se iz glavnog dijaloga okvira iz kojeg se pozivaju pomoćni dijalog okviri, koji su razvijeni na bazi tri programska podsistema za unos ulaznih podataka, segmentaciju učitanih CT snimaka, kao i analizu i grafički prikaz rezultata segmentacije primenom statističkih metoda i evaluatora.

Podsistem za unos podataka omogućava uvoz CT snimaka koji su predmet segmentacije i na osnovu kojih se želi generisati površinski 3D model.

Podsistem za izbor metode za segmentaciju ulaznih podataka omogućava da se odabere način na koji želi da se izvrši segmentacija učitanih CT snimaka primenom nekih od ponuđenih metoda. Prva metoda je Otsu metoda koja se može koristiti kod jednostavnijih slučajeva, kao i kod slučajeva gde su granice objekata prisutnih na CT snimcima jasno vidljive. Dok je druga metoda, koja je integrisana u ovaj softver, hibridna metoda za segmentaciju.

Podsistem za analizu slike i grafički prikaz rezultata je zasnovan na primeni savremenih metoda za analizu u okviru kojeg su implementirana detaljna objašnjenja za njihovu primenu.

## **MIŠLJENJE I ZAKLJUČAK**

Analizom dostavljene dokumentacije za tehničko rešenje pod nazivom "Programski sistem za segmentaciju snimaka generisanih primenom kompjuterizovane tomografije" može se konstatovati sledeće:

- Kompletna struktura tehničkog rešenja je jasna i koncizna. Dokumentacija sadrži: autore rešenja, ključne reči, naziv tehničkog rešenja, oblast na koju se tehničko rešenje odnosi, godinu kada je rešenje urađeno, problem koji se tehničkim rešenjem rešava, stanje rešenosti tog problema, objašnjenje suštine tehničkog rešenja, detaljan opis sa karakteristikama, način realizacije i primene tehničkog rešenja;
- Inovativno tehničko rešenje poseduje primenljivost u nacionalnim razmerama i ima vrednost iskazanu kroz komercijalni potencijal;
- Tehničko rešenje je izvedeno kao softver i doprinosi rekonstrukciji dimenzionalno tačnijih zapreminskih modela, odnosno tačnijim rezultatima merenja geometrijskih veličina na osnovu učitanih CT snimaka;



- Razvijeni softver predstavlja intuitivno rešenje koje poseduje fleksibilni korisnički interfejs i mogućnosti izbora odgovarajuće metode za segmentaciju, kao i sprovođenje adekvatne analize slike u okviru odgovarajućeg modula.

Na osnovu predhodnog, predlažem Nastvno-naučnom veću Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu da se "Programski sistem za segmentaciju snimaka generisanih primenom kompjuterizovane tomografije" prihvati kao novo tehničko rešenje i da se u skladu sa Pravilnikom o postupku, načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača ("Sl. glasnik RS", br. 24/2016 i 21/2017) klasifikuje kao rezultat **"M82 - Novo tehničko rešenje primenjeno na nacionalnom nivou"**.

Kragujevac, 06.02.2020.

Prof. dr Slobodan Mitrović



Prof. dr. sc. Goran Šimunović

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu

Slavonski Brod HR-35000, Trg Ivane Brlić Mažuranić 2, Republika Hrvatska

Odlukom Naučno-nastavnog veća Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu na 38. redovnoj sjednici održanoj dana 28.01.2020. godine imenovan sam za recenzenta tehničkog rješenja "Programski sistem za segmentaciju snimaka generisanih primenom kompjuterizovane tomografije", autora: dr.sc. Maria Šokca, dr.sc. Igora Budaka, dr.sc. Živane Jakovljević, dr.sc. Đorđa Vukelića i Željka Santošija, mast. inž. maš.

Na temelju priložene dokumentacije tehničkog rješenja i „Pravilnika o postupku, načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača" (Službeni glasnik RS, broj: 24/2016 i 21/2017) podnosim sljedeći

## **IZVJEŠTAJ**

Autori tehničkog rješenja su pripremili tekstualnu dokumentaciju na ukupno 25 stranica.

Dokumentacija tehničkog rješenja sadrži: naziv tehničkog rješenja, autore tehničkog rješenja, ključne riječi, oblast i disciplinu na koju se tehničko rješenje odnosi, naručitelja i korisnika tehničkog rješenja, godinu kada je rješenje izrađeno, podatke o projektu u okviru koga je realizirano tehničko rješenje, opis problema koji se tehničkim rješenjem rješava, stanje riješenosti problema, objašnjenje suštine tehničkog rješenja, detaljan opis s karakteristikama, način realizacije i primjene tehničkog rješenja u vidu rezultata.

Dokumentacija tehničkog rješenja se sastoji iz sljedećih poglavlja: Oblast na koju se tehničko rješenje odnosi, Opis problema koji se rješava tehničkim rješenjem, Prikaz i analiza postojećih rješenja problema, Suština tehničkog rješenja, Detaljan opis tehničkog rješenja, Zaključak i Literatura.

Tehničko rješenje pripada oblasti proizvodnog strojarstva (mašinskog inženjerstva).

Tehničko rješenje je realizirano u okviru projekta "Istraživanje i razvoj metoda modeliranja i postupaka izrade dentalnih nadoknada primenom savremenih tehnologija i računarom podržanih sistema" (Broj projekta: TR35020, Voditelj



projekta: dr Đorđe Vukelić) koga financira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Tehničko rješenje ima stručnu i praktičnu komponentu, s obzirom da je uspješno testirano i implementirano u praksi. Naručitelj i korisnik tehničkog rješenja je Wisil M, Nehruova 44/4, 11070 Novi Beograd, Republika Srbija.

Tehničko rješenje pored stručne komponente, pruža originalan teorijski i znanstveno-istraživački doprinos.

Dijelovi istraživanja u toku realizacije tehničkog rješenja publicirani su u tri članka, i to:

- M. Sokac, I. Budak, M. Katic, Z. Jakovljevic, Z. Santosi, D. Vukelic: Improved surface extraction of multi-material components for single-source industrial X-ray computed tomography, *Measurement*, vol. 153, 107438, 2020. (M21)
- M. Sokac, D. Vukelic, Z. Jakovljevic, Z. Santosi, M. Hadzistevec, I. Budak: Fuzzy Hybrid Method for the Reconstruction of 3D Models Based on CT/MRI Data, *Strojniski Vestnik – Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 65, No. 9, pp. 482-494, 2019. (M23)
- M. Sokac, Z. Santosi, D. Vukelic, M. Katic, M.N. Durakbasa, I. Budak: Enhancement of Images from Industrial X-Ray Computed Tomography Systems by Hybrid Approach, *International Symposium for Production Research - ISPR*, 28.-30.08., 2019, pp. 138–146. (M33)

Autori tehničkog rješenja su jasno prikazali i obradili kompletnu strukturu tehničkog rješenja. U okviru tehničkog rješenja predstavljeni su razvijeni model i prateći softver temeljen na hibridnom principu s ciljem točnije segmentacije, smanjenja artefakata i dobivanja točnijih 3D površinskih modela. Jedan od glavnih problema industrijskih CT sustava je skeniranje predmeta koji se sastoje od mnogo različitih materijala (*Multi-material components* - MMCs), a koji se često susreću u zahtjevima mjerenja industrijskog CT sustava. Model segmentacije slike CT-a sadrži inovativni hibridni pristup zasnovan na kombinaciji dviju metoda obrade slike, a to su fazi klasterizacija (*Fuzzy C-means Clustering* - FCM) i rast regiona (*Region Growing* - RG).

Poboljšanje kvalitete CT slike se ogleda u poboljšanju kontrasta između objekata prisutnih na CT slikama pomoću FCM metode gdje se na ovaj način klasificiraju pikseli koji su značajni. Da bi se postigla veća učinkovitost i smanjilo vrijeme potrebno za segmentaciju, u procesu klasteriranja koristi se histogram intenziteta slike. Na taj se način ubrzava i poboljšava čitav proces FCM metode, što je posebno izraženo kod primjene ove metode na velikim skupovima slika. Uloga RG metode je segmentiranje i generiranje binarnih 2D slika, gdje je također razvijen inovativni pristup za definiranje središta segmentiranih područja (regija) nepravilne geometrije,



temeljen na odabiru područja s najvišom vrijednošću standardne devijacije intenziteta piksela i ekstrakciji X, Y koordinata za „seed“ točku. Za svaku 2D sliku provodi se inicijalna binarizacija slike (primjenom Otsu metode) i podijeljenih područja na njoj. Osnovna pretpostavka u ovom procesu je definirati maksimalnu vrijednost standardne devijacije (STD) intenziteta piksela izvorno podijeljenih područja u segmentaciji. Svi pikseli u ovim područjima imaju određenu razinu intenziteta, a s većim rasponom odstupanja intenziteta piksela, STD vrijednost bit će veća, pa na taj način veličina područja ne utječe na izbor „seed“ točke. Inovativni algoritam za ovu metodu načelno je zasnovan je na smanjivanju područja s najvišom vrijednosti STD-a. Kao rezultat smanjivanja nastaje „kostur“ (ili linija) područja koja se sastoji od velikog broja točaka s njihovim X, Y koordinatama. Ekstrakcija srednjeg para X, Y koordinata daje koordinate za početnu „seed“ točku za rast regije.

Implementirani softver sastoji se od glavnog dijaloškog okvira iz kojeg se pozivaju pomoćni dijaloški okviri koji su razvijeni na temelju tri pod-modula za unos ulaznih podataka, segmentaciju učitanih CT slika, kao i analizu i grafički prikaz rezultata segmentacije korištenjem statističkih metoda i evaluatora.

Softver uključuje tri softverska podsustava: ulazni podsustav (CT slike), podsustav za segmentaciju ulaza i podsustav za analizu slike i grafički prikaz rezultata.

Uzimajući u obzir sve naprijed navedeno, može se zaključiti da primjena ovog modela može poboljšati kvalitetu segmentiranih 2D CT slika, a posebno u području strojarstva zbog karaktera predmeta od različitih materijala, uglavnom metala i polimera.

## ZAKLJUČAK

Na temelju navedenog, predlažem da se "Programski sistem za segmentaciju snimaka generisanih primenom kompjuterizovane tomografije" prihvati kao novo tehničko rješenje i u skladu s „Pravilnikom o postupku, načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača" (Službeni glasnik RS, broj: 24/2016 i 21/2017) klasificira kao "Novo tehničko rešenje primenjeno na nacionalnom nivou (M82)".

Slavonski Brod, 05.02.2020.

Prof. dr. sc. Goran Šimunović



УНИВЕРЗИТЕТ  
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ  
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија  
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централна: 021 485 2000  
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763  
Телефакс: 021 458-133; e-mail: [ftndean@uns.ac.rs](mailto:ftndean@uns.ac.rs)

ИНТЕГРИСАНИ  
СИСТЕМ  
МЕНАџМЕНТА  
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: \_\_\_\_\_

Ваш број: \_\_\_\_\_

Датум: \_\_\_\_\_

## ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 40. редовној седници одржаној дана 26.2.2020. године, донело је следећу одлуку:

**-непотребно изостављено-**

### **ТАЧКА 12. Питања научноистраживачког и уметничкоистраживачког рада и међународне сарадње**

Тачка 12.2.1: На основу позитивног извештаја рецензената верификује се техничко решење (М82) под називом:

### **„ПРОГРАМСКИ СИСТЕМ ЗА СЕГМЕНТАЦИЈУ СНИМАКА ГЕНЕРИСАНИХ ПРИМЕНОМ КОМПЈУТЕРИЗОВАНЕ ТОМОГРАФИЈЕ“**

Аутори: Марио Шокац, Игор Будак, Живана Јаковљевић, Ђорђе Вукелић, Жељко Сантоши.

**-непотребно изостављено-**

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл.правник

Тачност података оверава:  
Секретар

Иван Нешковић, дипл.правник

Декан



Проф. др Раде Дорословачки