

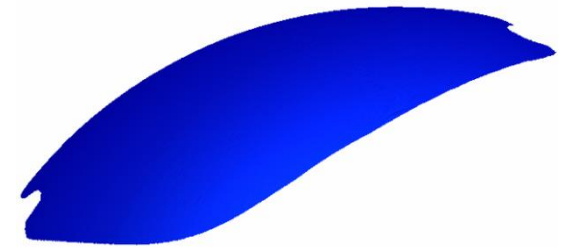
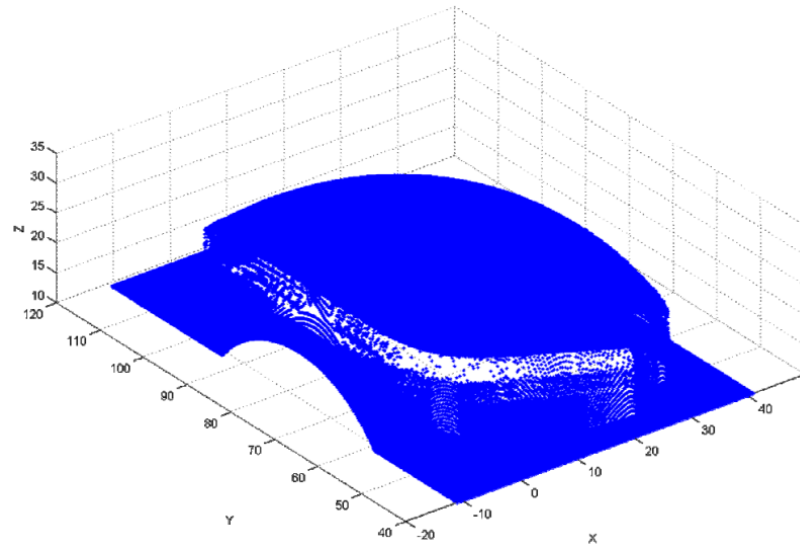
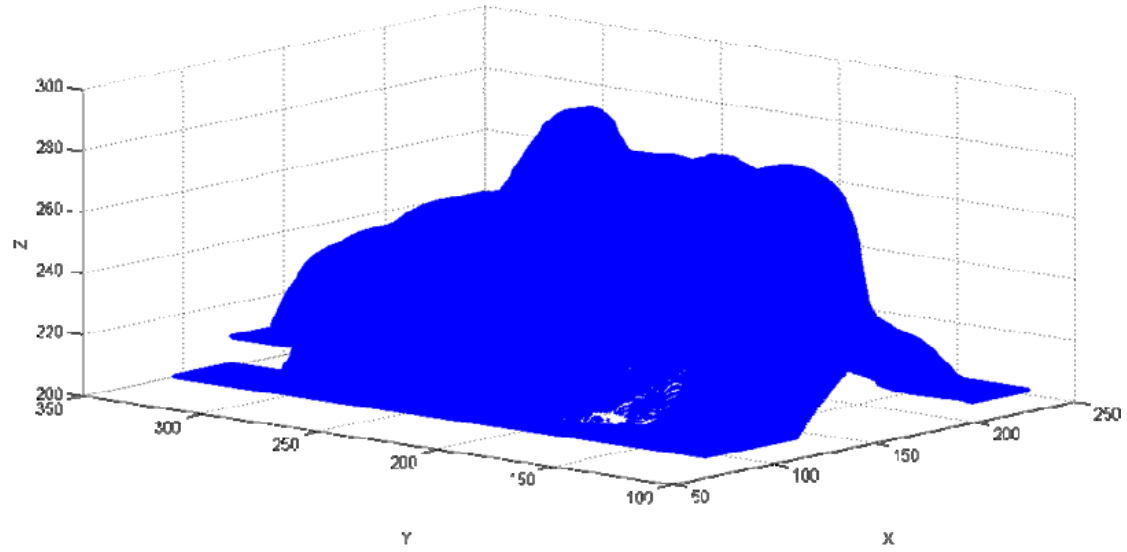
Univerzitet u Novom Sadu  
Fakultet tehničkih nauka  
Proizvodno mašinstvo  
Predmet: Reverzibilno inženjerstvo i CAQ

# PRE-PROCESIRANJE REZULTATA 3D-DIGITALIZACIJE

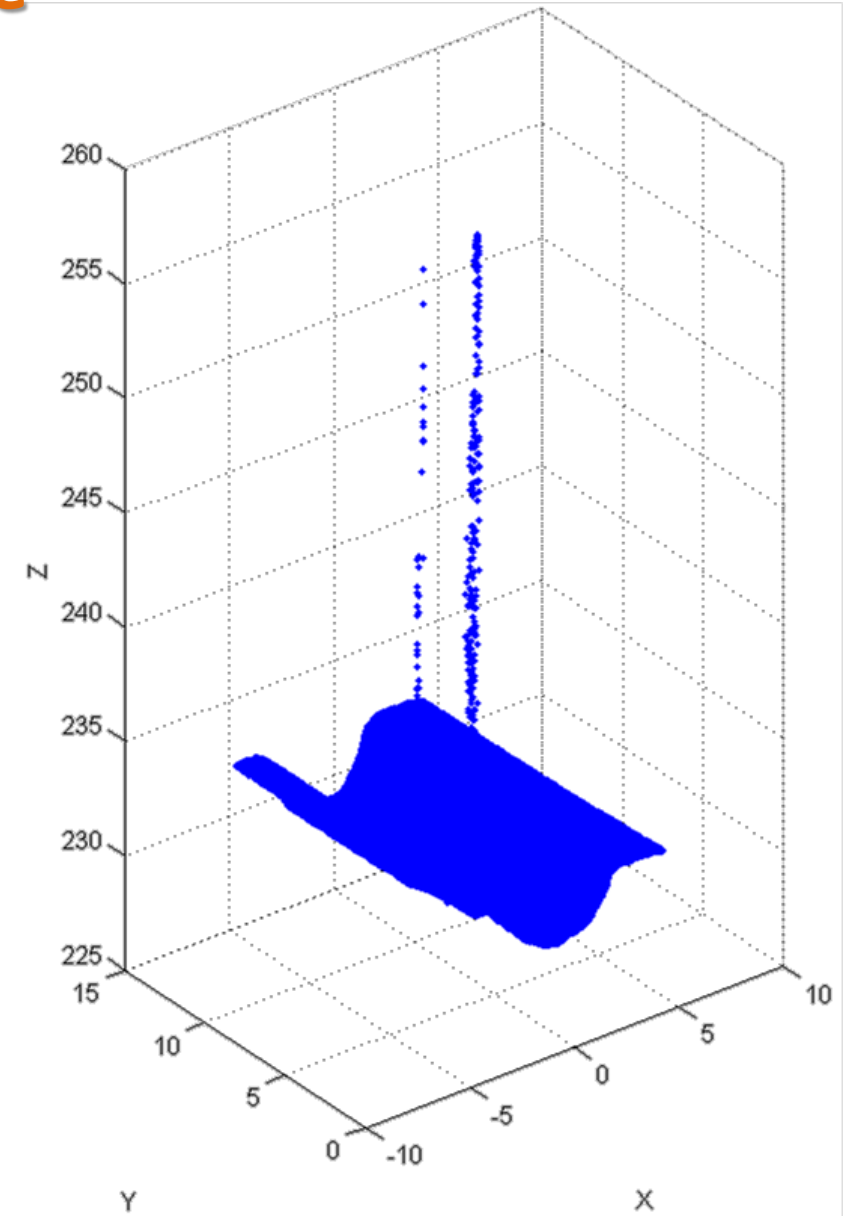
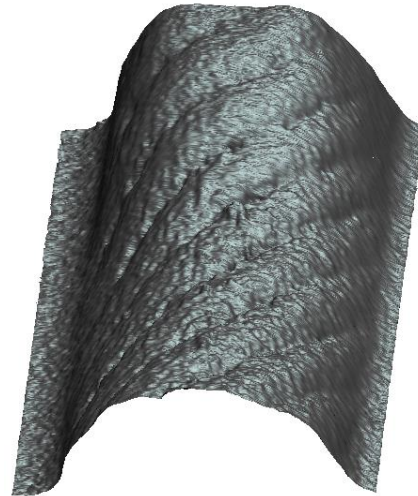
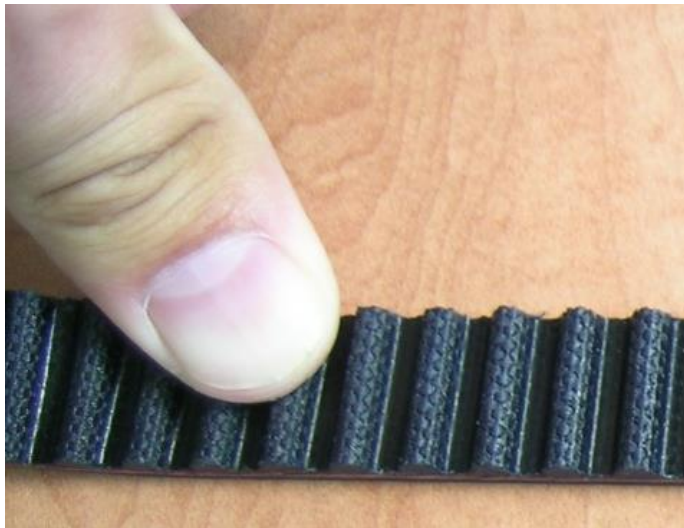
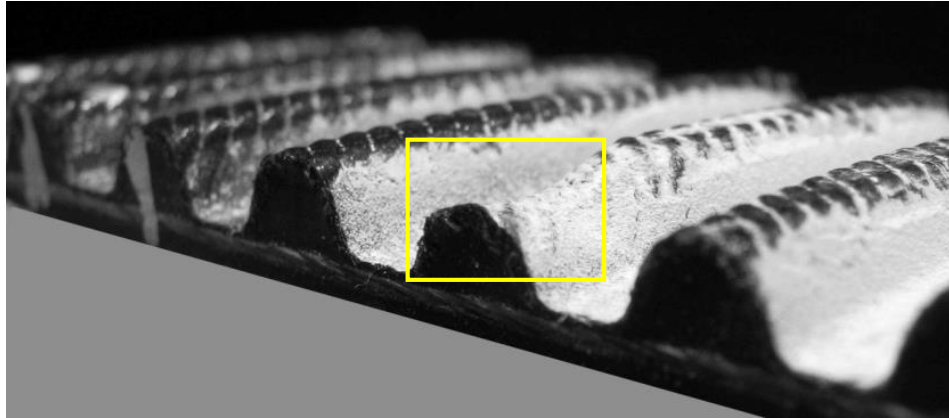
# Uvodne napomene

- Nakon procesa 3D digitalizacije javlja se veliki broj praktičnih problema vezanih za oblak tačaka, kao što su:
  - prisustvo šuma, odnosno grešaka merenja i pikova,
  - (pre)veliki broj (suvišnih) tačaka,
  - neorganizovanost podataka,
  - nepotpunost podataka itd.
- Osnovna posledica navedenih problema jeste neadekvatni CAD model, koji ne odgovara originalnom objektu, zbog čega je neophodno obezbediti kvalitetno preprocesiranje podataka.

# Uvodne napomene



# Uvodne napomene



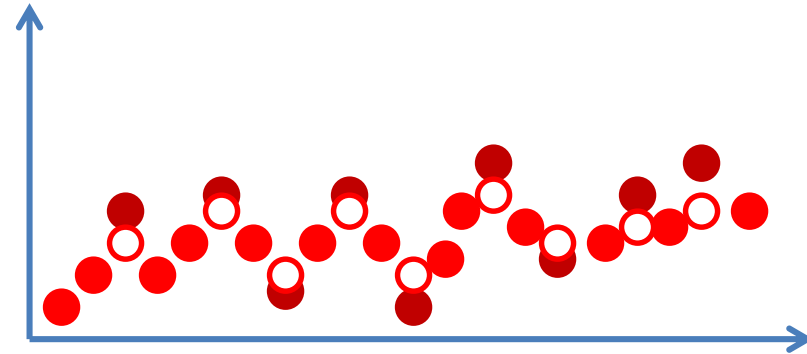
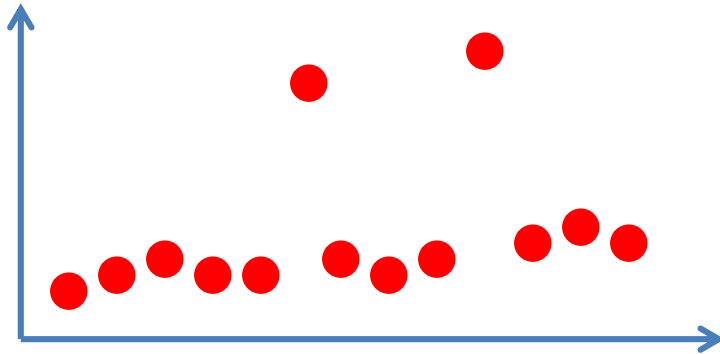
# Uvodne napomene

Kao osnovne faze procesa pre-procesiranja rezultata 3D-digitalizacije, mogu se izdvojiti:

1. Filtriranje podataka-tačaka;
2. Segmentacija podataka-tačaka;
3. Registracija podataka-tačaka i
4. Redukovanje podataka-tačaka.

# Filtriranje podataka-tačaka

Neki od češćih problema vezanih za oblak-tačaka su prisustvo impulsnog šuma i neuravnjenost tačaka u okviru niza podataka.



Prvi korak u okviru pre-procesiranja je filtriranje, čije su dve osnovne funkcije:

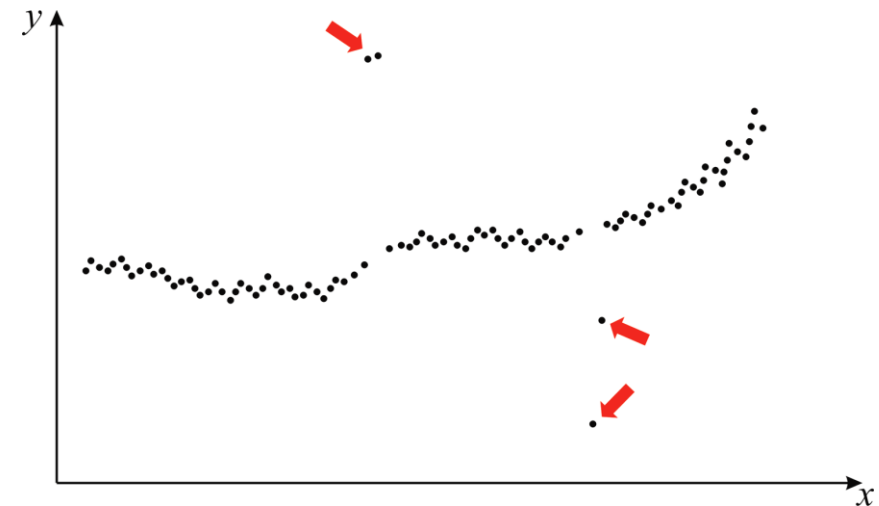
- 1) eliminisanje impulsnog šuma i
- 2) uravnavanje (glačanje) podataka-tačaka.

# Filtriranje impulsnog šuma

Cilj ove faze je eliminisanje grešaka merenja u vidu impulsnog šuma, odnosno tzv. "outlier" tačaka (tačaka-izvan-opsega).

U tu svrhu, razvijeno je više metoda, od kojih se, kao češće primenjivane u praksi, mogu izdvojiti:

1. Metoda zapreminskog filtriranja
2. Metoda segmentirane linije
3. Metoda ugla
4. Metoda medijane
5. Metoda filtriranja šuma preko kontrolnih granica (preko statističke ocene)



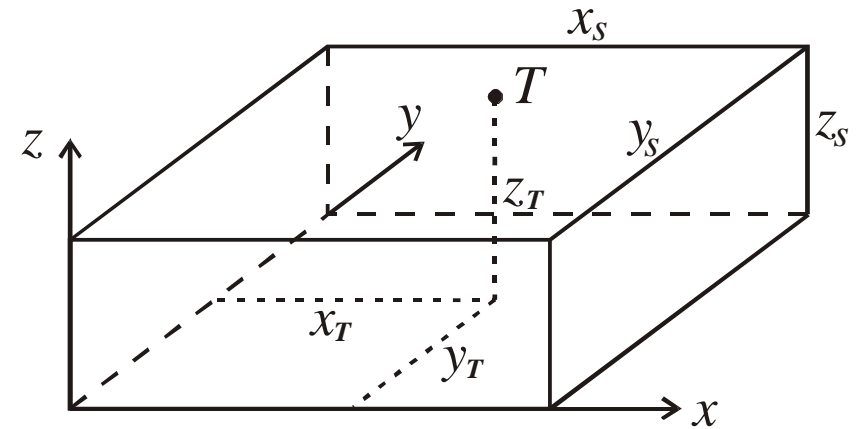
# Metoda zapreminskog filtriranja

Primenom ove metode se, iz rezultata 3D digitalizacije, odstranjuju tačke koje leže izvan područja skeniranja.

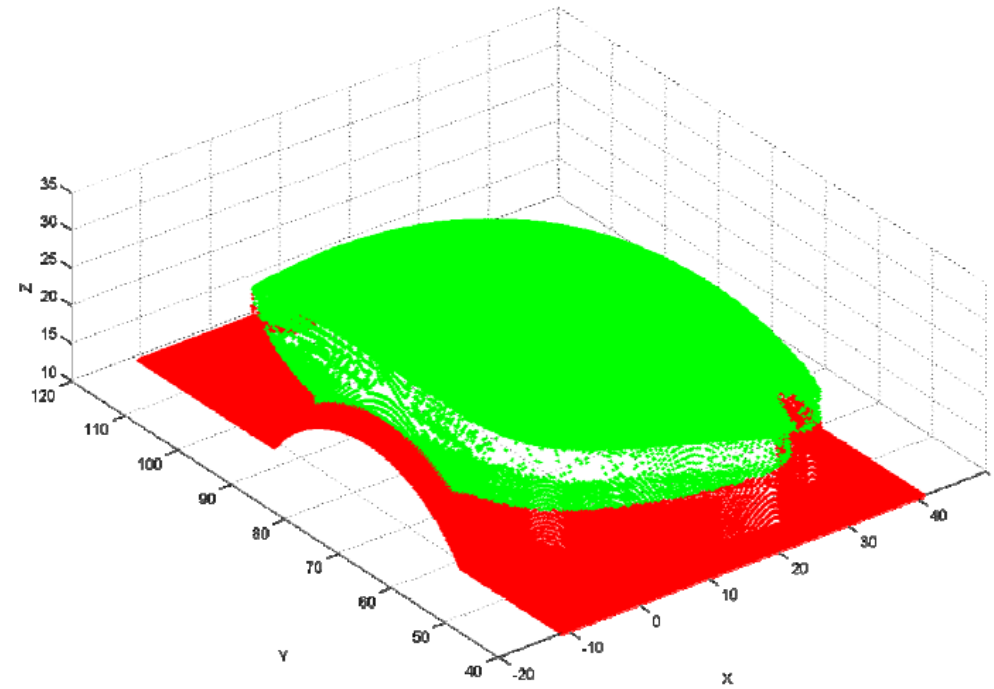
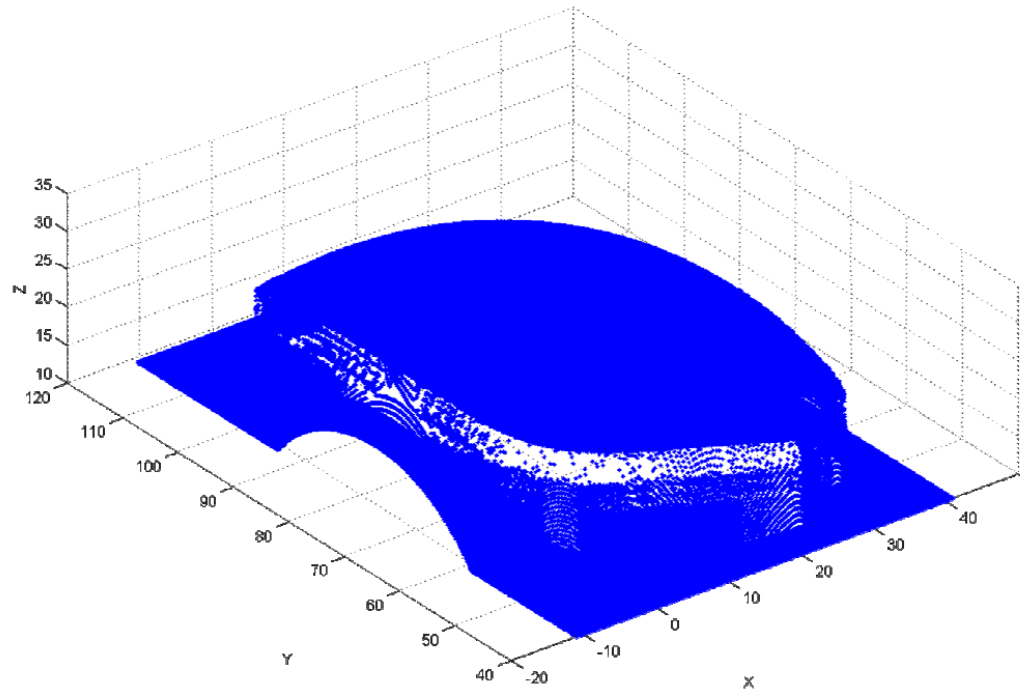
Princip metode je zasnovan na formiranju pravougaone zapremine, definisane dužinom i širinom skeniranja (x i y-ose) i visinom skeniranja, odnosno realnom visinom skeniranog objekta (z-osa).

Podaci-tačke koji se nađu izvan ove zapremine smatraju se za greške merenja i eliminišu se.

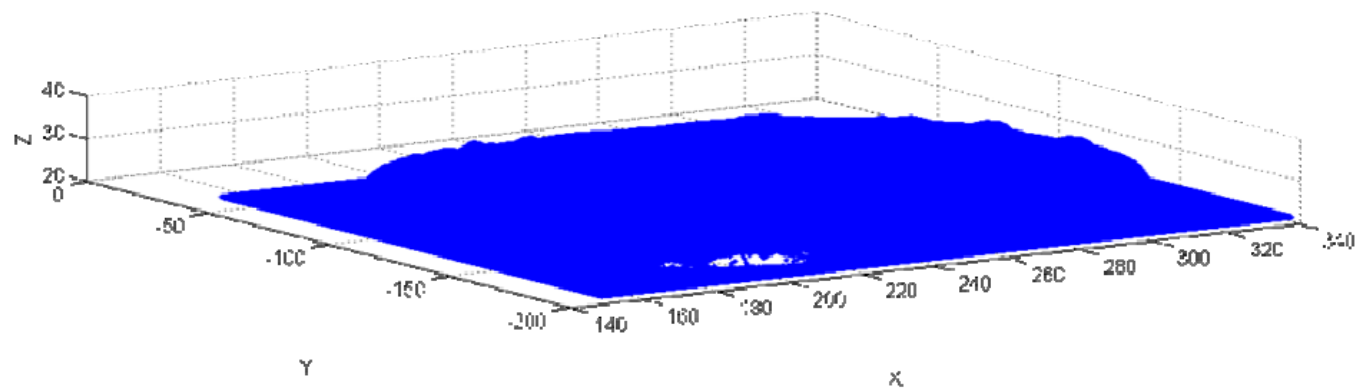
Ova metoda spada u grublje i primenjuje se za eliminisanje ekstremnih grešaka koje se mogu javiti u rezultatu 3D digitalizacije.



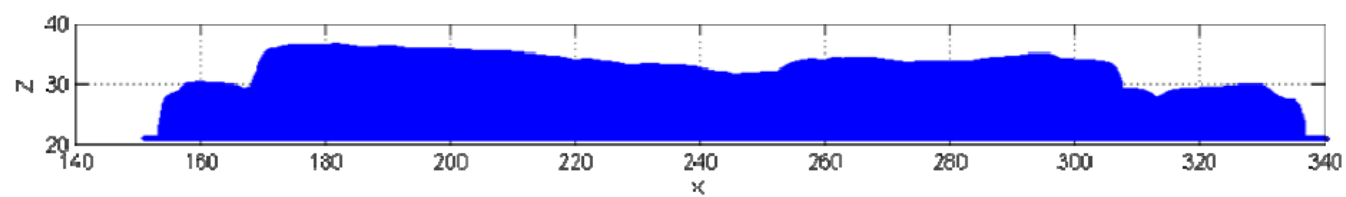




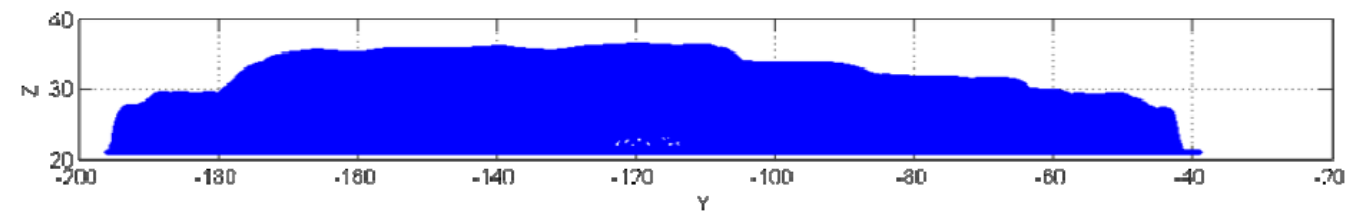
- filtered points
- retained points



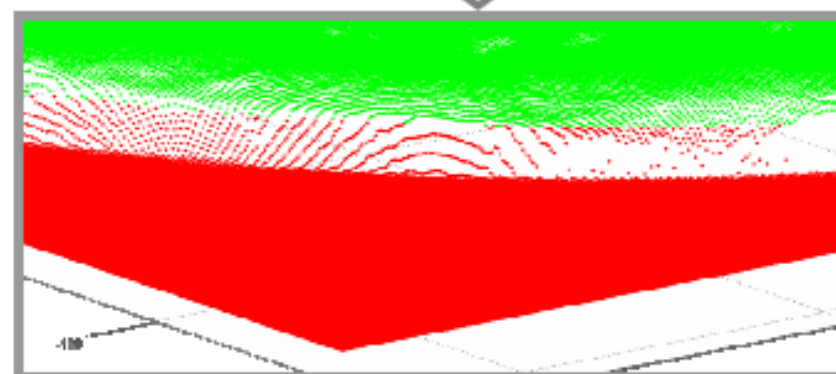
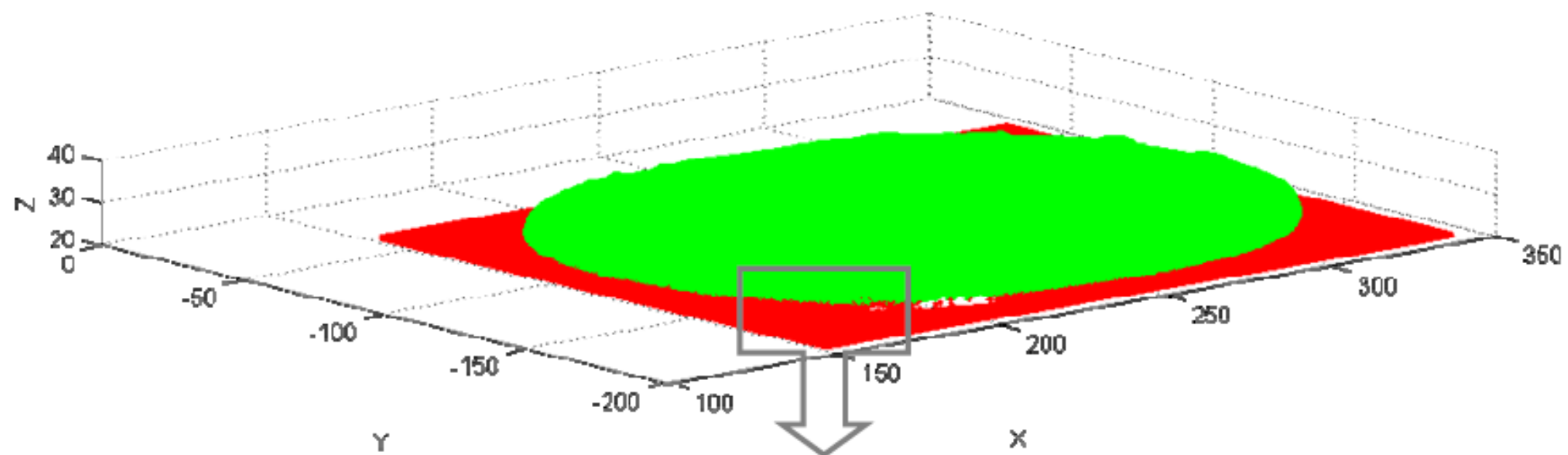
*a) Isometric projection*



*b) Orthogonal projection in x-z plane*



*c) Orthogonal projection in y-z plane*



- filtered points
- retained points

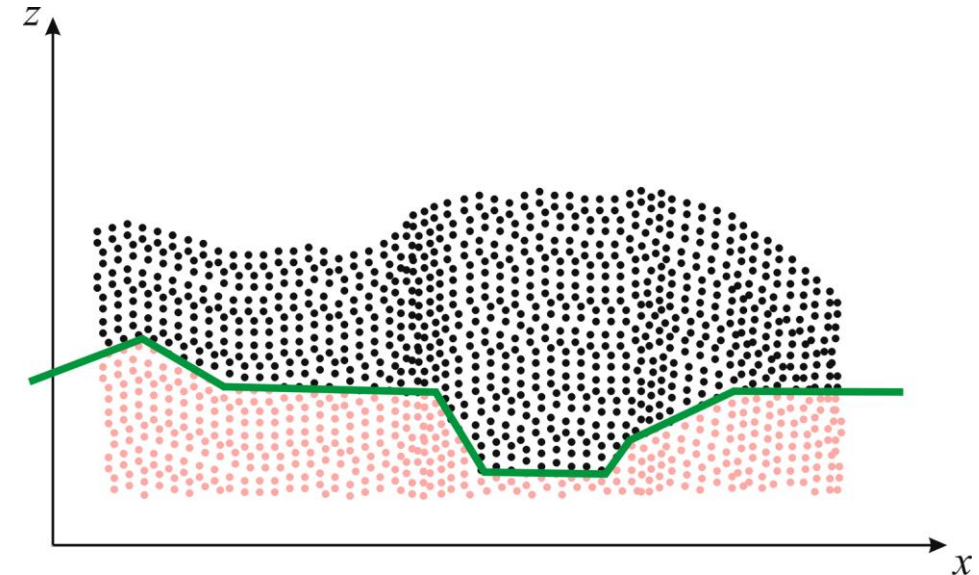
# Metoda segmentirane linije

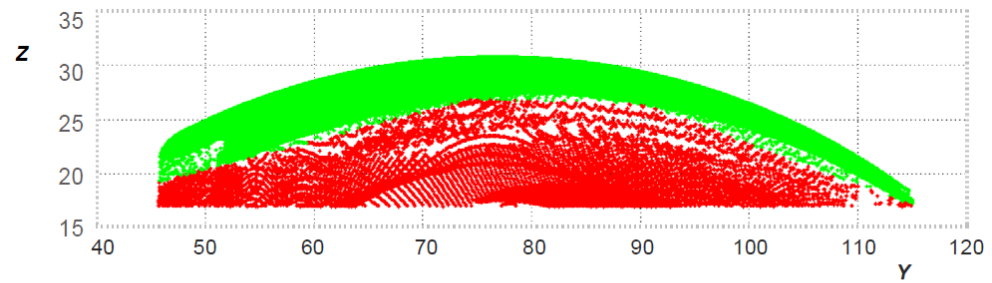
Ova metoda je “sophisticiranija” varijanta prethodne i podrazumeva odvajanje (separaciju) delova oblaka tačaka koji predstavljaju greške merenja (ili neželjene tačke) pomoću filter linije.

Najčešće varijante filter linija su “izlomljene” linije koje čine pravolinijski segmenti definisani koordinatama početne i krajnje tačke u izabranoj ravni x-y, x-z ili y-z.

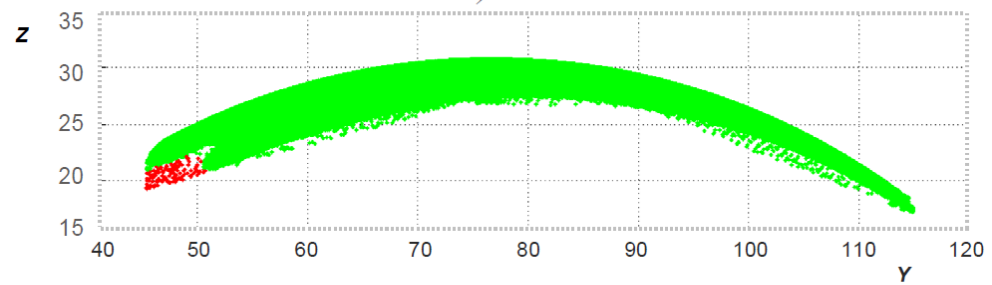
Moguće su i varijante sa kreiranjem “izlomljene” filter linije u nekoj proizvoljnoj ravni, što mora biti podržano mogućnošću transformacija koordinatnog sistema.

Nakon kreiranja filter linije, eliminišu se tačke sa njene željene strane

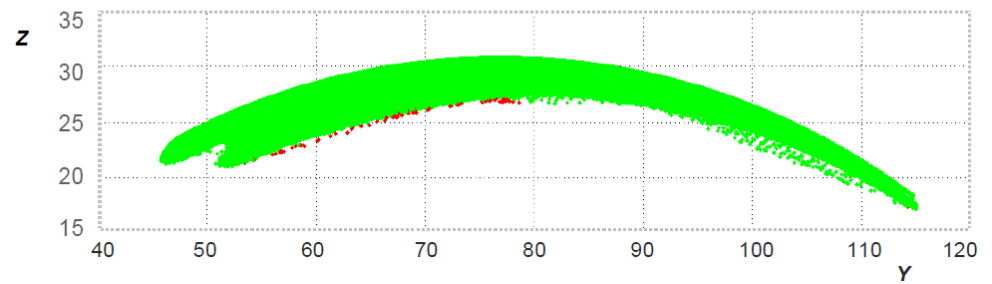




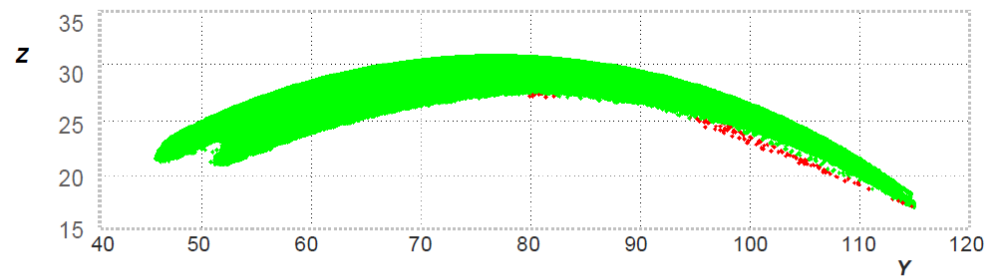
a) 1<sup>st</sup> iteration



b) 2<sup>nd</sup> iteracija

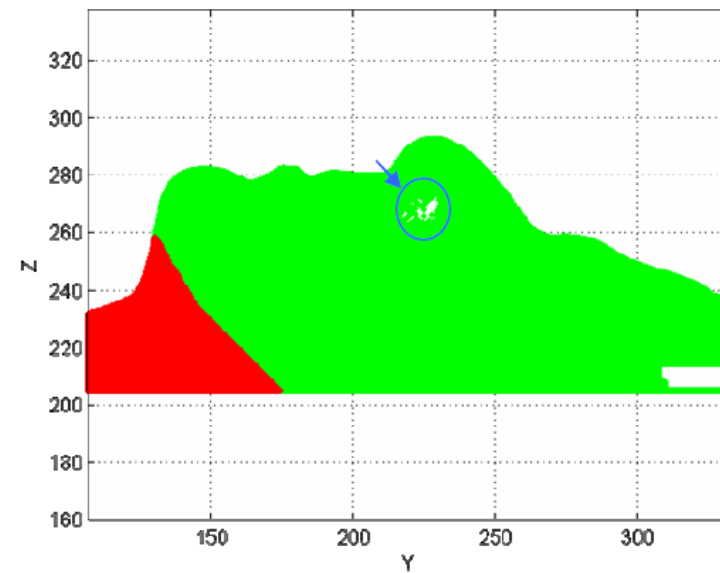
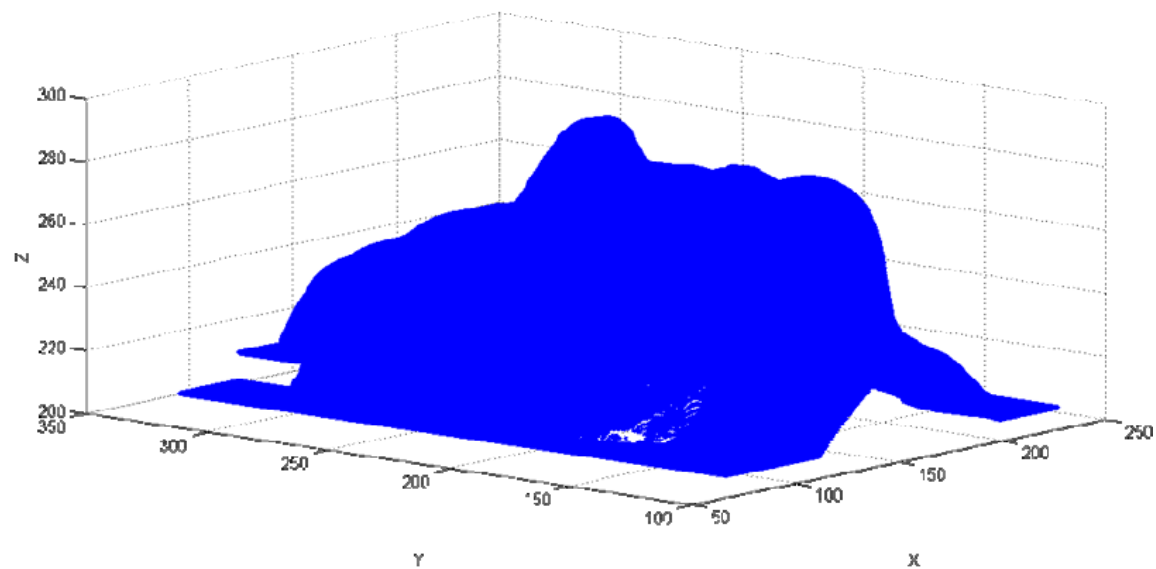


c) 3<sup>rd</sup> iteration

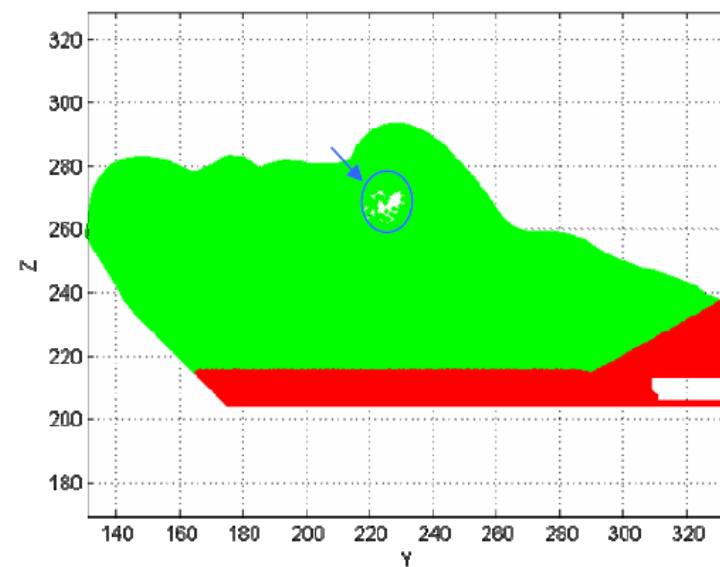


d) 4<sup>th</sup> iteration

- filtered points
- retained points



a) 1<sup>st</sup> iteration



b) 2<sup>nd</sup> iteration

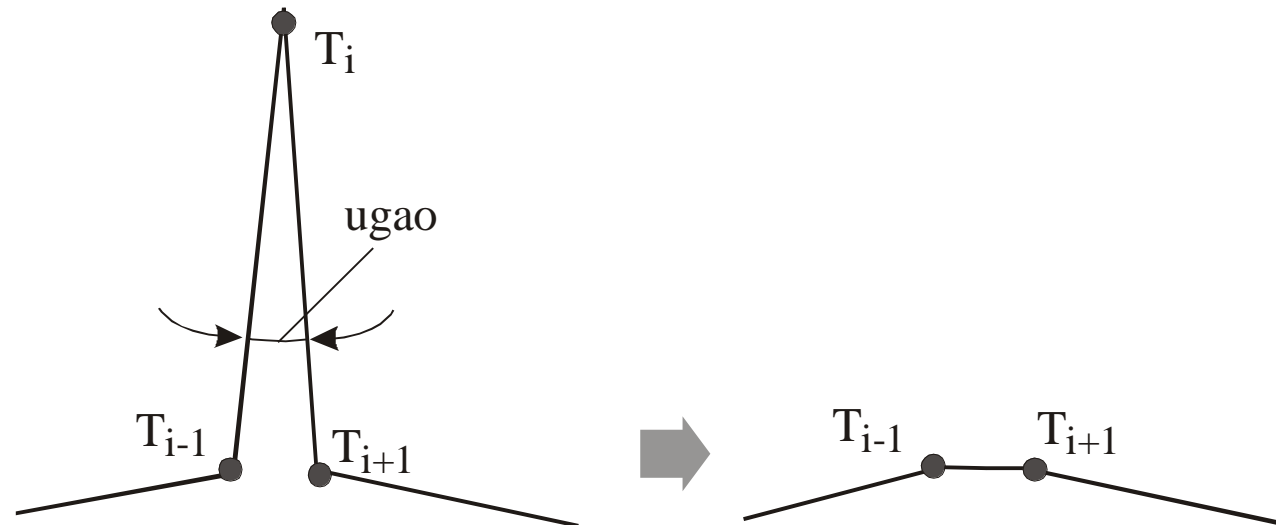
- filtered points
- retained points

# Metoda ugla

Ova metoda se primenjuje za uklanjanje tačaka-izvan-opsega iz niza tačaka u okviru sekcijskih preseka.

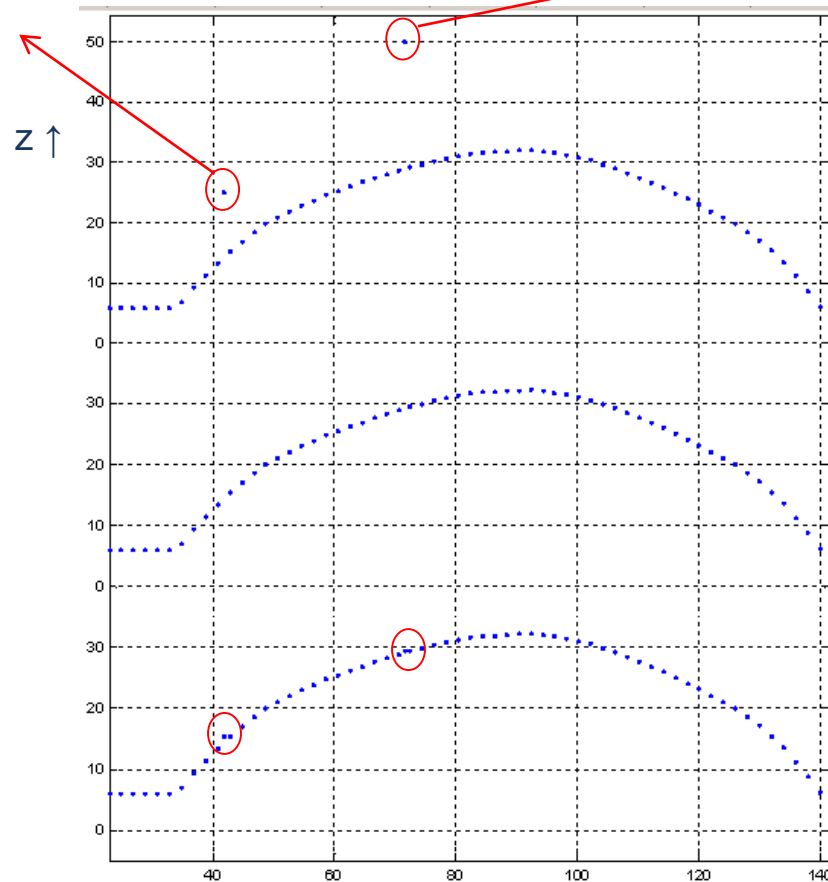
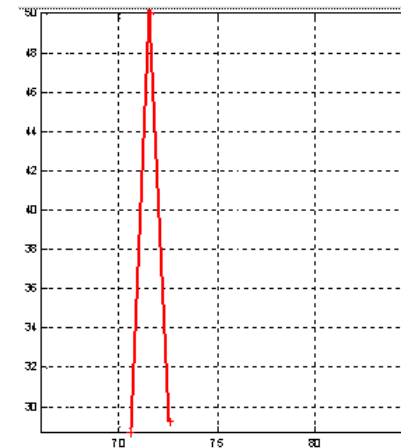
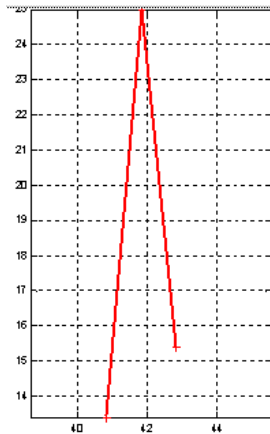
Kod odstranjivanja ovih tačaka, dve susedne tačke eliminisanoj tački se povezuju pravom linijom, a kao kriterijum za odlučivanje da li se radi o tački-izvan-opsega, primenjuje se ugao koji čine posmatrana tačka ( $T_i$ ) i njoj susedne dve ( $T_{i-1}$ ) i ( $T_{i+1}$ ).

Ukoliko je taj ugao manji od minimalno dozvoljenog, zadatog od strane korisnika (neka vrednost koja se primenjuje u praksi je oko  $15^\circ$  posmatrana tačka se eliminiše.





# Preprocesiranje podataka Eliminisanje impulsnog šuma



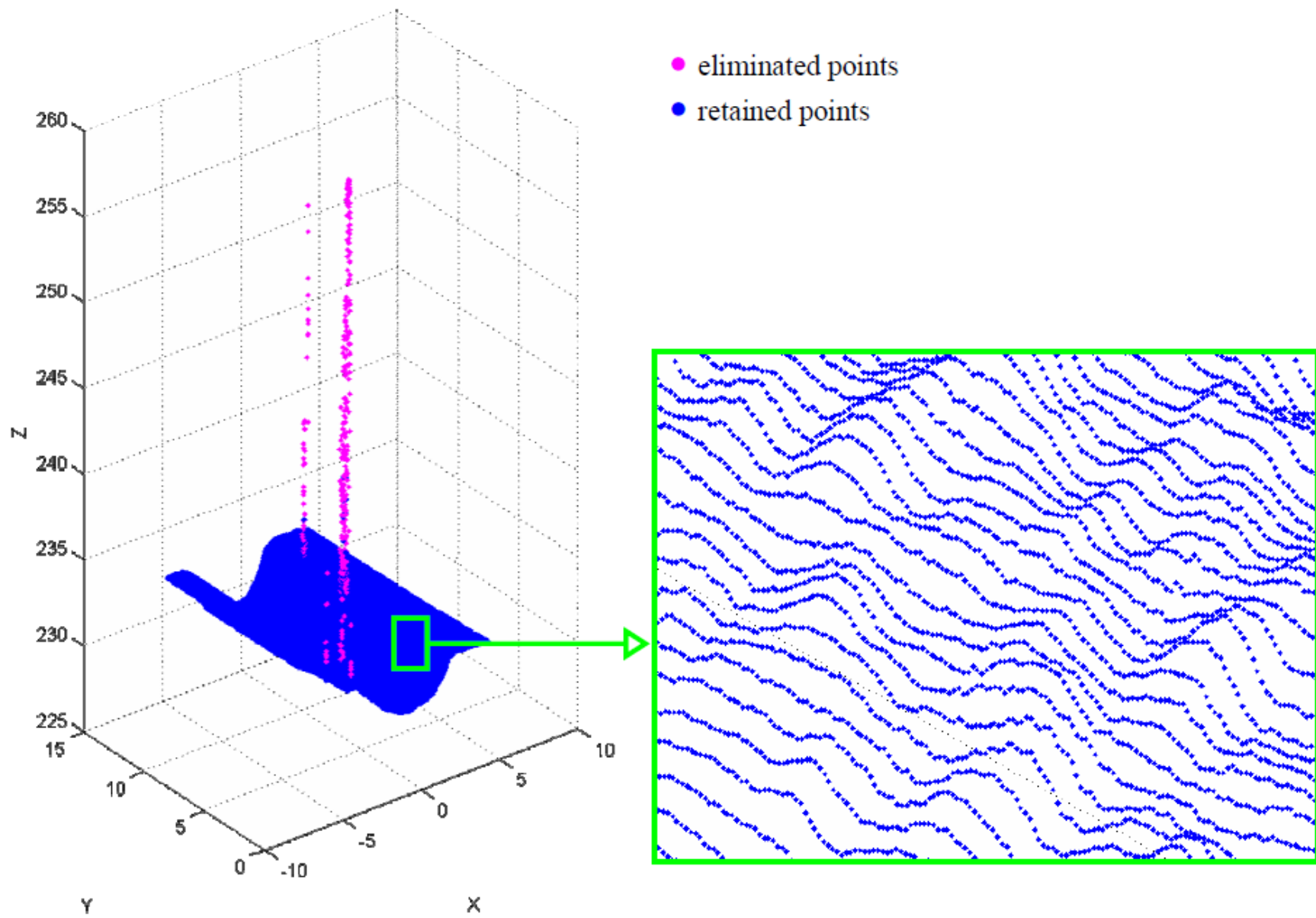
originalni podaci  
(sa impulsnim  
šumom)

ugaona metoda

metoda medijane

x  
→



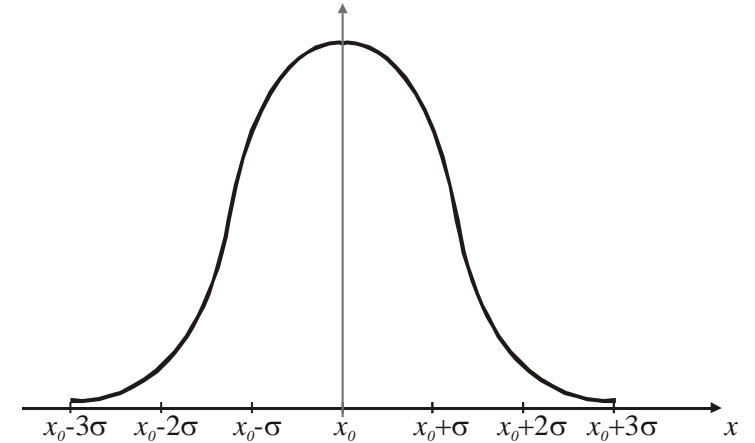


# Metoda filtriranja šuma preko kontrolnih granica (statističke ocene)

Ova metoda je zasnovana na određivanju razmaka poverenja u okviru kojeg se, sa određenom verovatnoćom, može očekivati da će se nalaziti posmatrana karakteristika osnovnog skupa.

Ako se raspodela empirijski dobijenih rezultata prilagodi opštoj krivoj normalne raspodele, moguće je izračunati površinu ispod krive normalne raspodele (Gausove krive) za bilo koje granice, odnosno izračunati količinu empirijski dobijenih podataka koji leže unutar ili izvan zadatih (kontrolnih) granica.

Metoda se može uspešno primenjivati u slučajevima skeniranih krivih bez velikih promena nivou krivosti.



**Udaljenost bilo koje vrednosti slučajno promenljive  $X$  do srednje vrednosti  $X_0$ , može se izraziti preko višestruke standardne devijacije  $\sigma$**

$$X - x_0 = t \cdot \sigma$$

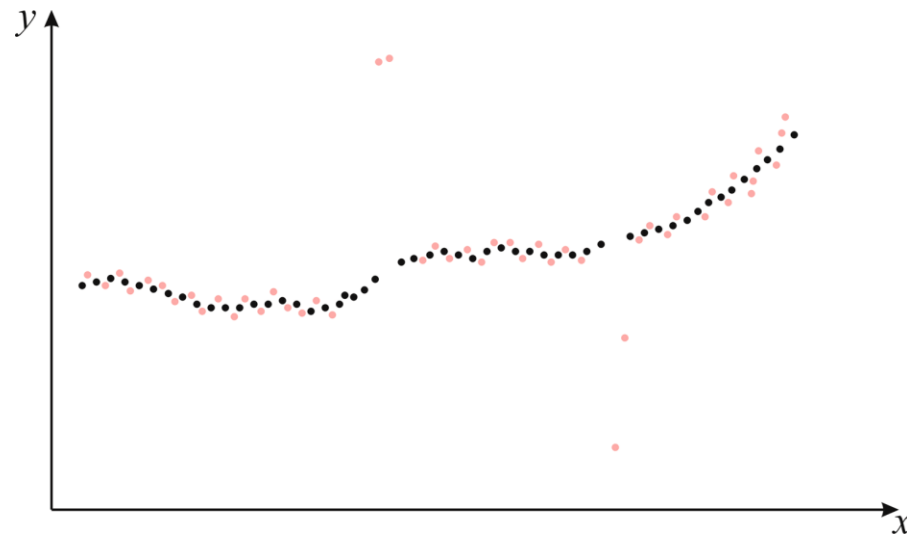
# Uravnavanje podataka-tačaka

Nakon uklanjanja pikova, kvalitet rezultata 3D-digitalizacije može se dalje poboljšati operacijom uravnavanja (glačanja) niza podataka-tačaka.

Primena ove operacije eliminiše velike oscilacije tačaka i ima za rezultat mirniju raspodelu tačaka, koja kasnije obezbeđuje kreiranje kvalitetnijih sekcijskih krivih, odnosno 3D modela.

Među metodama za uravnavanje podataka-tačaka se ističu:

- 1) metoda srednjih vrednosti i
- 2) metoda medijane.



# Metoda srednjih vrednosti

Jednostavna za implementaciju.

Princip je zasnovan na izračunavanju statističke srednje vrednost za specificirani niz podataka u cilju njihovog uravnavanja:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

gde su:  $x_i$  – koordinate tačaka i  $n$  – ukupan broj tačaka.

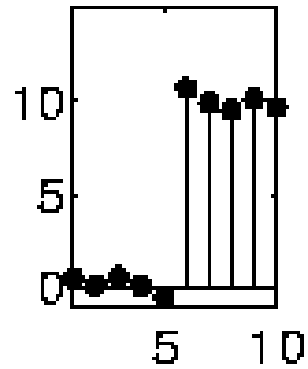
Ova vrsta filtera vrši “omekšavanje” pikova u rezultatu 3D digitalizacije pomeranjem svake od tačaka na srednju poziciju te tačke i njoj susednih (najčešće se primenjuje u varijanti sa po jednom ili dve susedne tačke).

Sličan je filteru na principu medijane.

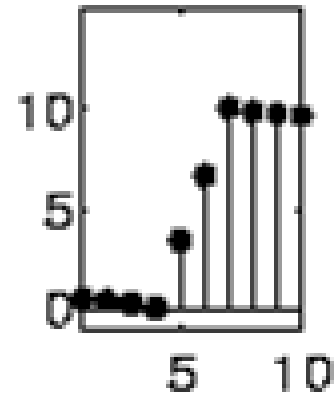
Daje dobre rezultate kod nizova podataka-tačaka sa puno šuma.

Nije dobar za primenu na nizovima podataka-tačaka sa stepenastim skokovima (ivice)

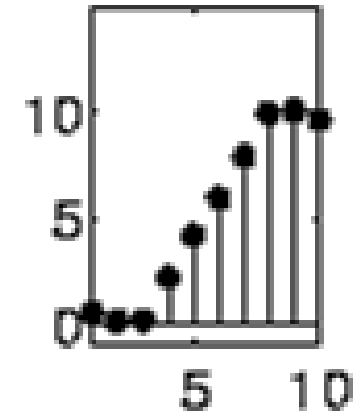
## Filtriranje metodom srednjih vrednosti - efekat u slučaju stepenastih prelaza



originalni podaci



po 1 susedna tačka



po 2 susedne tačke

# Metoda medijane

Metoda zasnovana na vrednosti medijane je nelinearna tehnika koja objedinjuje funkcije za uravnavanje niza podataka i uklanjanje tačaka-izvan-opsega.

Princip ovog filtera bazira na “pomeranju” tačaka niza na pozicije koje odgovaraju statističkoj vrednosti medijane analizirane tačke i određenog broja (najčešće dve ili četiri) susednih tačaka.

Kao definicija medijane, od nekoliko različitih koje se mogu naći u literaturi, može se iskoristiti sledeća: “medijana predstavlja onu vrednost u nizu koja deli (prethodno sistematizovan po veličini) niz na dva jednaka dela”

# Metoda medijane

Princip ovog filtera, u matematičkom obliku, je predstavljen sledećom relacijom:

$$y(i) = \text{Med}[x(i-N), x(i+N)]$$

gde su:

$x(i)$  - ulazni podaci,

$y(i)$  - izlaz,

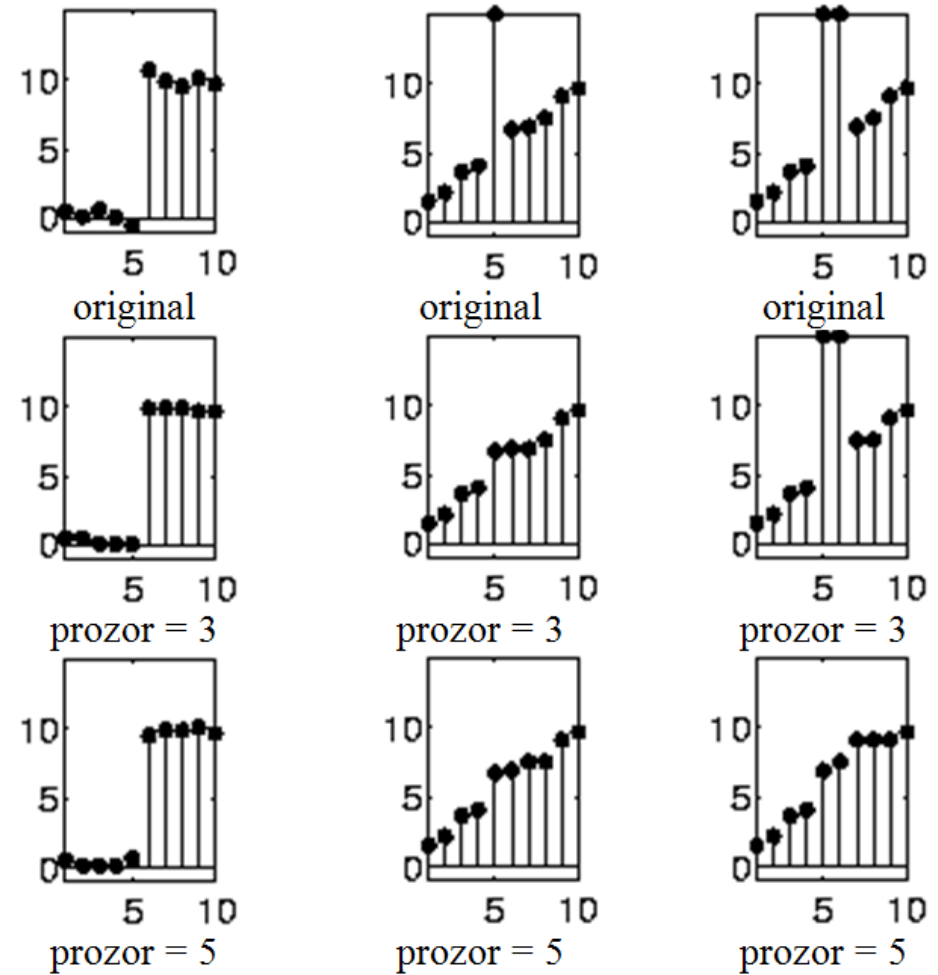
$N$  - polovina širine prozora filtera.

**Prozor filtera** predstavlja broj tačaka koji se uzima u obzir sa jedne strane analizirane tačke.

Proces filtriranja se izvršava nad celokupnim nizom sa prozorom širine  $2N + 1$ .

Primena filtera na bazi medijane ima tendenciju očuvanja oblika, pri čemu se vrlo dobro ponaša kada su u pitanju stepenasti oblici, što i jeste osnovna prednost u odnosu na filtriranje srednjom vrednošću.

Ovaj filter je pogodan i za eliminisanje impulsnog šuma, pri čemu je bitna širina prozora filtera.



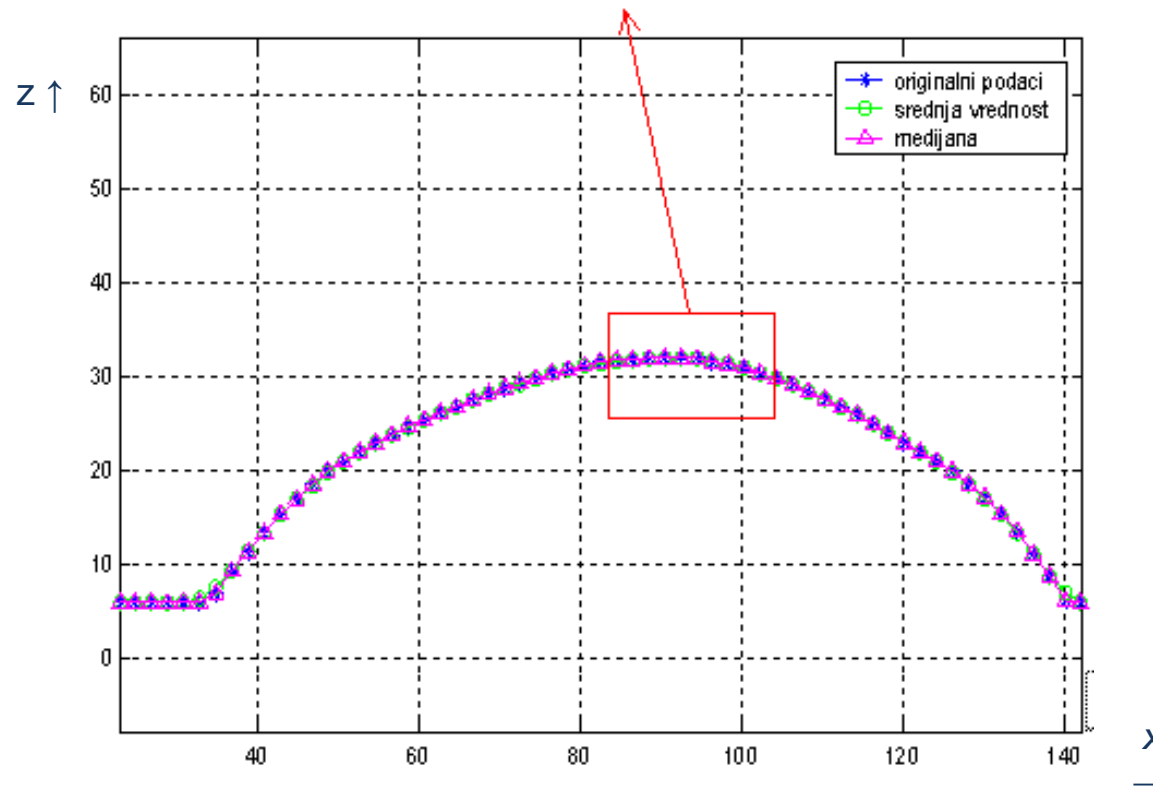
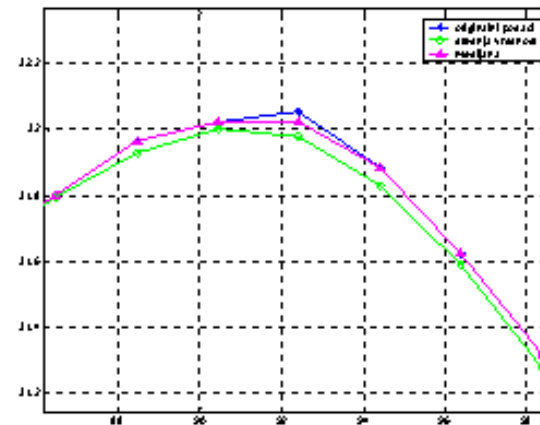
a) očuvanje ivice      b) impulsi šum i širina prozora filtera

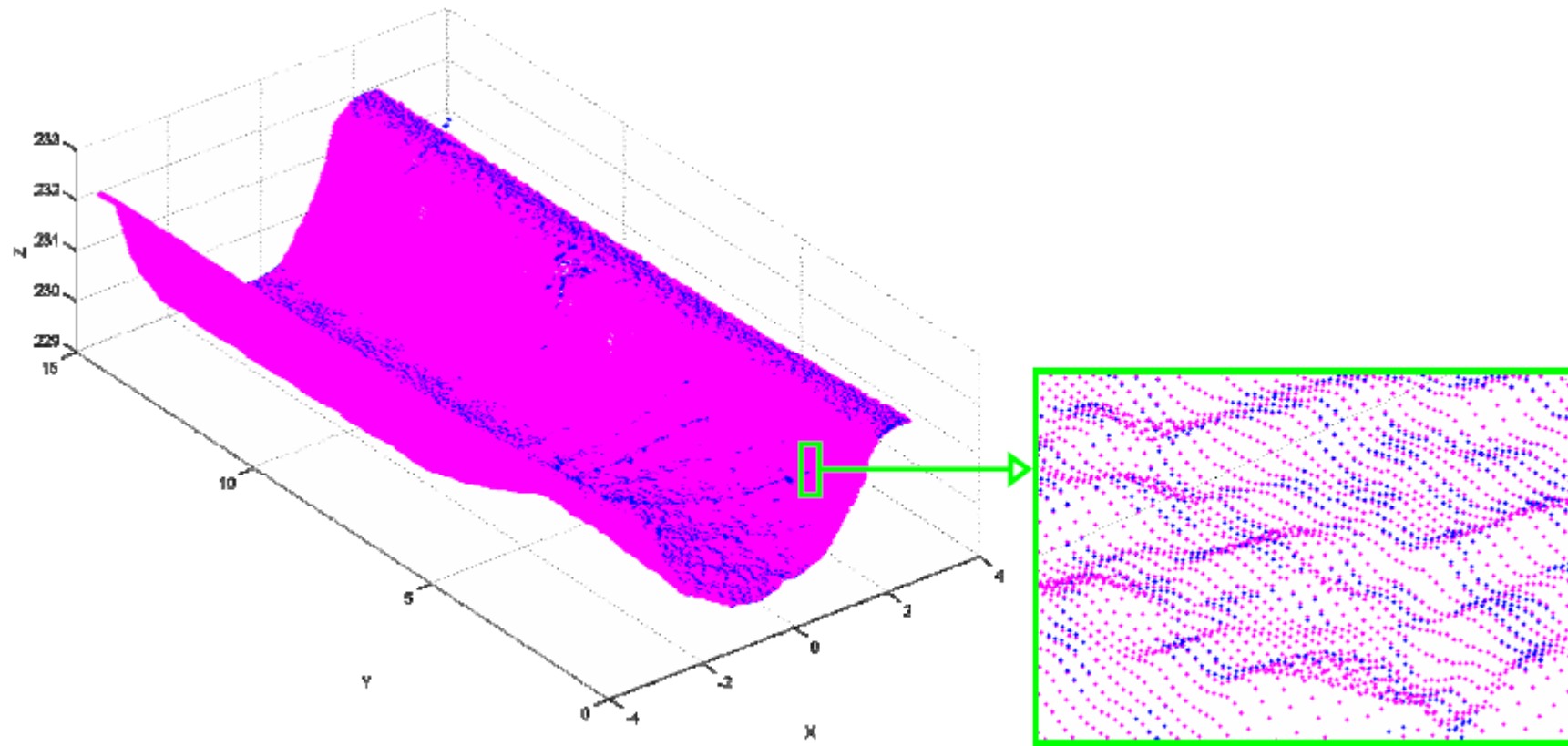
*Osobine filtera na bazi medijane*



# Preprocesiranje podataka

Uporedni prikaz metoda za uravnavanje podataka (na primeru jedne krive)



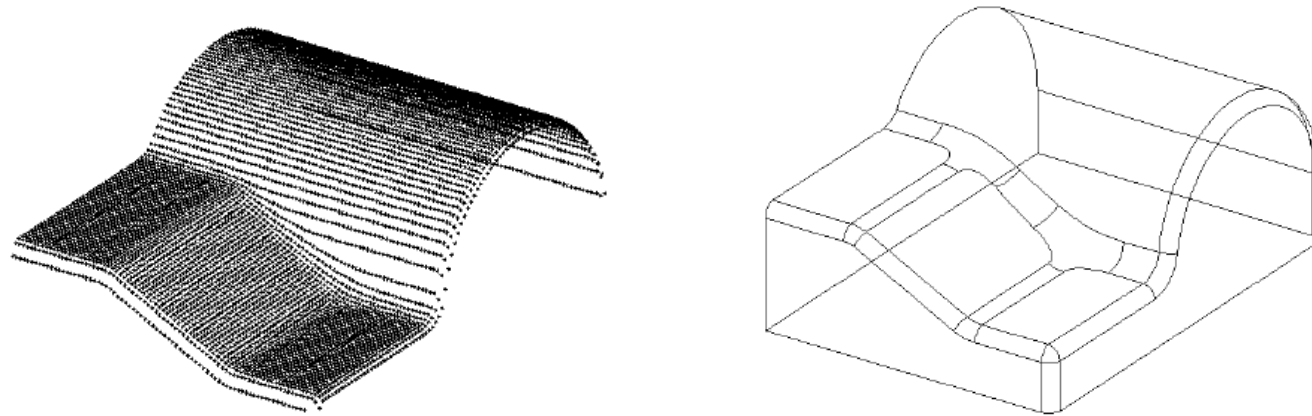


- original points
- smoothed points

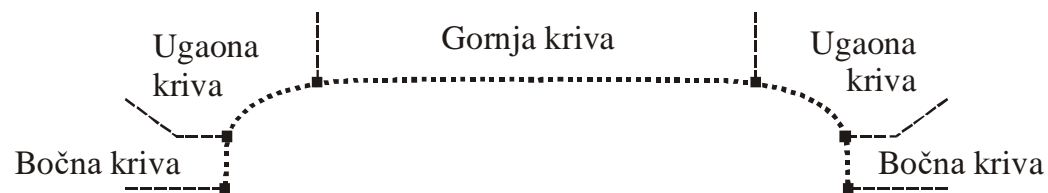
# Segmentacija podataka-tačaka

Segmentacija podataka je proces koji se takođe javlja u nekim sistemima, i to posebno u slučajevima kada je u pitanju modeliranje složenijih oblika.

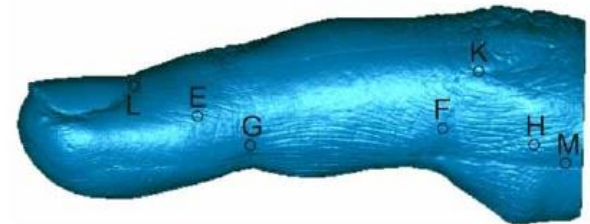
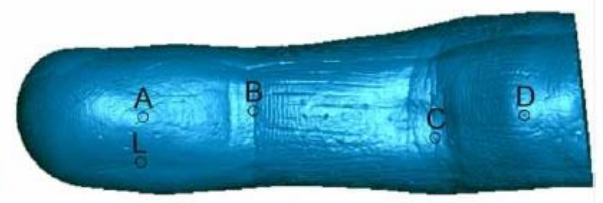
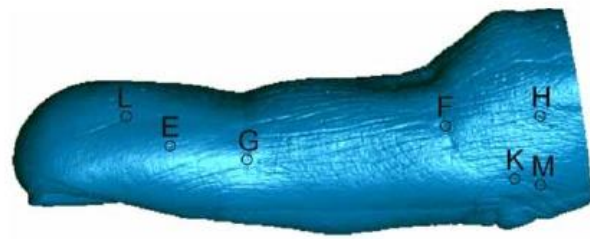
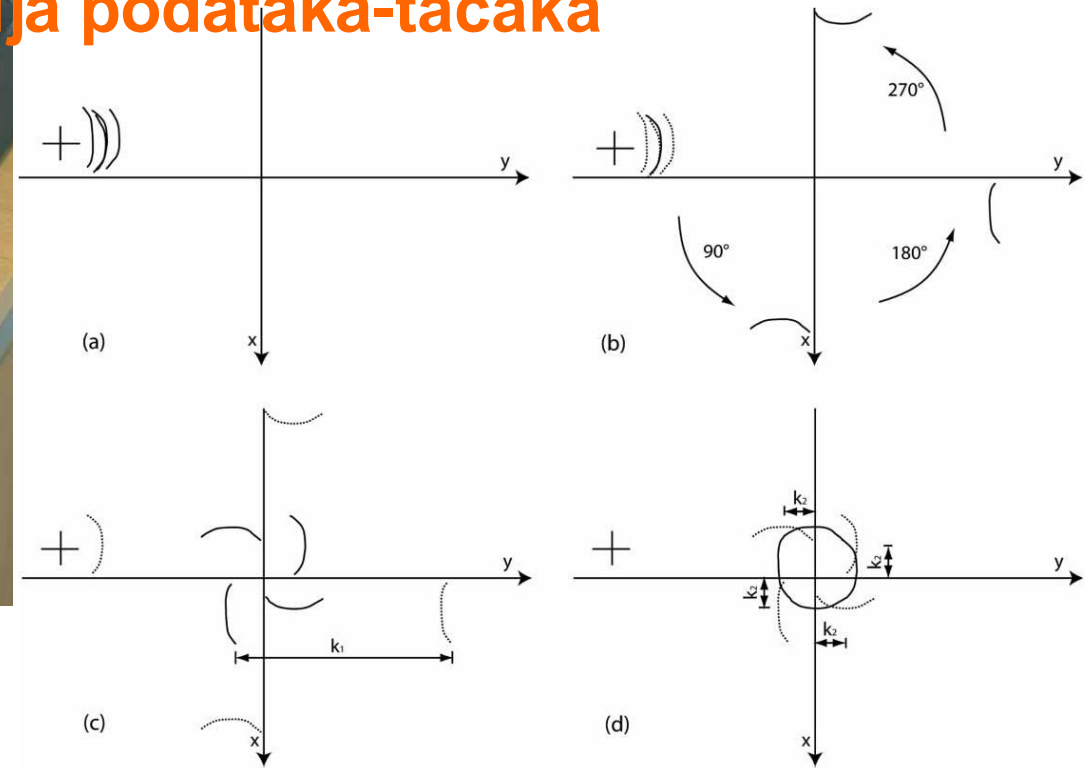
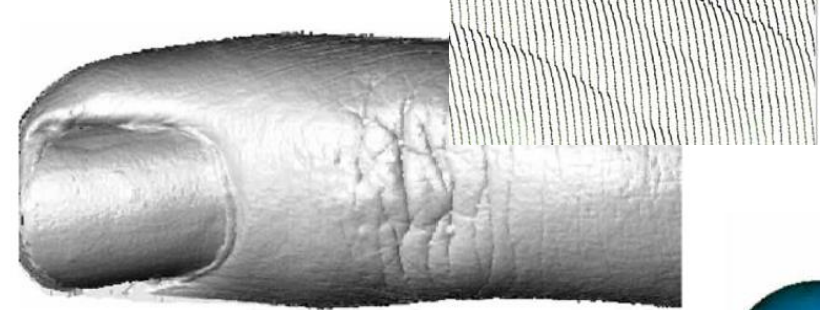
Segmentacija podrazumeva logičku podelu originalnog skupa tačaka na podskupove za svaku prirodnu površinu.

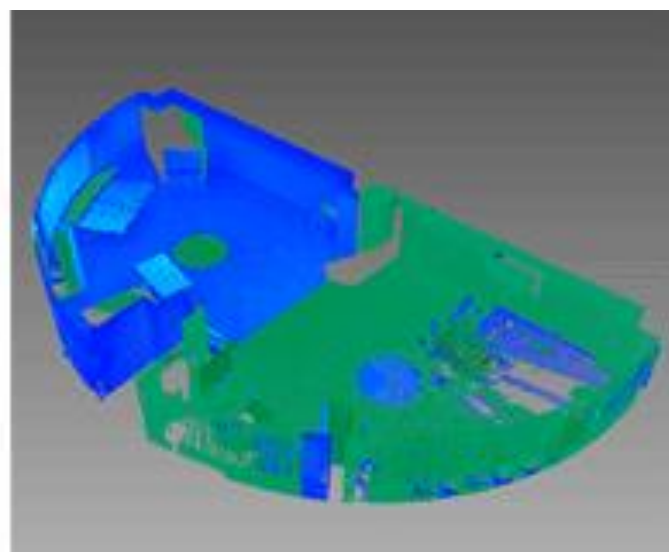
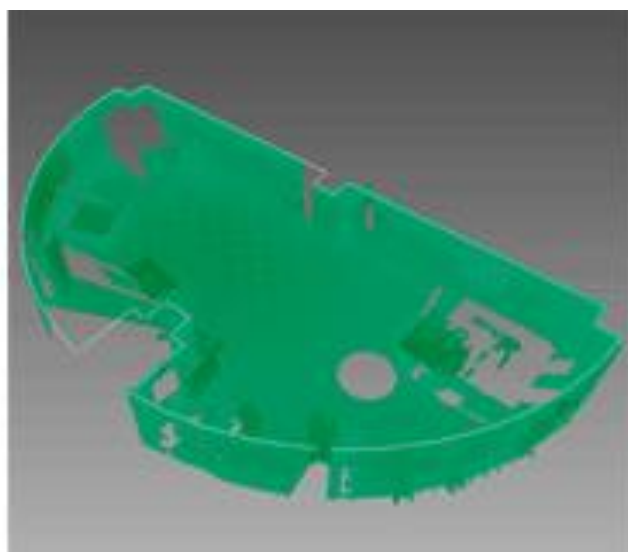
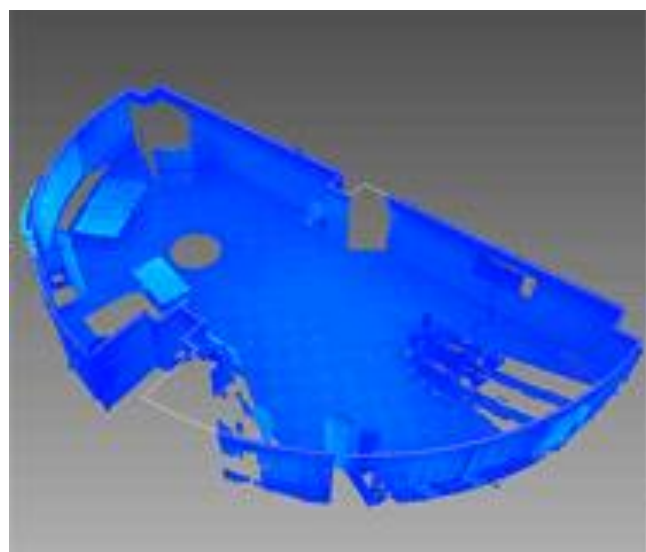


U sistemima zasnovanim na metodologiji poprečnih preseka, postoje prilazi kod kojih se pod segmentacijom podrazumeva podela tačaka u okviru skeniranih poprečnih presečnih krivih.



# Registracija podataka-tačka





Univerzitet u Novom Sadu  
Fakultet tehničkih nauka  
Proizvodno mašinstvo  
Predmet: Reverzibilno inženjerstvo i CAQ

# PRE-PROCESIRANJE REZULTATA 3D-DIGITALIZACIJE



# Redukovanje podataka-tačaka u rezultatu 3D digitalizacije

U opštem slučaju **složenija površina** objekta **zahteva i veći broj tačaka** za rekonstrukciju.

Sa druge strane, (pre)veliki broj podataka-tačaka može imati i negativne implikacije, poput usporavanja procesa RE, visokih zahteva u pogledu računarskog hardvera, a u ekstremnim slučajevima proces rekonstrukcije čini nemogućim.

Za rekonstrukciju složenije površine (sa većim stepenom krivosti) je potreban veći broj tačaka, dok je kod jednostavnijih površina moguće zanemariti određene podatke-tačke i pri tome ipak postići zadovoljavajuću tačnost u rekonstruisanju površine.

U kontekstu toga, može se reći da se **karakteristične tačke** površina nalaze **na mestima gde krivost ima veće varijacije**.

# Redukovanje podataka-tačaka u rezultatu 3D digitalizacije

Osnovni zadatak procesa redukovanja rezultata 3D-digitalizacije je ***ekstrakcija karakterističnih tačaka na osnovu kojih je moguće rekonstruisati krive odnosno površine, sa ciljem kreiranja geometrijskog modela u zadovoljavajućem vremenskom periodu, koji dovoljno kvalitetno aproksimira originalni objekat.***

Rezultat redukcije treba da bude **kompromis između brzine procesiranja i kvaliteta (tačnosti) dobijenih modela.**



# Redukovanje podataka-tačkaka u rezultatu 3D digitalizacije

U praksi se primenjuje veći broj metoda za redukovanje podataka, a trenutno primenjivane metode se mogu klasifikovati u tri kategorije:

- I. metode semplovanja,**
- II. metode za redukovanje broja poligona u poligonalnom modelu i**
- III. mrežne metode.**

# Metode semplovanja

Metode ove vrste spadaju u češće primenjivane u slučajevima RE projektovanja zasnovanog na cross-sectional metodologiji.

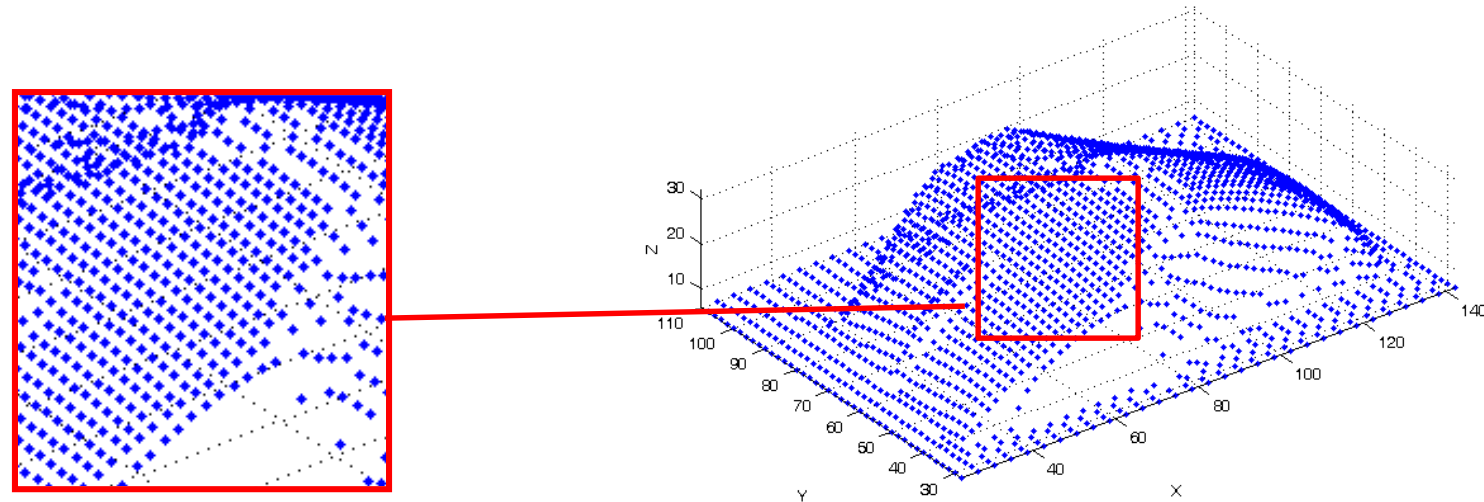
U svetu je do danas razvijen veliki broj metoda za redukovanje podataka-tačaka semplovanjem, između kojih se u literaturi najčešće pominju sledeće:

- 1) Metoda uniformnog semplovanja (ili faktorna metoda)
- 2) Metoda prostornog semplovanja
- 3) Metoda devijacije visine tetive
- 4) Metoda redukcije podataka na osnovu visine
- 5) Metoda redukcije na osnovu nivoa pravosti
- 6) Metoda redukcije tačaka na osnovu krivosti u tačkama
- 7) Metoda redukcije zasnovana na toleranciji promene tangentnosti
- 8) Metoda redukcije na osnovu verovatnoće

# Metoda uniformnog (faktornog) semplovanja

Najjednostavnija metoda primenom koje se redukuje broj tačaka u nizu podataka na osnovu faktora semplovanja ili redukcionog faktora, kako se još naziva, zbog čega je ova metoda poznata i kao faktorna metoda.

Primenom ove metode iz oblaka tačaka se sempluje (odabira) svaka  $i$ -ta tačka, gde je  $i$  faktor semplovanja, ali je **potrebno da oblak tačaka bude strukturiran** (tačke u okviru skeniranih podataka uređene po skeniranim linijama, odnosno poprečnim presecima).



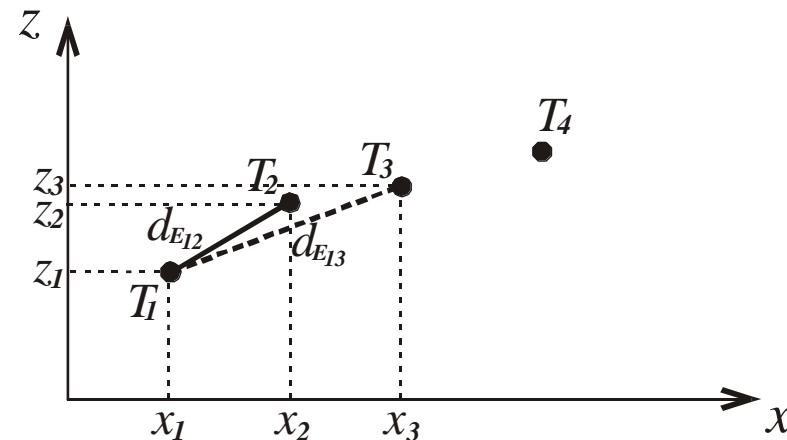
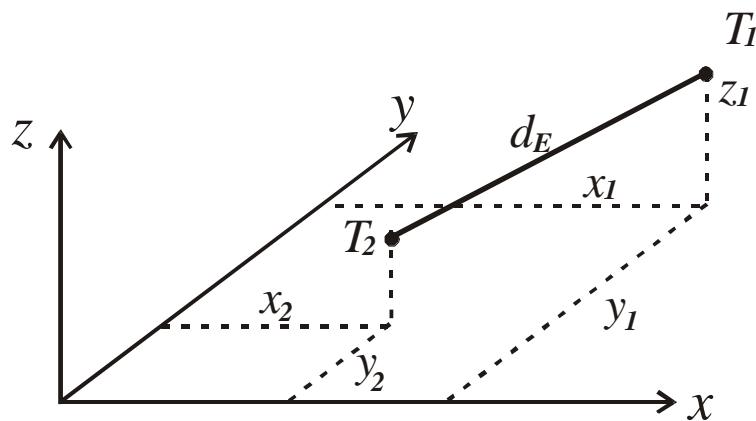
Razvojem sofisticiranijih metoda, uniformno semplovanje se sve češće primenjuje kao pred-redukcija u slučajevima objekata manje geometrijske složenosti i ogromnog broja tačaka.

# Metoda prostornog (eng. spatial ili space) semplovanja

Metoda zasnovana na dozvoljenoj prostornoj vrednosti –  $d$ , koja se poredi sa rastojanjem između susednih tačaka koje se određuje preko euklidske norme (rastojanja).

Euklidsko rastojanje  $d_E$  između dve tačke:  $T_1=(x_1,y_1,z_1)$  i  $T_2=(x_2,y_2,z_2)$ , u trodimenzionalnom prostoru  $R^3$ , se definiše kao:

$$d_E = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$$



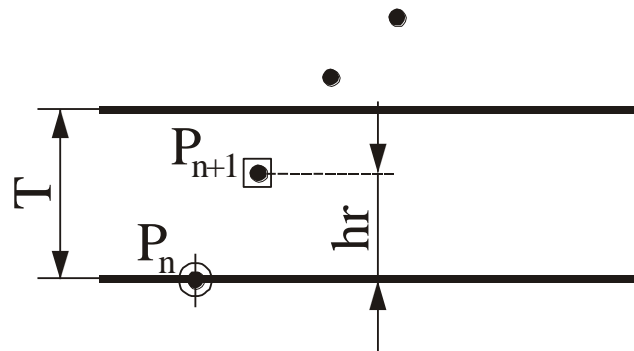
# Metoda redukovanja podataka na osnovu visine

**Kriterijum** za odlučivanje o važnosti tačke za rekonstrukciju površine, kod metode redukovanja na osnovu visine (eng. height decision) je **zasnovan na razlici visina dveju skeniranih tačaka**.

Vrednost maksimalno dozvoljene visine  $T$ - parametra za odlučivanje definiše se na osnovu visine skeniranog objekta -  $H$ .

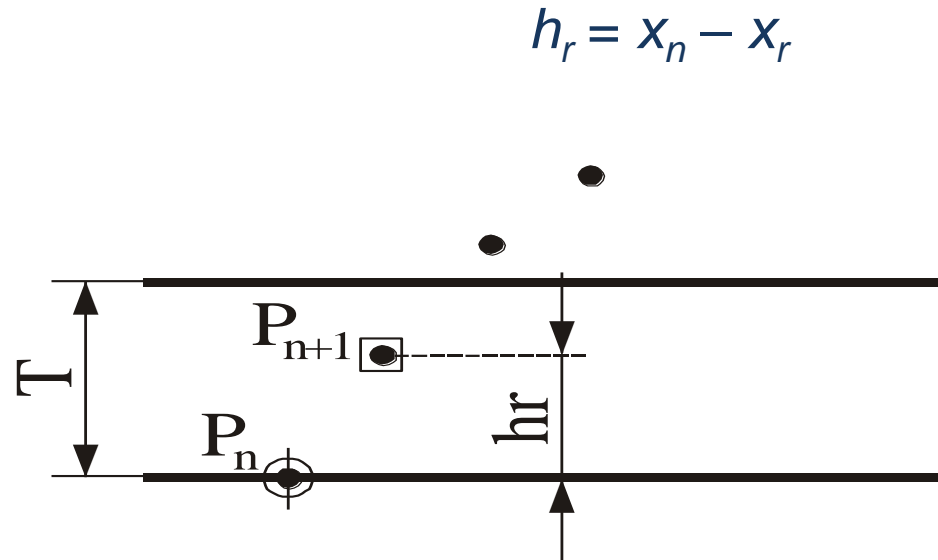
U cilju izbegavanja gubitaka na rezoluciji, preporuka je da maksimalna vrednost visine za odlučivanje bude 0,15 % od visine objekta:

$$T=0,0015 \cdot H$$



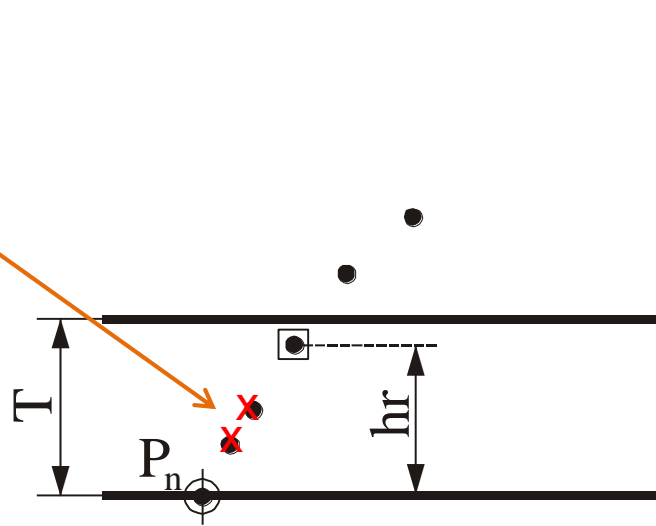
## Procedura:

- Prva skenirana tačka se proglašava za prvu referentnu tačku  $P_0$ ;
- Tačka za koju je tokom ciklusa ispitivanja donešena odluka da se zadržava, postaje referentna tačka narednog ciklusa;
- Ako je  $P_n(x_n, z_n)$  referentna tačka ispitivane krive koja sadrži  $m$  skeniranih tačaka, a  $P_r(x_r, z_r)$   $r$ -ta tačka koja sledi tačku  $P_n$  na skeniranoj krivoj, tada je razlika u visini ove dve tačke, po  $x$ -osi:



Na osnovu relacija između  $h_r$  i  $T$ , primenjuje se sledeći redukcionni kriterijum, pri čemu se prva tačka  $S_1$  i krajnja tačka  $S_m$  svake skenirane krive zadržavaju u cilju održanja graničnih podataka skeniranog modela:

- ukoliko se **u opsegu odlučivanja** nalazi **samo jedna tačka** ista se zadržava;
- ukoliko opseg odlučivanja sadrži više tačaka, tačka najbliža graničnoj visini se zadržava, a ostale (između) se eliminišu.



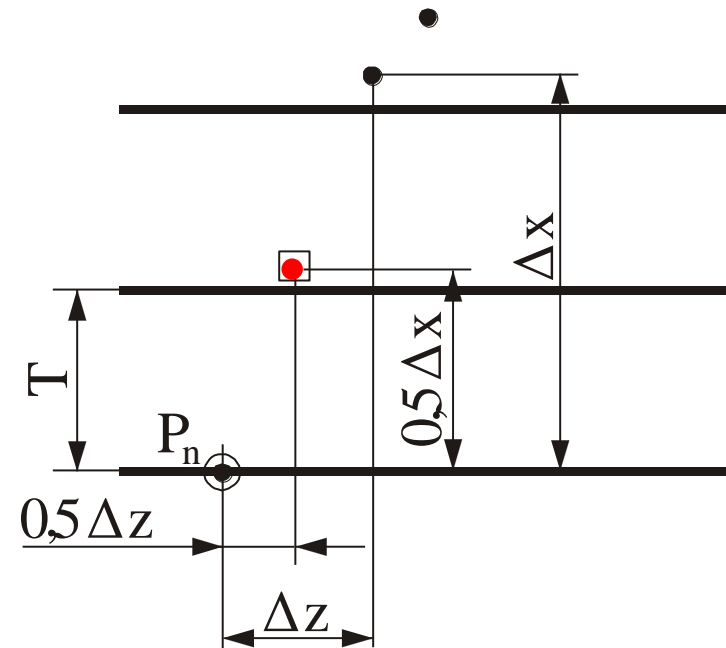
- U slučaju da u opsegu odlučivanja nema nijedne tačke, to implicira da je promena krivosti u tom opsegu (području) vrlo ograničena i ne zahteva kontrolnu tačku za rekonstrukciju površine;
- U slučaju da u dva uzastopna opsega nema nijedne tačke, primenjuje se metoda interpolacije na trenutnu referentnu tačku i tačku najbližu granici odlučivanja, a sve u cilju generisanja nove tačke, koja sad postaje referentna tačka  $P_{n+1}$  u sledećem ciklusu ispitivanja:

$$P_{n+1}(x_{n+1}, z_{n+1}) = (x_n + 0,5\Delta x, z_n + 0,5\Delta z)$$

$$\Delta x = x_r - x_n$$

$$\Delta z = z_r - z_n$$

gde su  $\Delta z$  i  $\Delta x$  rastojanja između referentne tačke i ispitivane tačke po z-osi, odnosno x-osi, respektivno.





# Metoda devijacije visine tetive

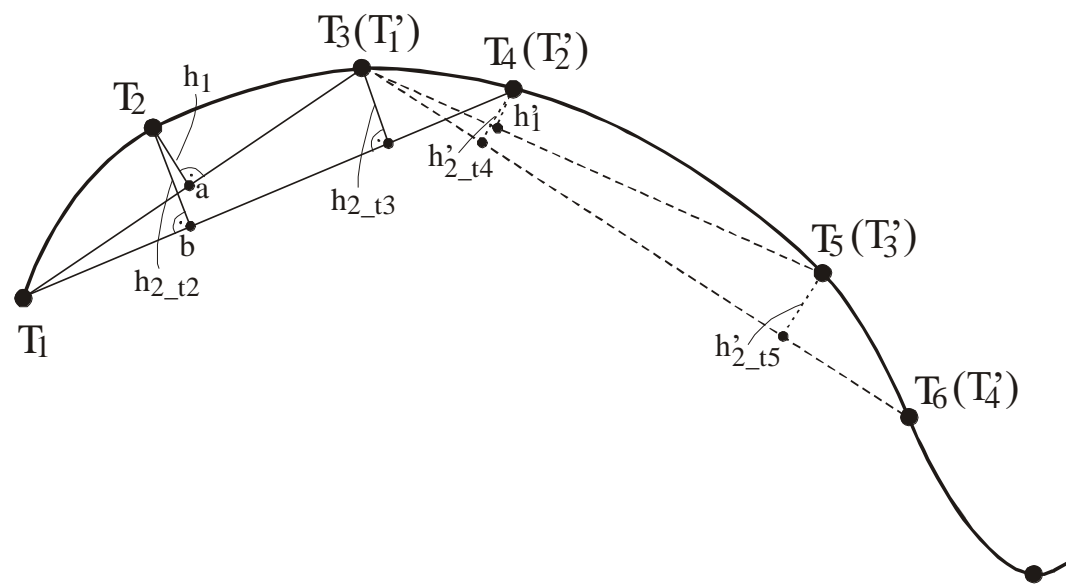
Koncept ove popularne metode (koju su razvili D. F. Rogers i J. A. Adams), se zasniva na semplovanju tačaka na osnovu dužine tetive.

Kao **kriterijum** za donošenje odluke koju tačku zadržati, koristi se **visina tetive ( $h$ )** između kontinualnih tačaka.

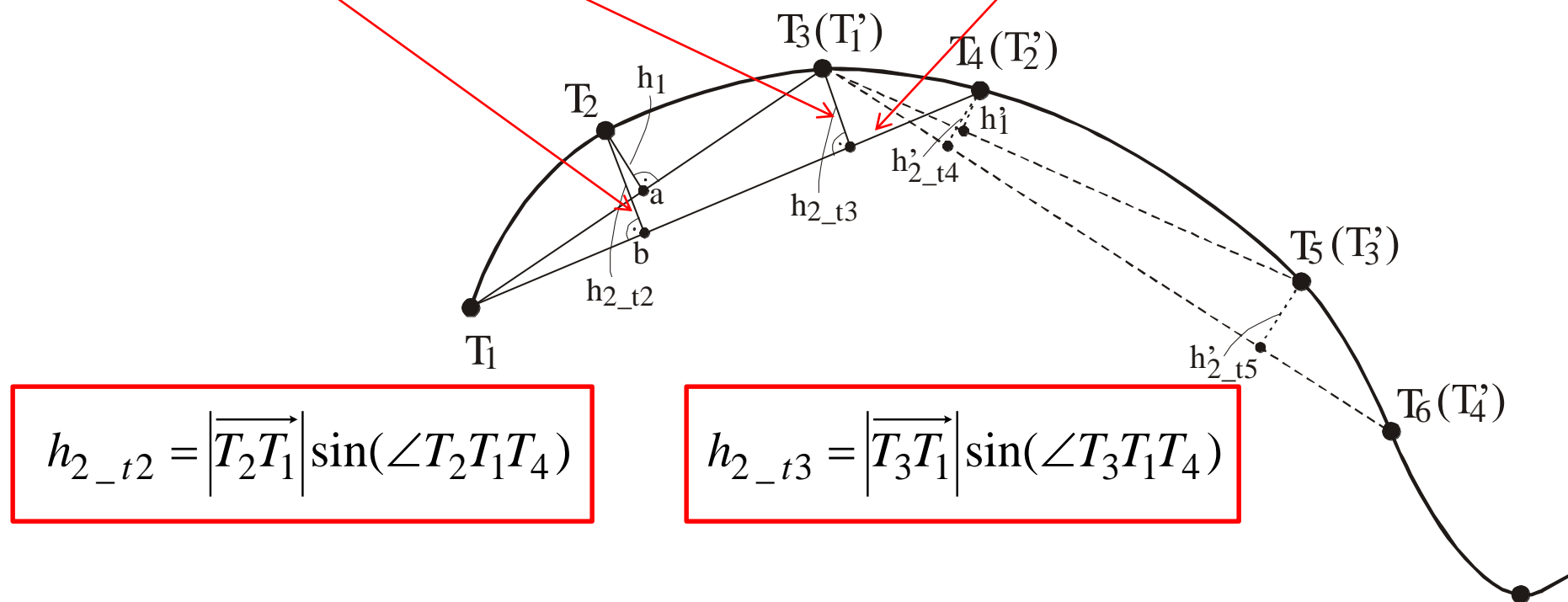
**Procedura:** Najpre se definiše visina tetive za donošenje odluke  $h_r$  i označi se prva skenirana tačka ( $T_1$ ) kao referentna tačka skenirane krive.

Zatim se povezuju referentna tačka i treća skenirana tačka ( $T_3$ ) tako da formiraju pravu liniju i izračunava se najmanje rastojanje  $h_1$  druge skenirane tačke od prethodno kreirane prave (duži  $T_1T_3$ ):

$$h_1 = \left| \overrightarrow{T_2T_1} \right| \sin(\angle T_2T_1T_3)$$



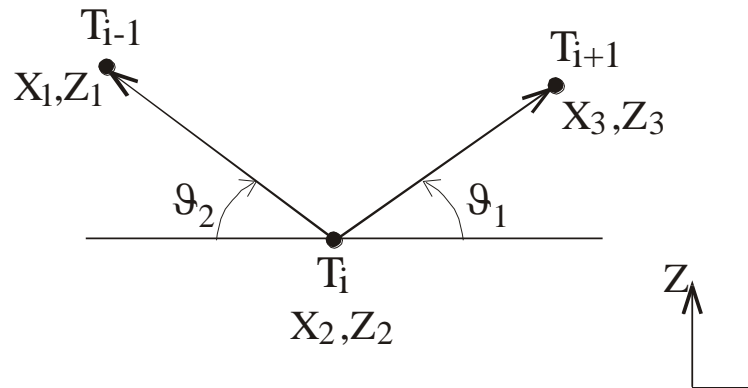
- Ukoliko je rastojanje veće od visine tetive:  $h_1 > h_r$ , druga skenirana tačka se zadržava, označava kao kontrolna tačka krive i selektuje se kao referentna tačka za sledeći ciklus odlučivanja.
- Ukoliko je pak  $h_1 < h_r$ , druga tačka se eliminiše, a kreira se nova tetiva između referentne tačka i tačke  $T_4$  i izračunava se visina tetive u drugoj i trećoj skeniranoj tački ( $h_{2\_t2}$  i  $h_{2\_t3}$ ).
- Ukoliko je  $h_{2\_t2} > h_r$  ili  $h_{2\_t3} > h_r$  tada se treća skenirana tačka  $T_3$  selektuje kao kontrolna tačka.



# Metoda redukovanja na osnovu nivoa pravosti

Kod ove metode se analizirana tačka eliminiše ukoliko ista sa dve susedne tačke može da formira "pravu" liniju, pri čemu korisnik definiše željeni nivo pravosti u skladu sa potrebnim nivoom preciznosti u rekonstruisanju površine.

a)



$$\theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{Z_3 - Z_2}{|X_3 - X_2|} \right)$$

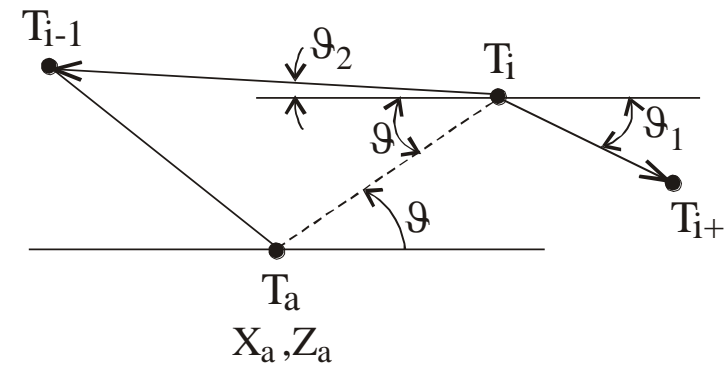
$$\Phi = |\theta_1 + \theta_2|$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{Z_1 - Z_2}{|X_1 - X_2|} \right)$$

$$\Psi = |\theta + \theta_2|$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{Z_1 - Z_a}{|X_1 - X_a|} \right)$$

b)



$T_{i+1}$  - tačka koja sledi tačku koja se analizira

$T_i$  - tačka koja se analizira,

$T_{i-1}$  - tačka koja prethodi u listi snimljenih podataka o merenoj krivoj,

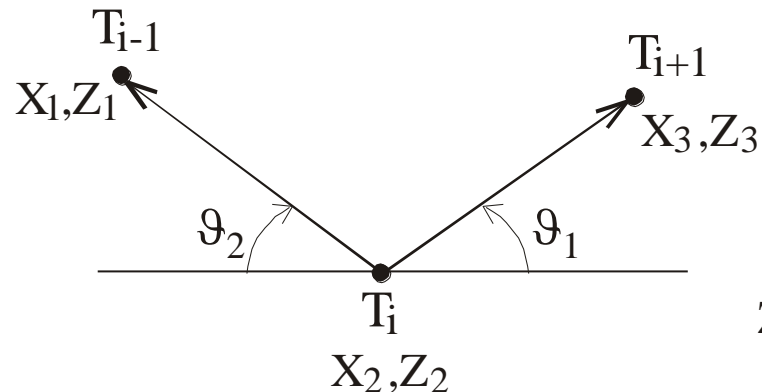
$T_a$  - tačka koja je ili eliminisana ili sačuvana u prethodnom koraku izbora,

$\Phi$  i  $\Psi$  – uglovi koji opisuju u kom nivou  $T_i$  može da reprezentuje karakteristiku izmerene krive.

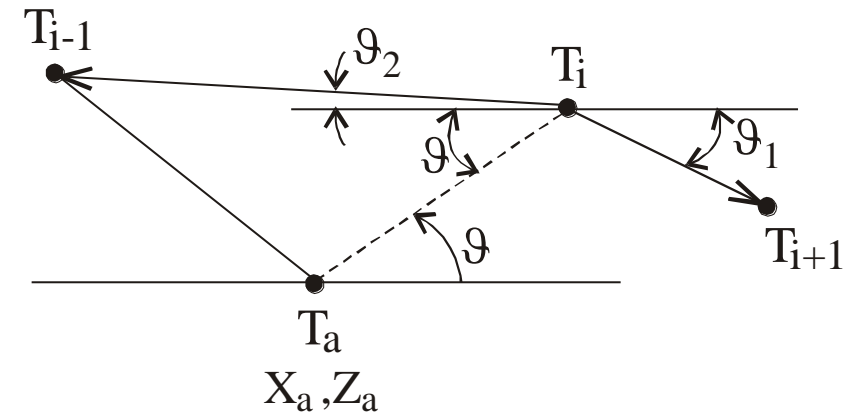
## Kriterijumi:

- Veće  $\Phi \Rightarrow$  veće promene u nagibu između  $T_i$  i dve susedne tačke;
- $\Phi$  dovoljno veliko (veće od željenog nivoa pravosti)  $\Rightarrow T_i$  se zadržava kao karakteristična tačka skenirane krive;
- $\Phi$  dovoljno malo (manje od željenog nivoa pravosti)  $\Rightarrow T_i$  se eliminiše;
- **Dodatni uslov redukcije:**  $T_a$  poslednja eliminisana tačka, a  $\Psi$  dovoljno veliko (veće od željenog nivoa pravosti)  $\Rightarrow T_i$  se zadržava.
- $\Phi$  ili  $\Psi$  veći od željenog nivoa pravosti  $\Rightarrow T_i$  se zadržava kao karakteristična, a tačke  $T_i$  i  $T_{i+1}$  iz prethodnog ciklusa odlučivanja u novom ciklusu postaju  $T_{i-1}$ , odnosno  $T_i$ , respektivno.
- $\Phi$  i  $\Psi$  manji od željenog nivoa pravosti  $\Rightarrow T_i$  se eliminiše, a  $T_{i+1}$  iz prethodnog ciklusa odlučivanja, u novom ciklusu postaje  $T_i$ .

a)



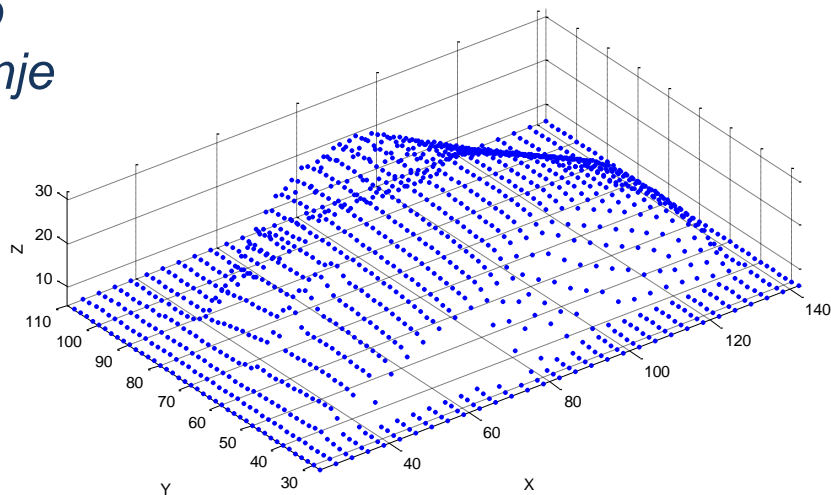
b)



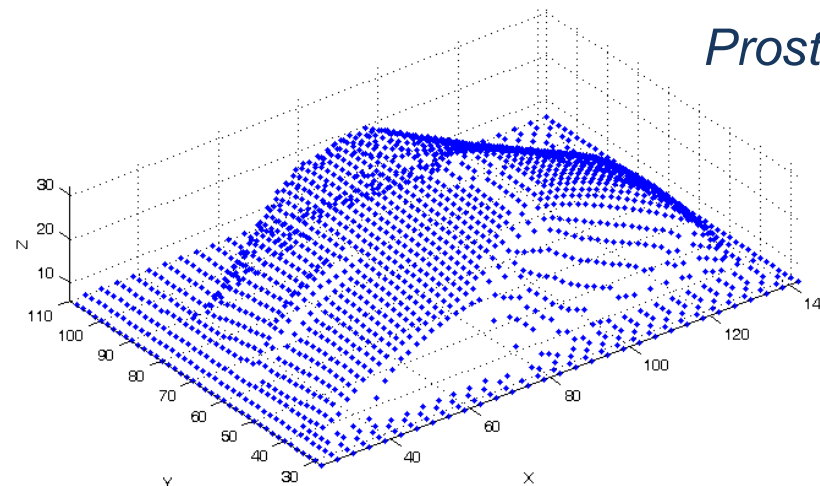
# Preprocesiranje podataka

Metoda redukovanja	Parametar redukovanja	Vrednost parametra	Rezultat redukovanja (broj tačaka)*	
			Skenirana kriva 70	Model miša
Originalni podaci	/	/	63	2563
Uniformno semplovanje	Koeficijent semplovanja	2	31	1302
Prostorna metoda	Prostorno rastojanje	2 [mm]	55	2053
Metoda tetive	Visina tetive	0,015 [mm]	57	1978
Metoda pravosti	Nivo pravosti	2°	41	1678

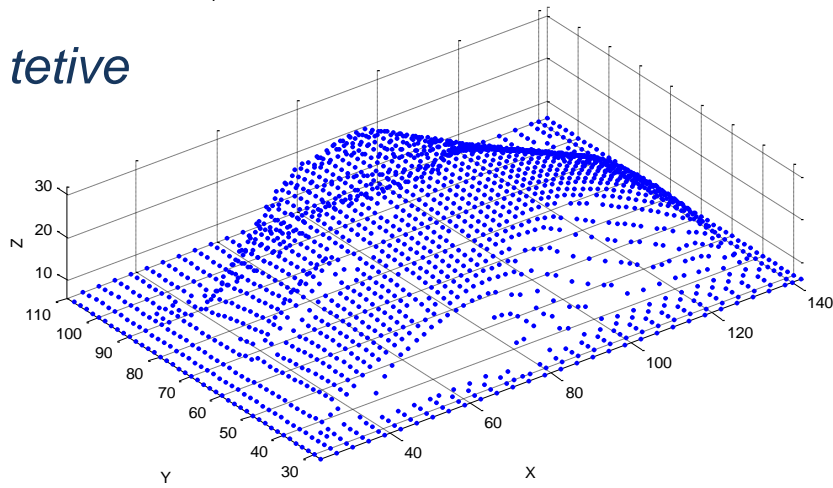
Uniformno semplovanje



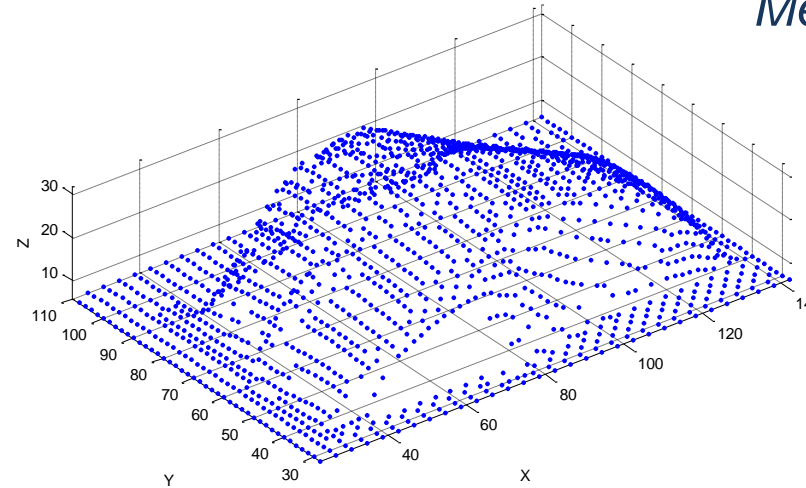
Prostorna metoda



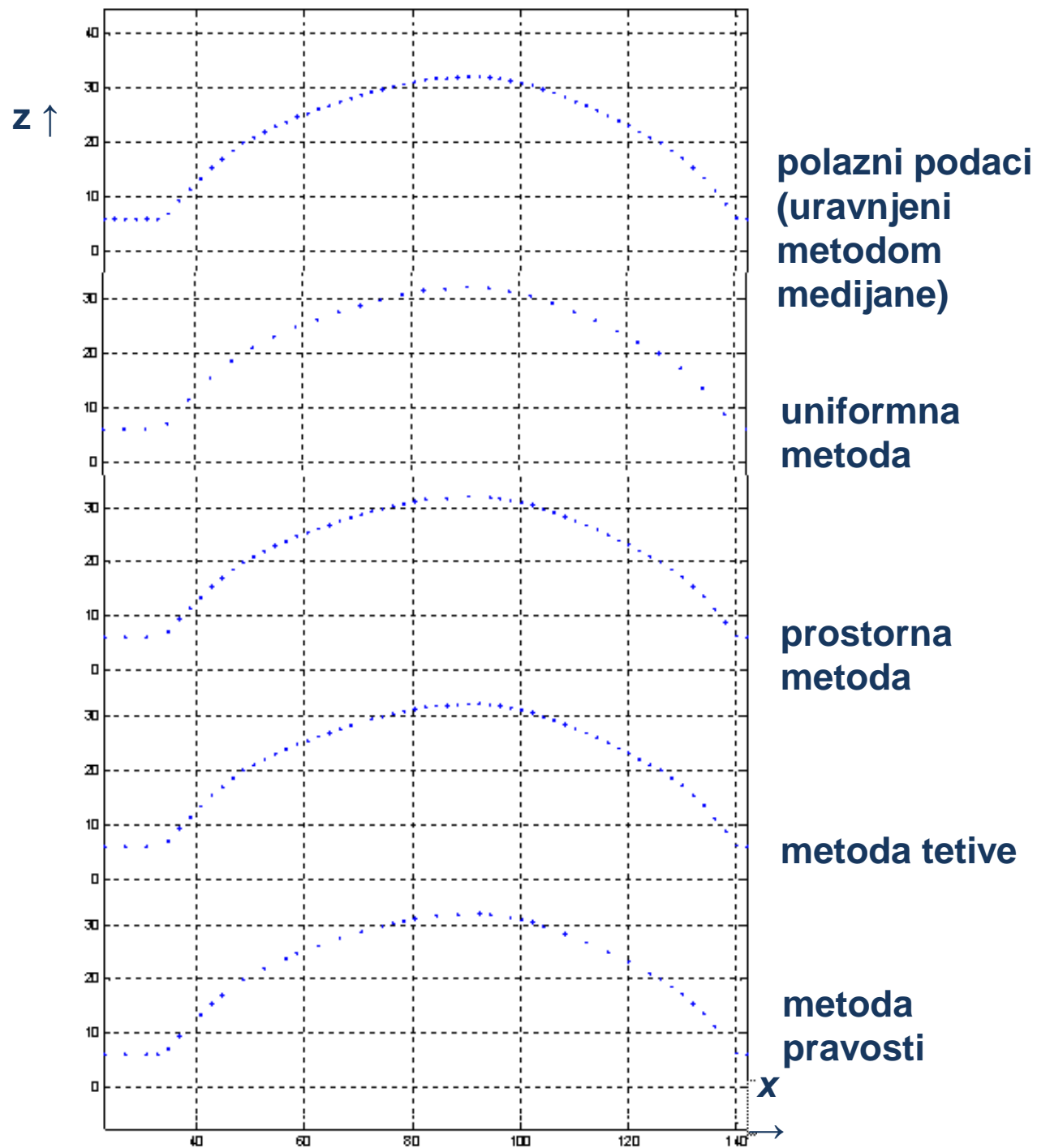
Metoda tetive

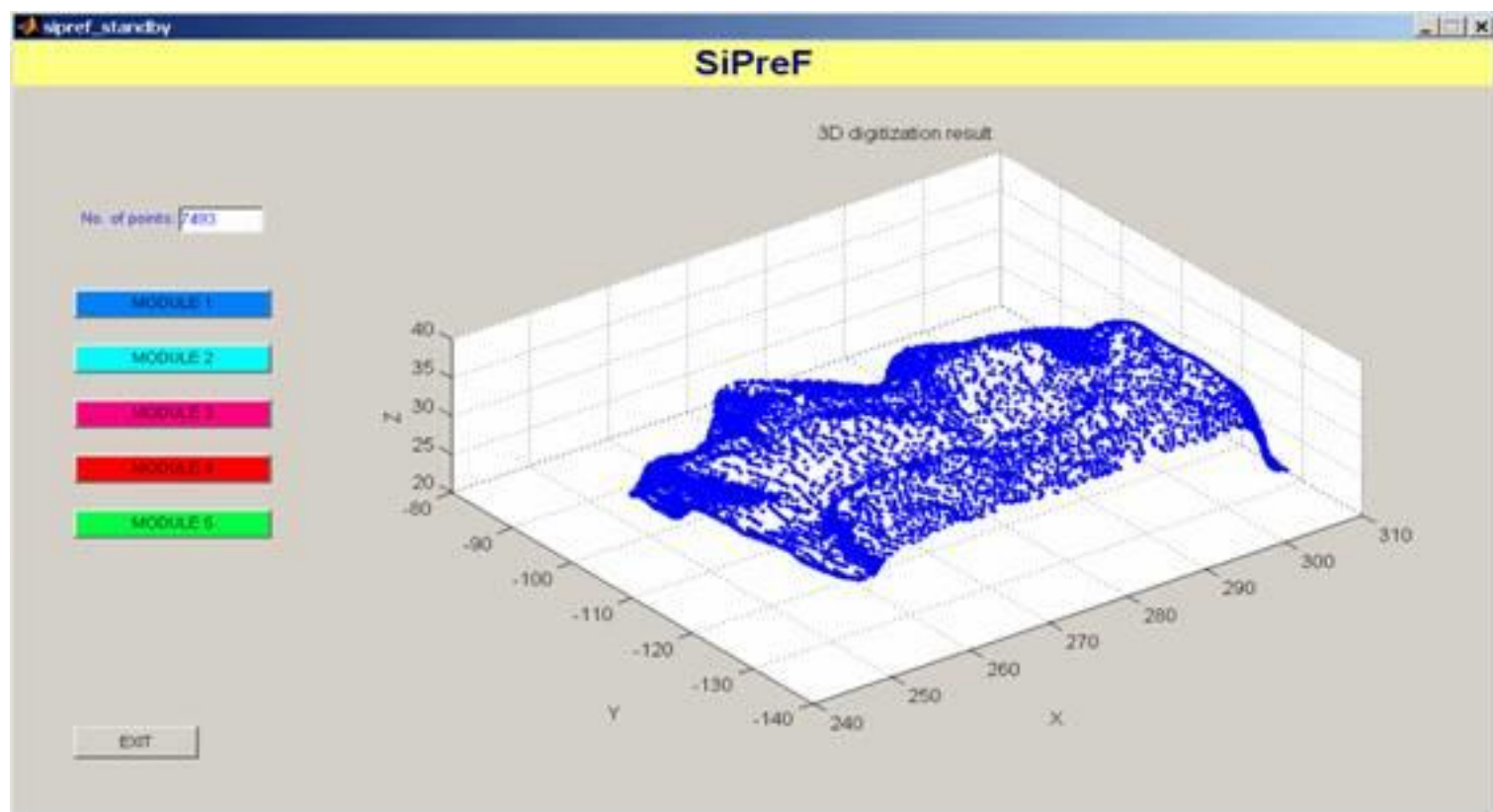


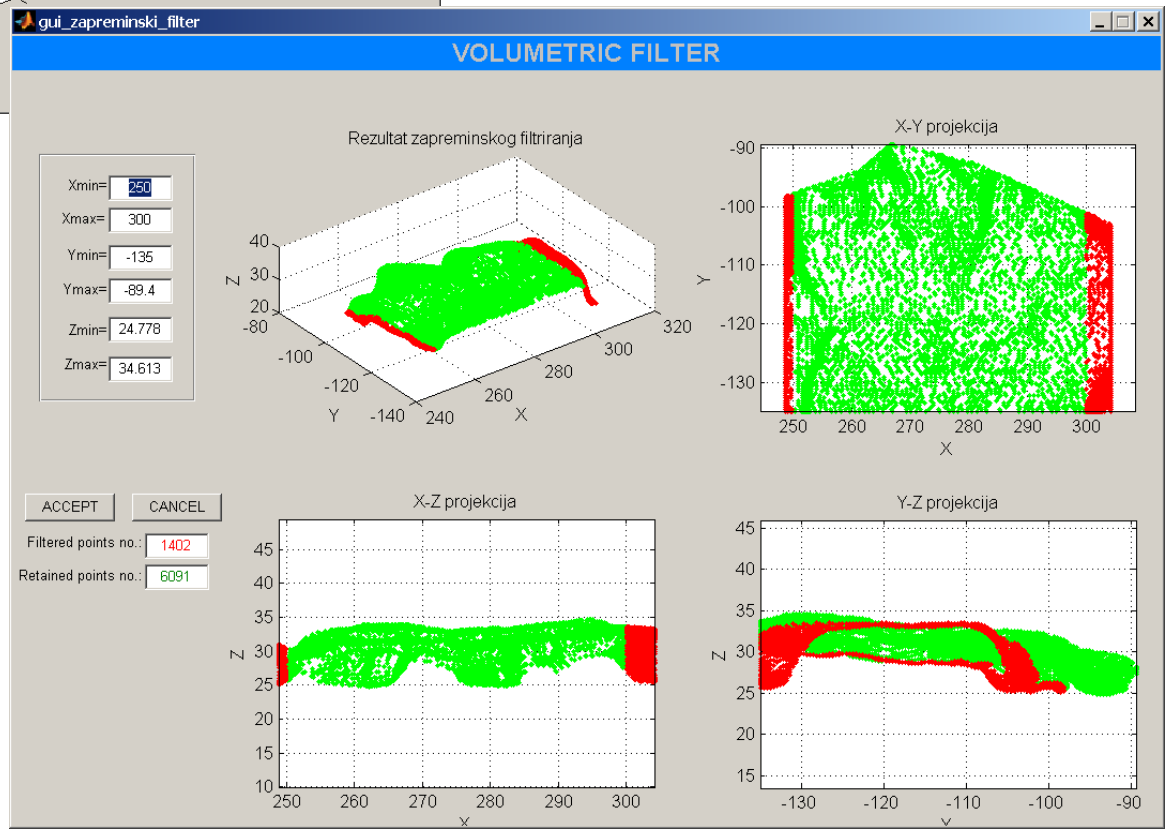
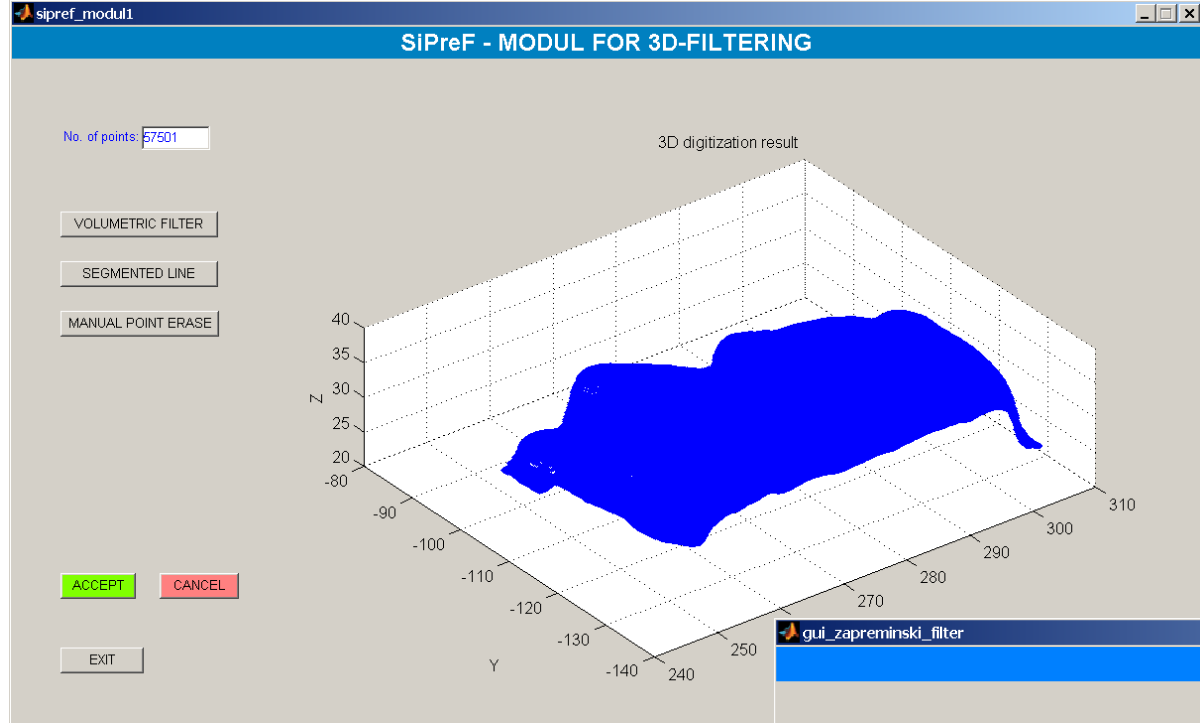
Metoda pravosti



**Preprocesiranje  
podataka**  
Uporedni prikaz metoda  
za redukovanje podataka  
(na primeru jedne krive)









# SiPreF - MODULE FOR EXTRACTION OF CROSS-SECTIONAL CURVES

X-Z plane

No. of cross-sections: 115

Current resolution: 0.4 [mm]

New resolution: 1.2 [mm]

Filtered point no.: 19357

Retained point no.: 38144

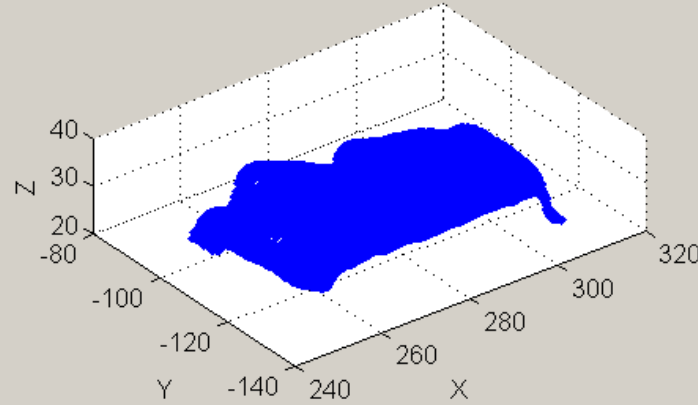
No. of cross-sections: 39

ACCEPT

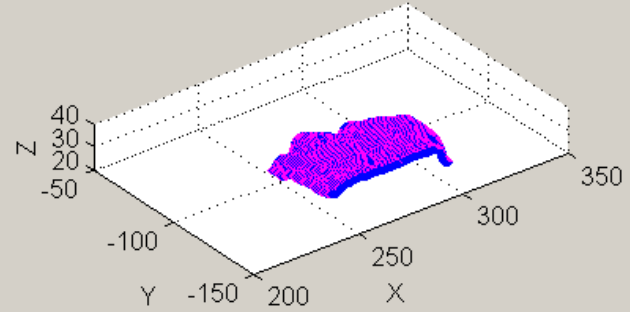
CANCEL

EXIT

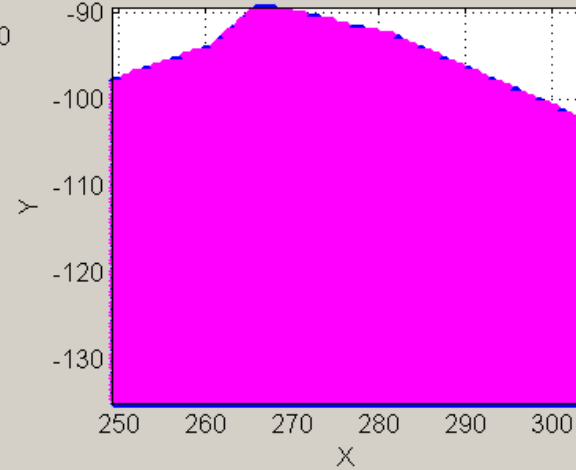
Resulting point cloud



Resolution change



Cross-sections



## SiPreF - CROSS-SECTIONAL FILTERING / SMOOTHING

No. of cross-sections: 115

Filtered point no.: 690

Retained point no.: 56811

Elimination of points at ends

No. of points: 3

Angle filter

Angle: 

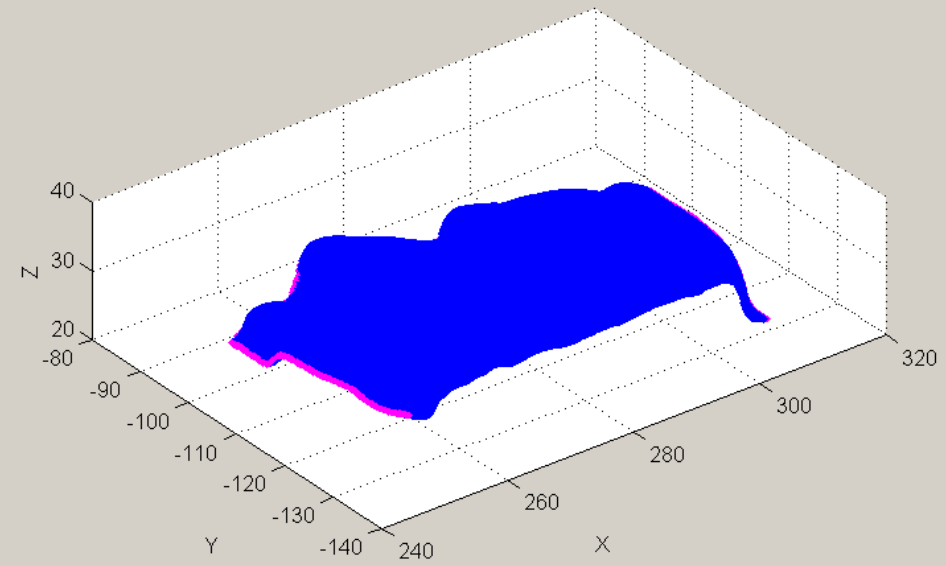
Smoothing of point data

Median method

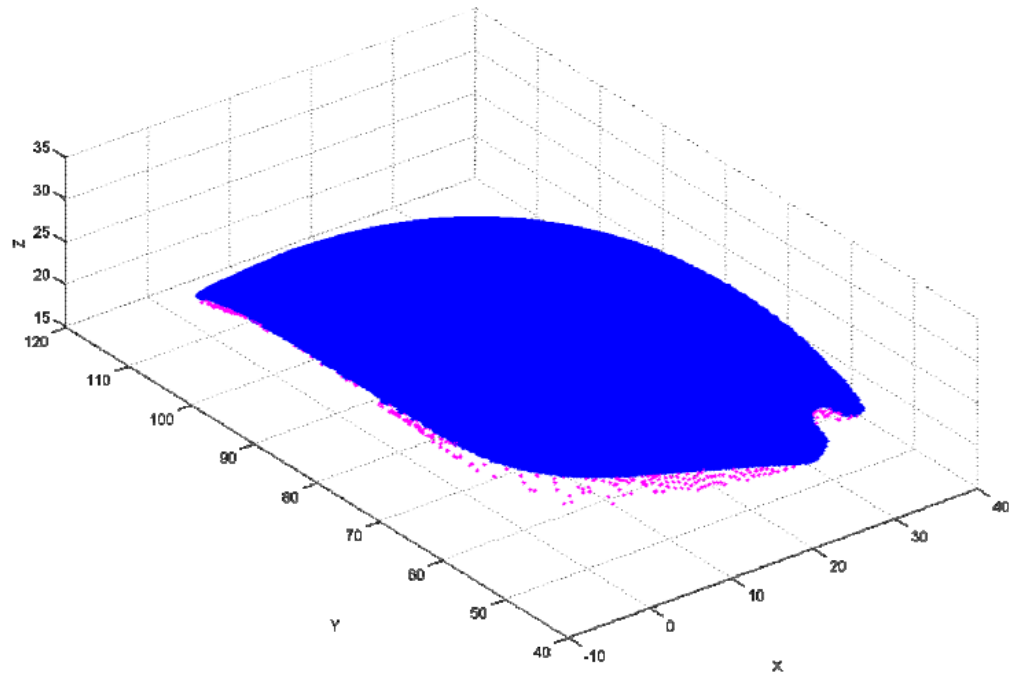
Smoothing window: 5 points

APPLY

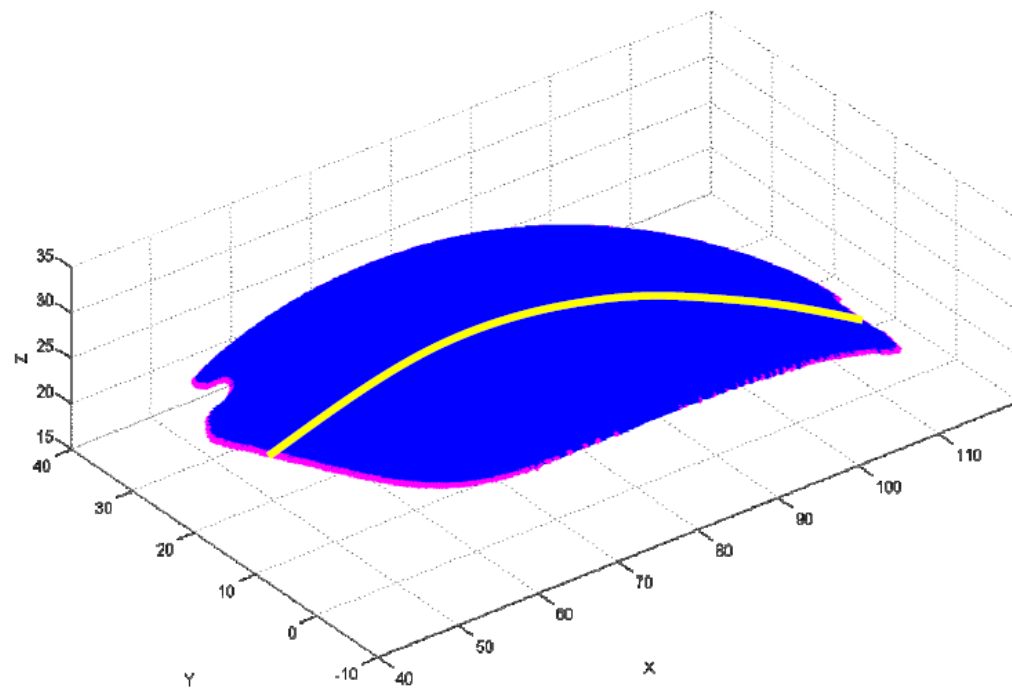
Result of end points erasing



EXIT



- eliminated points
- retained points



- eliminated points
- retained points

sipref\_modul4

## SiPreF - POINT DATA REDUCTION

No. of cross-sections:

No. of points:

Fuzzy reduction

Straightness method

Max. Allowed Deviation (MAD) =  [mm]

Reduction results

Filtered point no.:

Retained point no.:

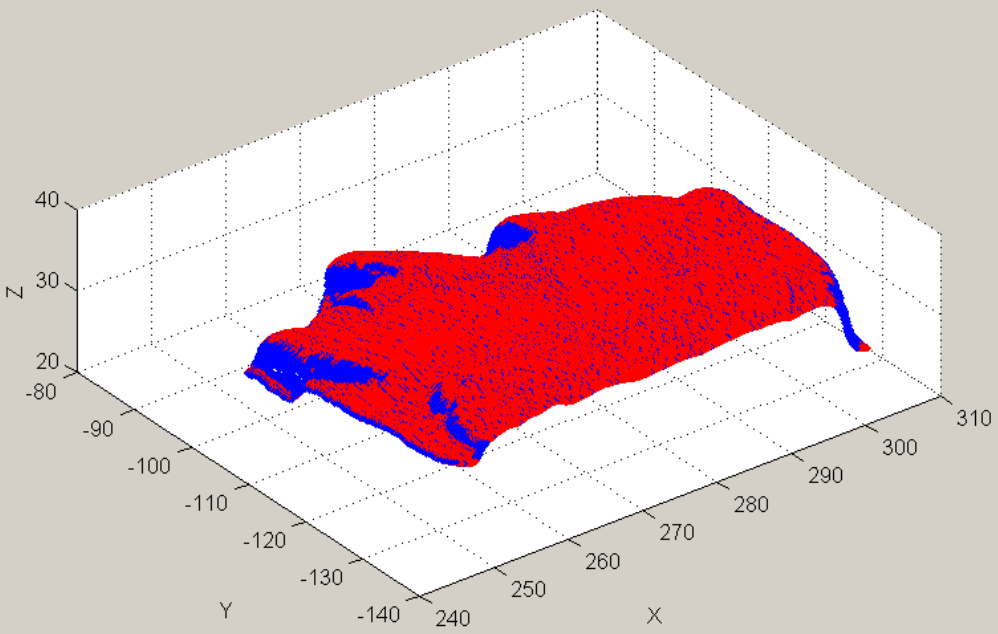
RL (%) =

MRE (mm) =

ARE (mm) =

Reduction time (s) =

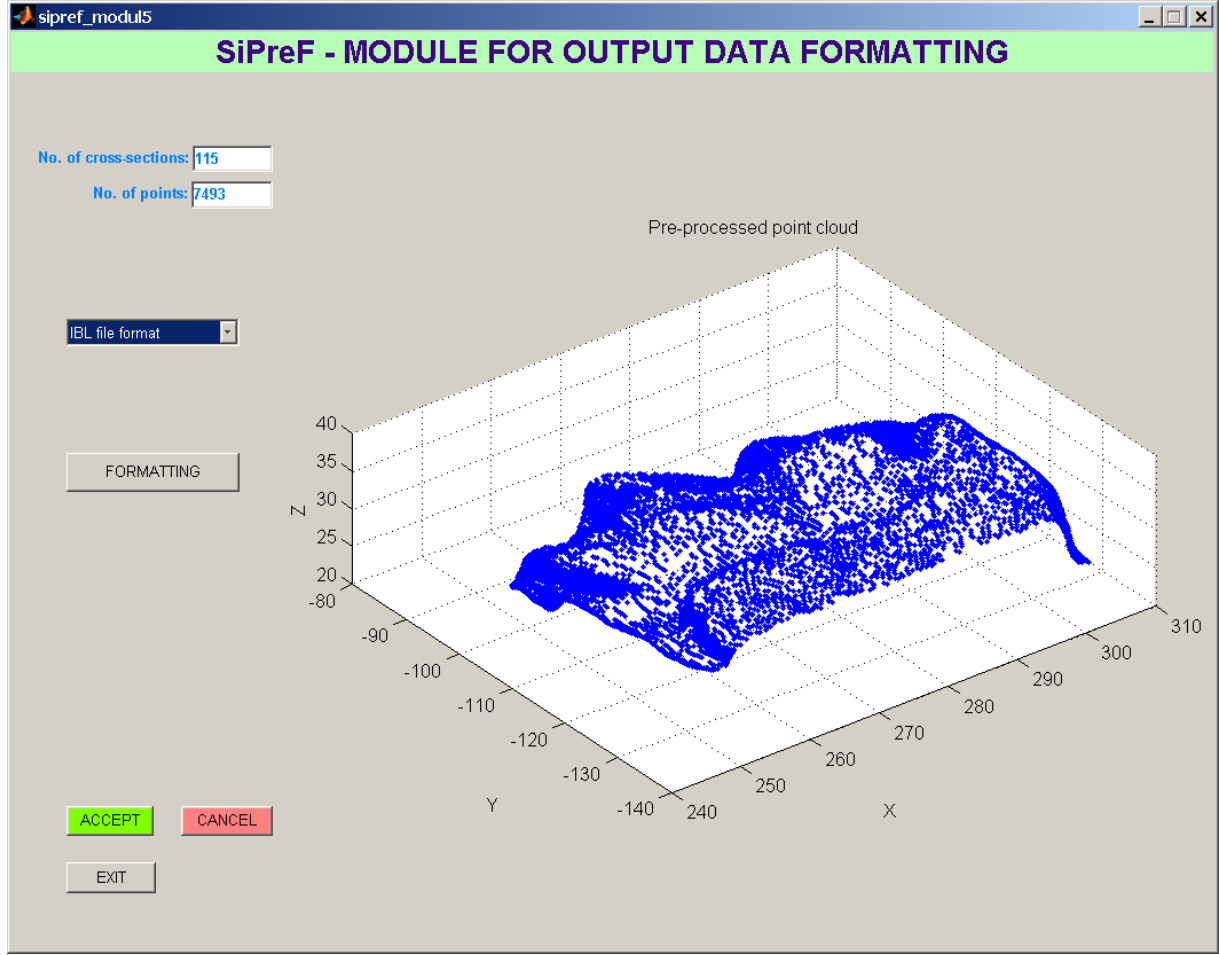
Result of point data reduction



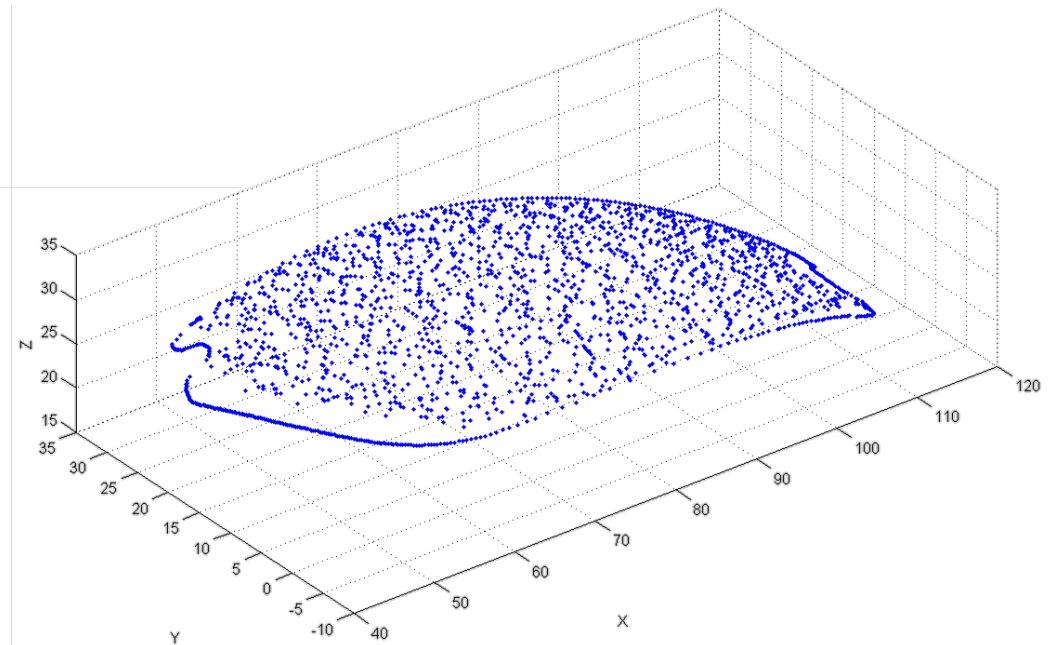
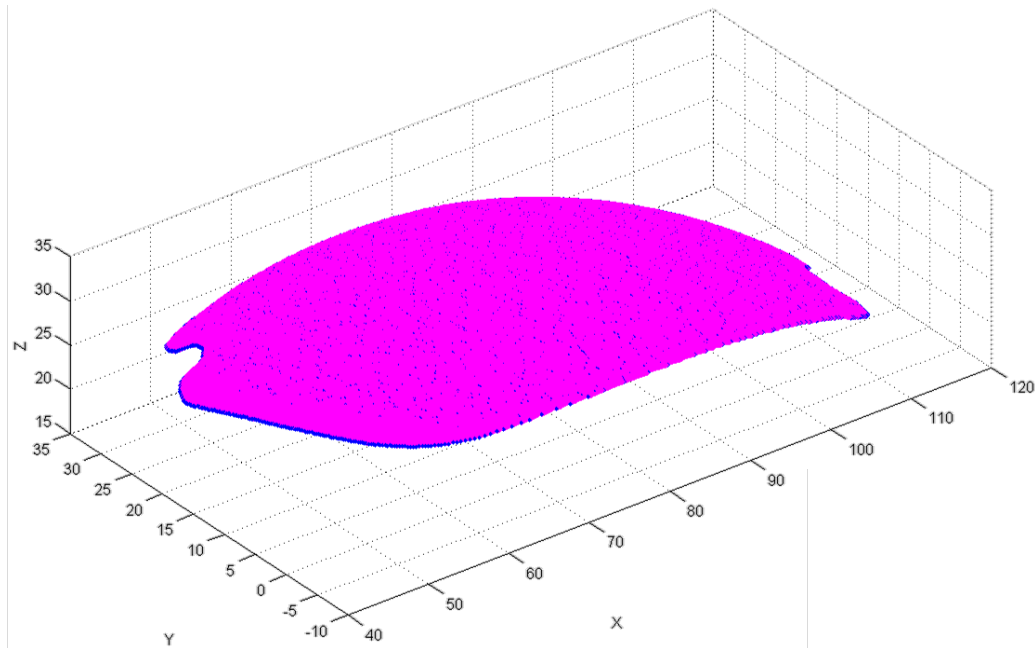
A 3D scatter plot showing the result of point data reduction. The plot is set in a 3D coordinate system with axes X, Y, and Z. The Z-axis ranges from -80 to 40, the Y-axis from -140 to -90, and the X-axis from 240 to 310. The data points are colored red and blue, forming a complex, elongated shape. The red points represent the retained data, while the blue points represent the filtered data. The shape appears to be a curved surface or a set of points along a path.

ACCEPT    CANCEL

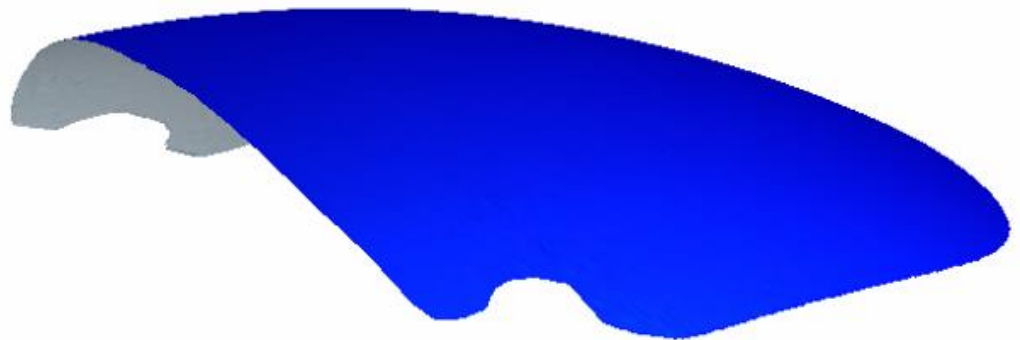
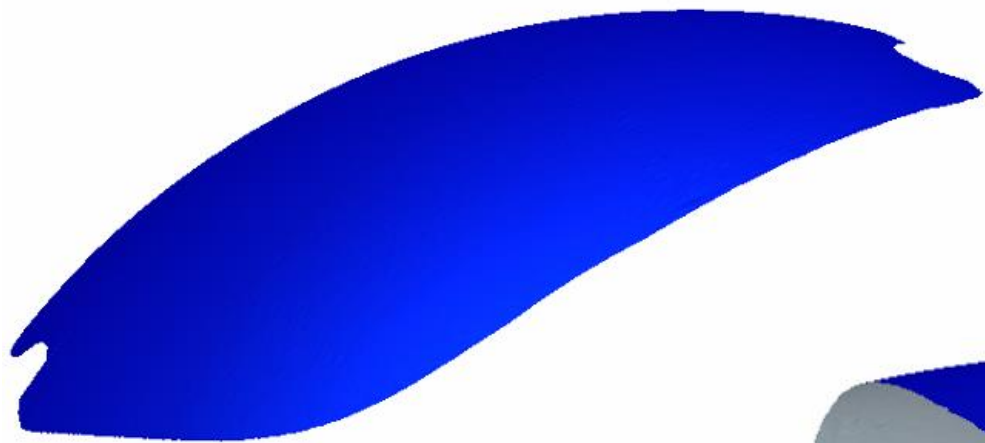
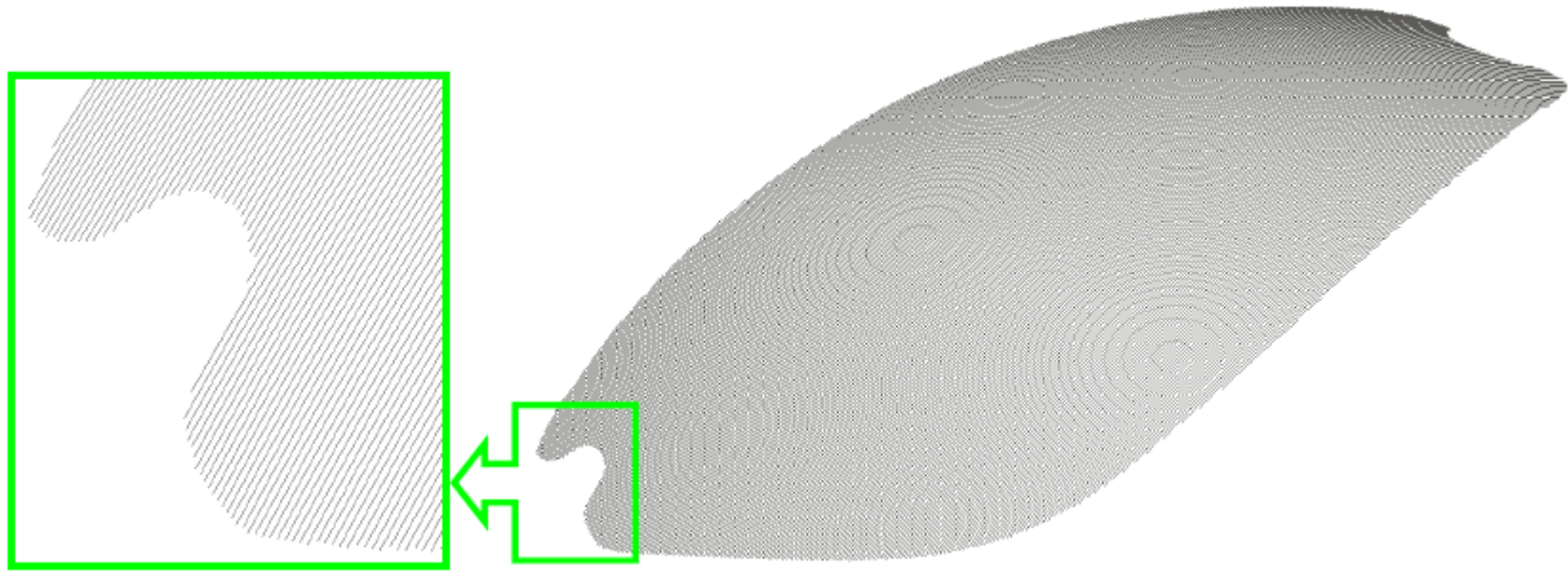
EXIT

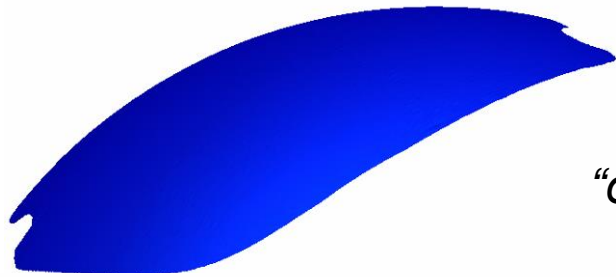


MAD [mm]	ME [mm]	AE [mm]	N <sub>P</sub>	N <sub>EP</sub>	RL [%]	N <sub>R</sub>
0.03	0.02835	0.00265	109,528	107,466	97.82	2,062

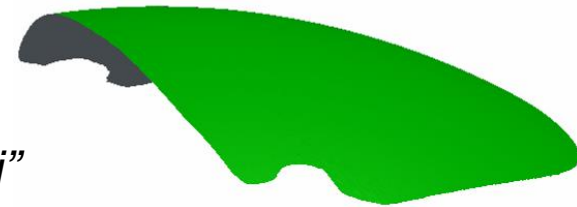
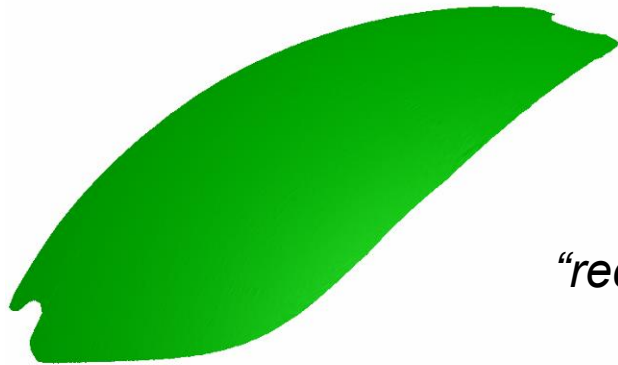


- eliminisane tačke
- zadržane tačke





*“original”*



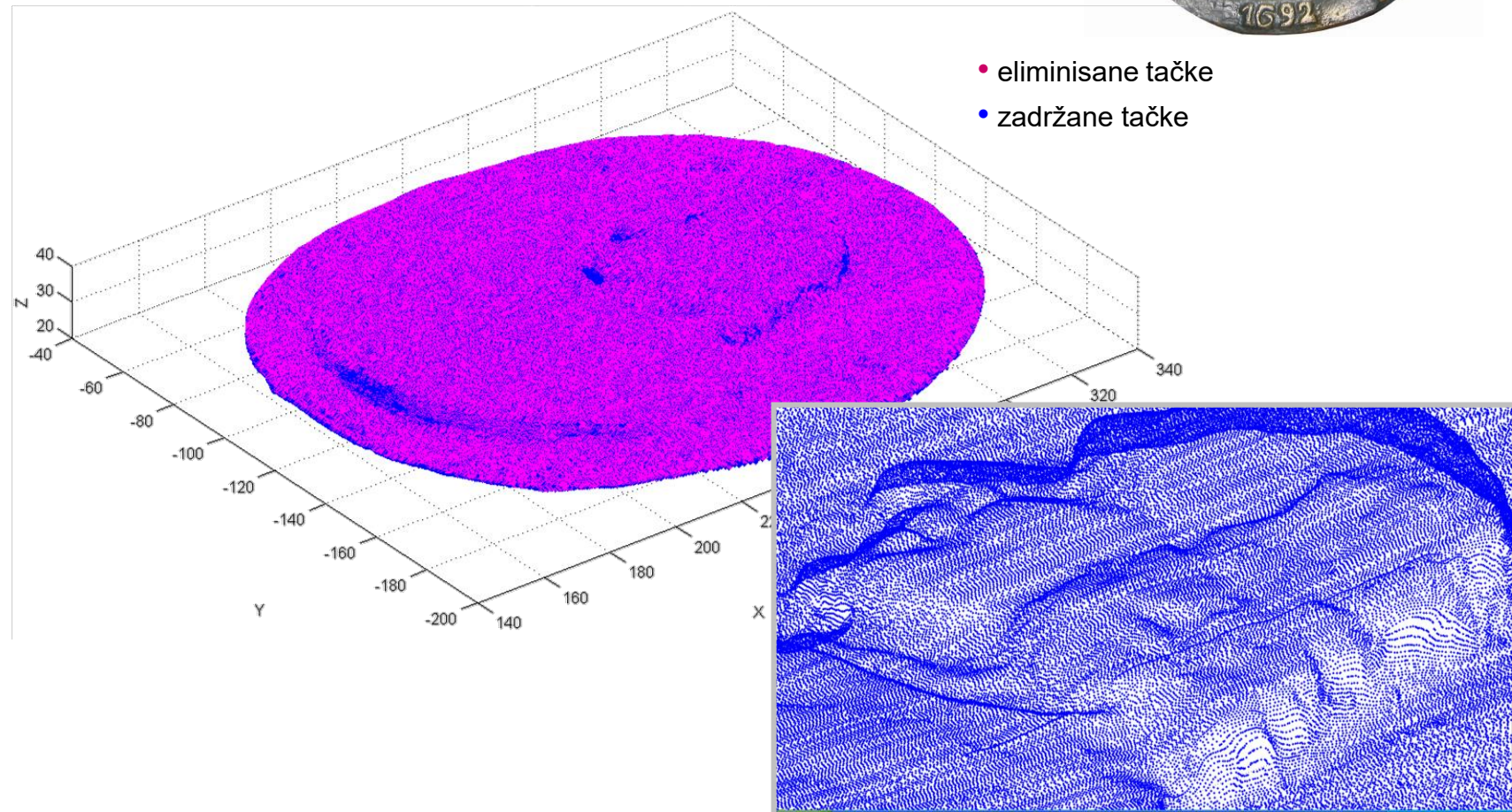
*“redukovani”*

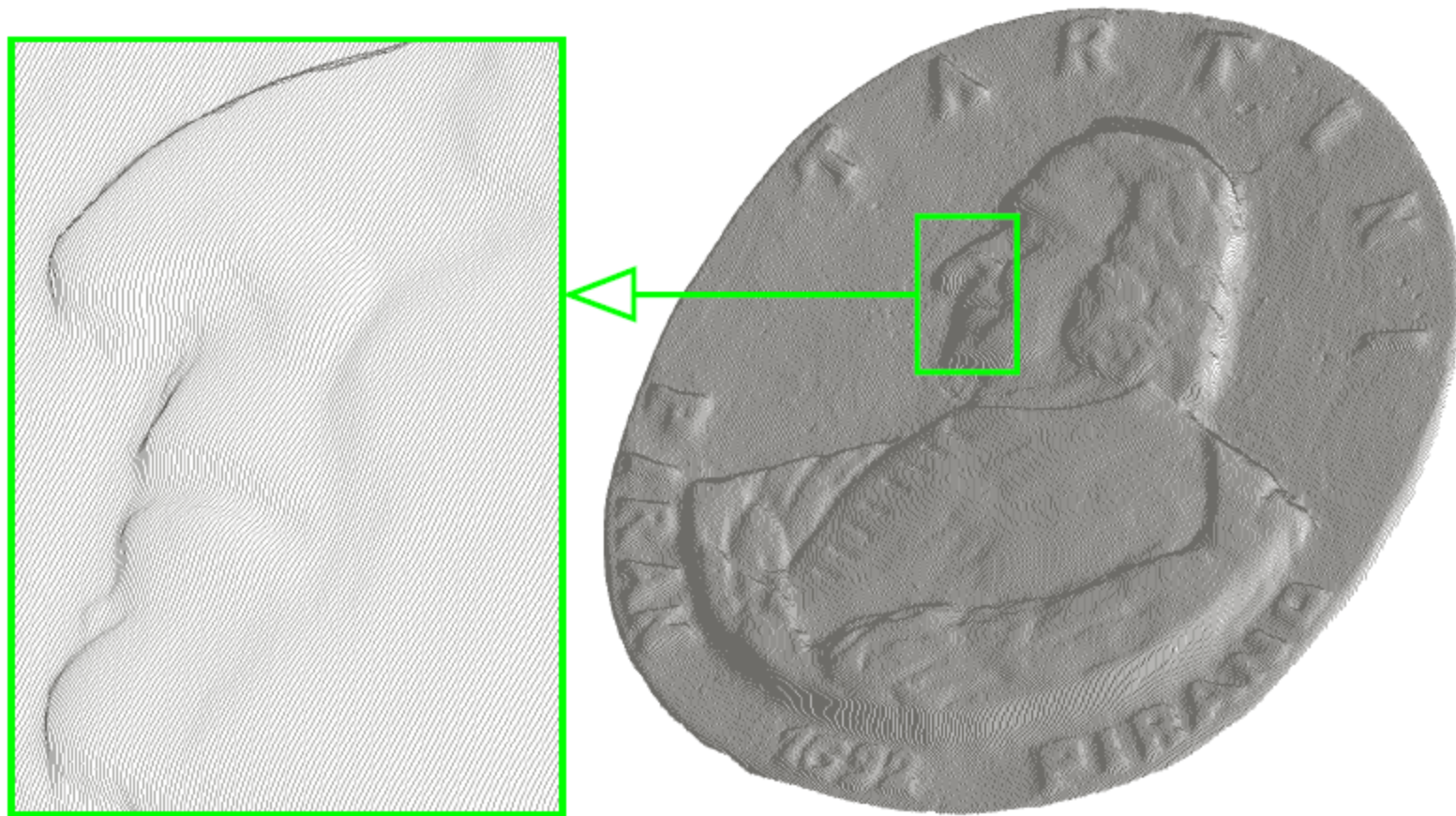


## Rezultat redukcije sa uveličanim detaljem



MAD [mm]	ME [mm]	AE [mm]	N <sub>P</sub>	N <sub>EP</sub>	RL [%]	N <sub>R</sub>
0.03	0.0291158	0.0030631	1117774	869398	77.86	248376





*Generisane presečne krive*



*"Original"*



*"Redukovani" model (77.86 %)*

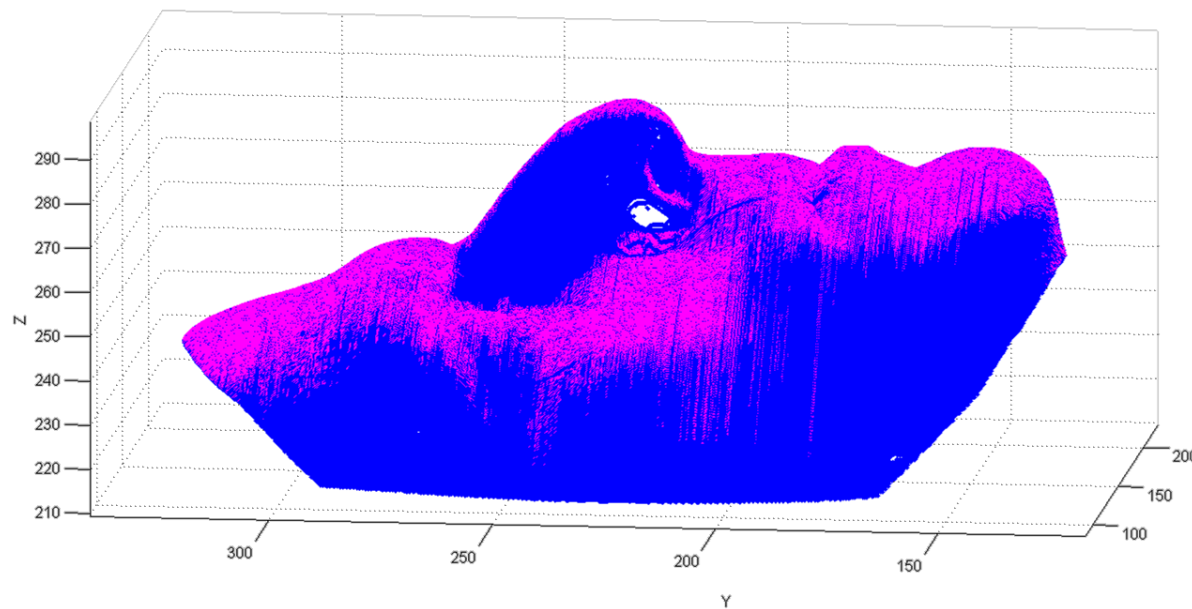




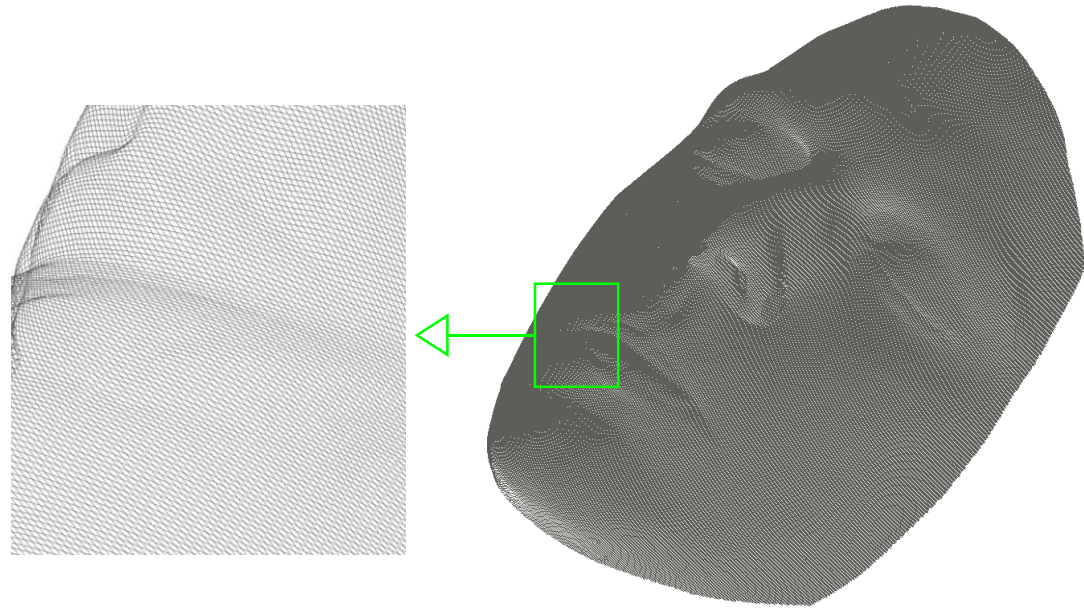
*Rezultat redukcije fazi-prostornom metodom*

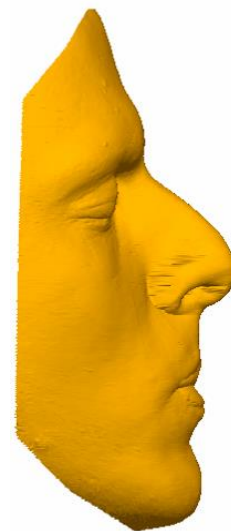


MAD [mm]	ME [mm]	AE [mm]	$N_P$	$N_{EP}$	RL [%]	$N_R$
0.04	0.03993	0.00491	564612	288801	53.29	275811

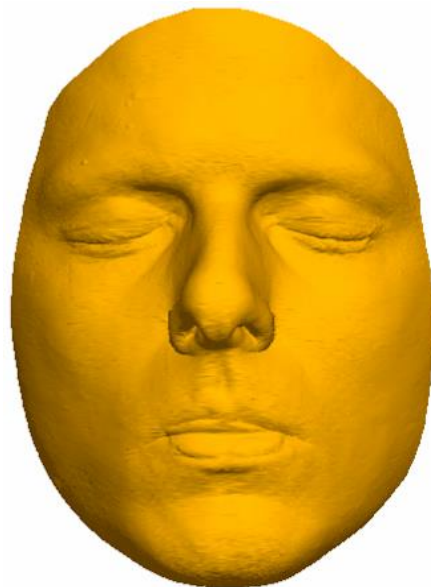


- eliminisane tačke
- zadržane tačke



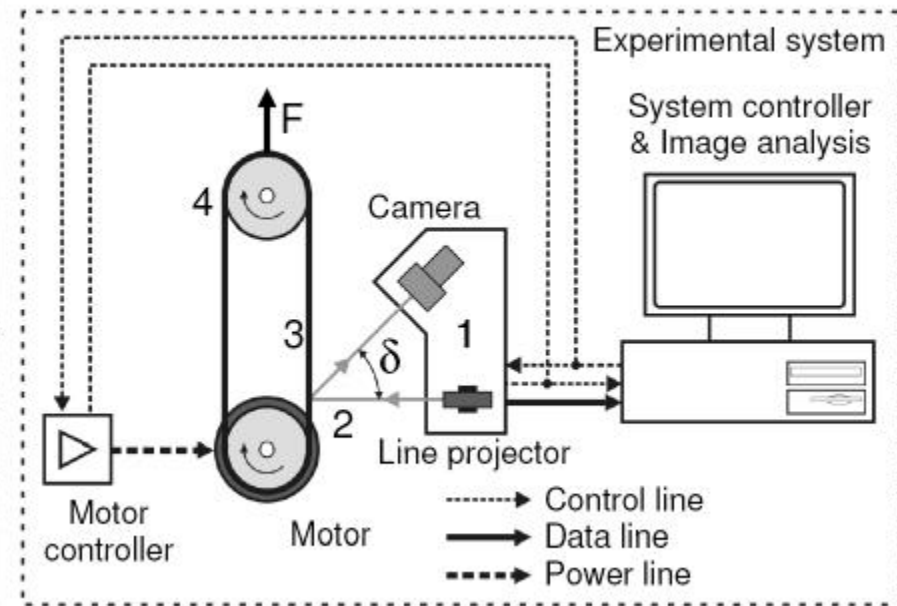
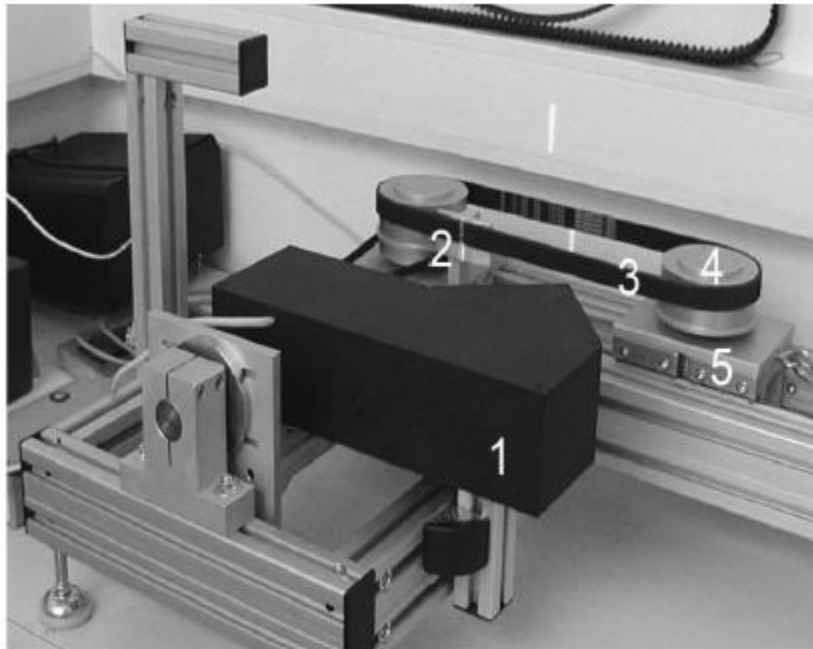
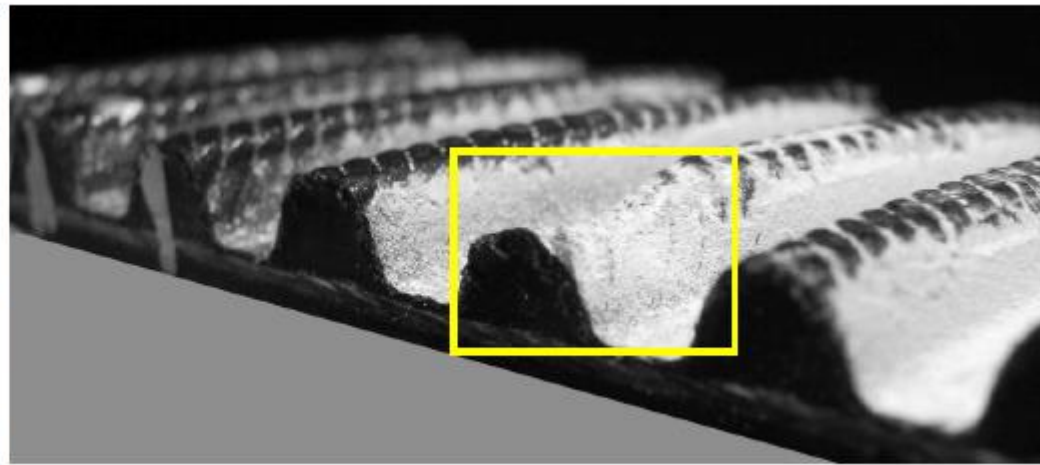
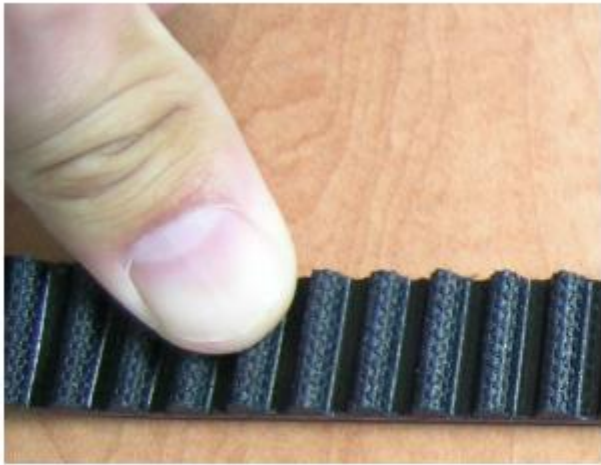


*“original”*



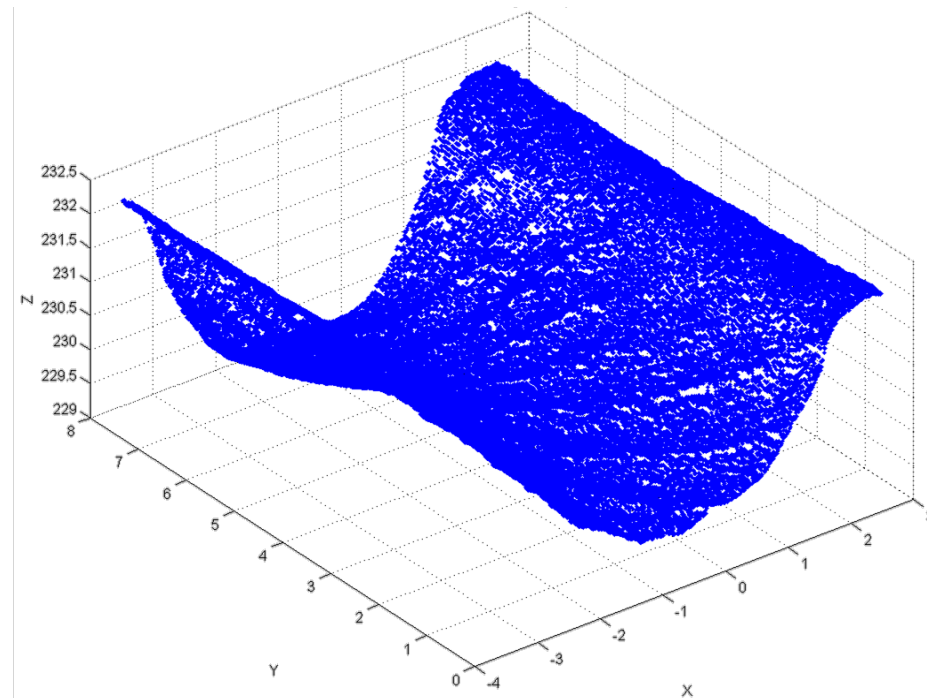
*“redukovani” model (53.29 %)*

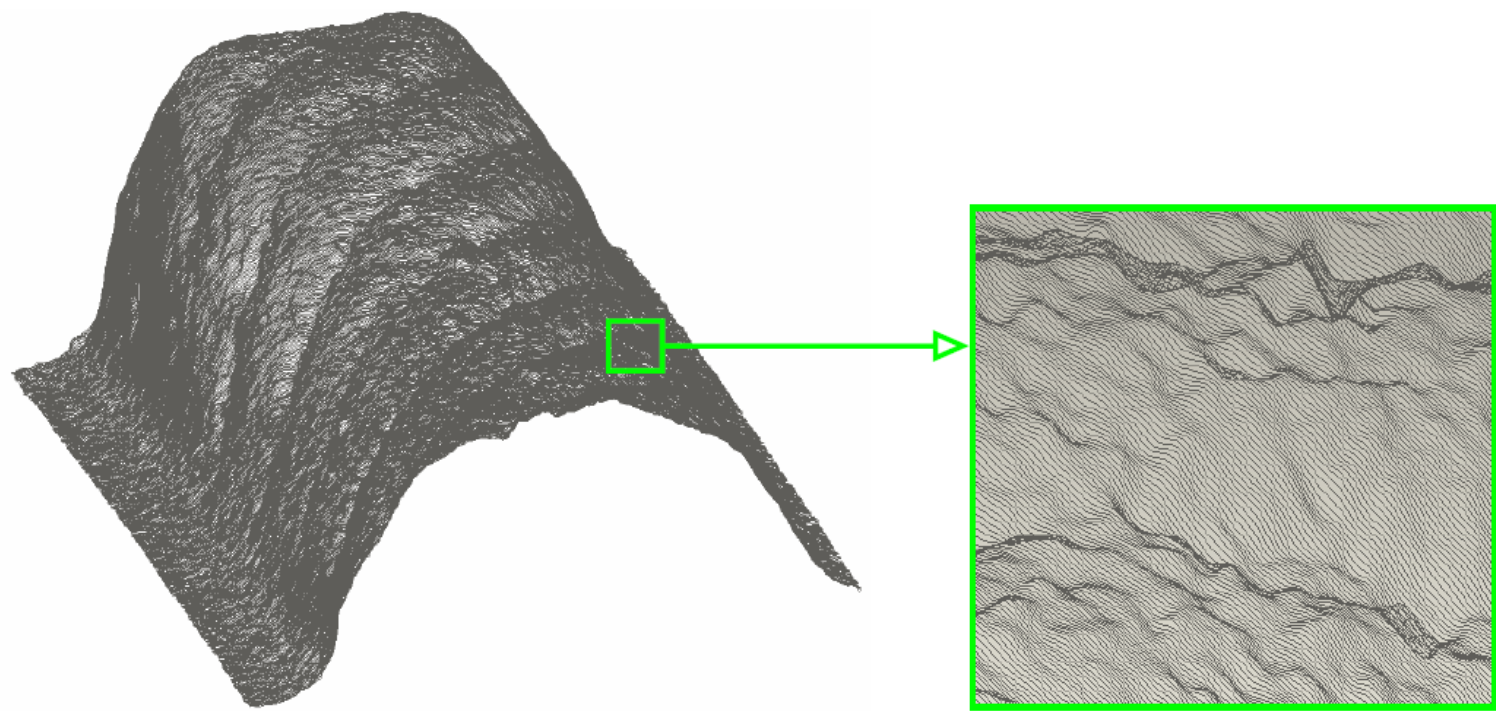


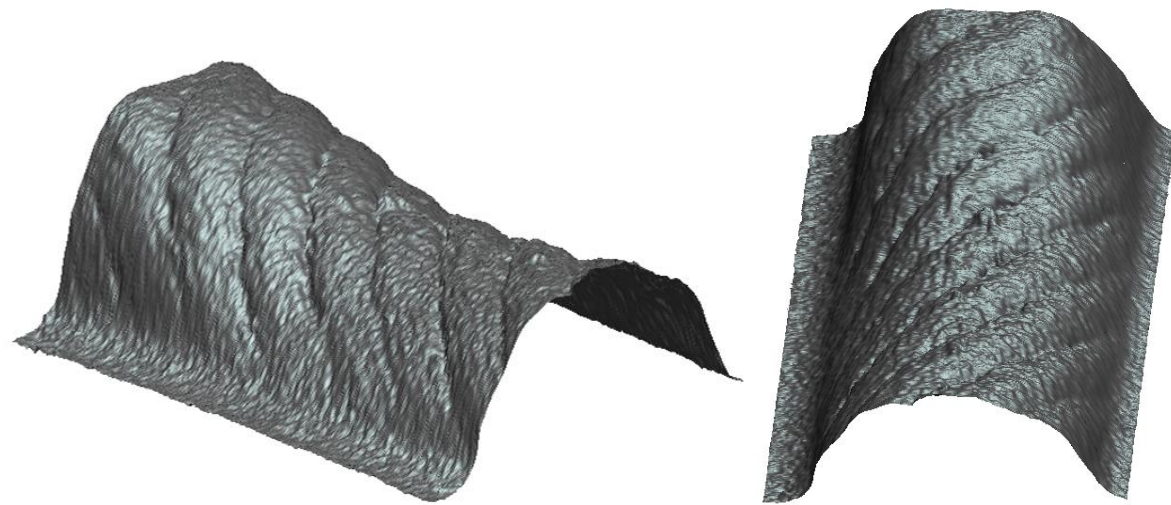




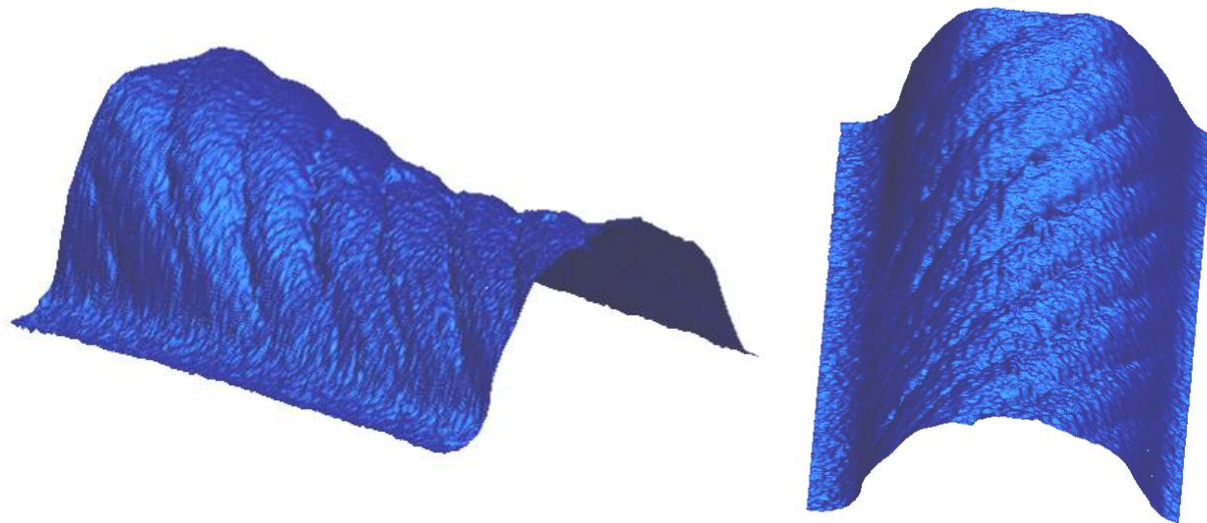
MAD [mm]	ME [mm]	AE [mm]	N <sub>P</sub>	N <sub>EP</sub>	RL [%]	N <sub>R</sub>
0.01	0.00968	0.00159	263,791	173,297	65.69	90,494







*“original”*



*“redukovani” model (65.69 %)*

# Redukcija podataka primenom rešetki

Kod ovog prilaza, **tačke** u rezultatu 3D-digitalizacije **se redukuju deljenjem** (svrstavanjem) **u rešetke** (eng. grid), **a zatim se vrši semplovanje** (izbor) reprezentativnih tačaka iz svake ćelije rešetke.

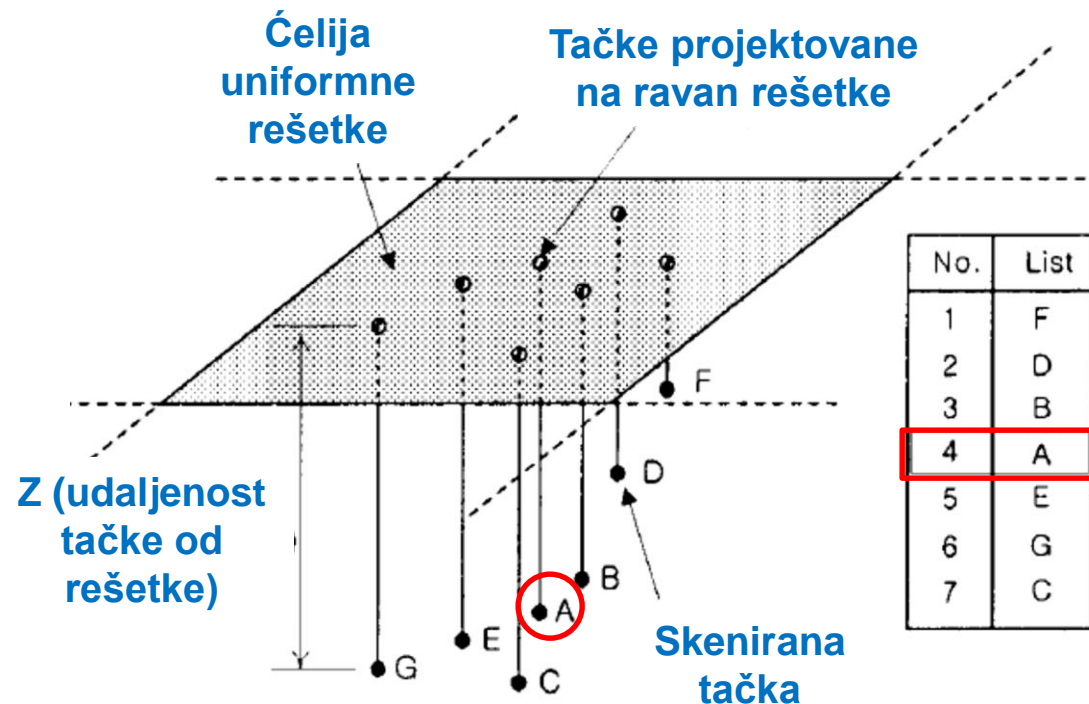
Razlikuju se dve grupe metoda za redukovanje podataka-tačaka preko rešetki:

- 1) sa uniformnim rešetkama i
- 2) ne-uniformnim rešetkama.

# Redukcija podataka primenom uniformnih rešetki

Procedura se sastoji u projektovanju tačaka na rešetkastu ravan i pridruživanju pripadajućih tačaka svakoj ćeliji rešetke.

Zatim se iz svake ćelije izabere jedna tačka, na bazi filtera zasnovanog na medijani: **tačke** u okviru svake ćelije **se sortiraju prema rastojanju od rešetkaste ravni** i **tačka locirana u sredini biva izabrana**.

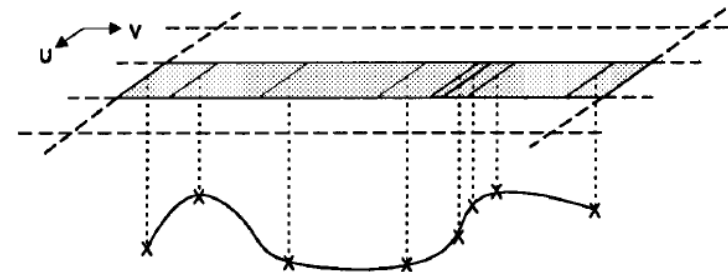
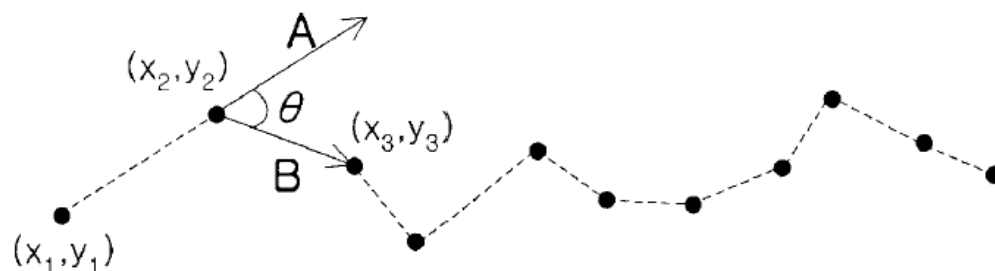


Za  $n$  broj tačaka u okviru rešetke, selektuje se  $(n+1)/2$  -ta tačka ako je  $n$  neparan broj, odnosno  $n/2$  -ta ili  $(n+2)/2$  -ta tačka ako je  $n$  paran broj.

# Redukcija podataka primenom ne-uniformnih rešetki

## Ne-uniformne rešetke u jednom pravcu:

- Tačke se selektuju na osnovu ugla koji se izračunava preko vektora kreiranih pomoću tri uzastopne tačke (ovi uglovi nose informaciju o nivou krivosti - kada je ugao mali i krivost je mala i obrnuto).



- Po u-pravcu je dimenzija rešetke fiksna i određena korakom skeniranja, dok je u v-pravcu promenljiva i određena geometrijom, tj. nivoom krivosti površine.
- Selektuju se tačke sa velikom krivošću, jer je u tim područjima oblik složen tako da se one moraju sačuvati tokom procesa redukovanja da bi se mogla reprezentovati površina objekta.
- U skladu sa tim, nakon ekstrakcije tačaka metodom ugaone devijacije, rešetka je po v-pravcu izdeljena shodno ekstrakovanim tačkama.

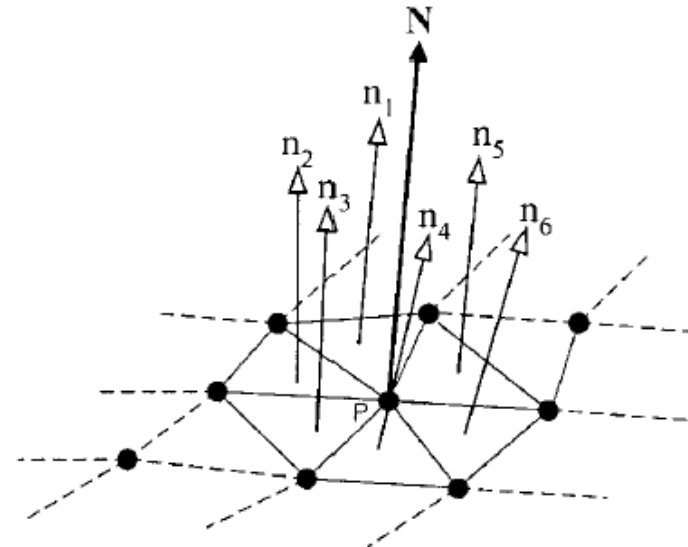


# Redukcija podataka primenom ne-uniformnih rešetki

## Ne-uniformne rešetke u oba pravca:

- Kod ove metode redukovanje se vrši na osnovu vektora-normala u pojedinačnim tačkama.
- Najpre se podaci-tačke poligonizuju povezivanjem tačaka u trouglove.
- Određivanje vektora-normala u tački se vrši preko vektora-normala susednih trouglova.
- Za tačku P postoji šest susednih trouglova i vrednost normale N se izračunava preko sledeće relacije:

$$N = \frac{n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6}{|n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6|}$$



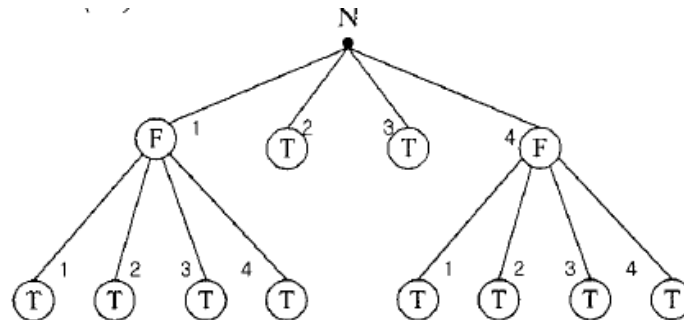
Izračunavanjem vektora-normala za sve tačke, generiše se ravan rešetke. Dimenzije rešetke određuje korisnik prema željenom nivou redukcije (veća redukcija => veličina rešetke se povećava i obrnuto).

Projektovanjem tačaka na ravan rešetke, tačke svake ćelije se grupišu i određuje se prosečna vrednost od vrednosti normala tih tačaka.

**Kao kriterijum za pod-deljenje ćelija rešetke, primenjuje se standardna devijacija od vrednosti normala u tačkama.**

Nivo standardne devijacije uzima u obzir i oblik dela i željeni nivo redukovanja podataka. Ukoliko je, na primer, standardna devijacija u ćeliji velika, to je znak da je geometrija površine objekta koja odgovara tom delu rešetke složena i da je potrebno dalje deljenje ćelije u cilju semplovanja više tačaka.

Ovakav proces deljenja mreže se naziva metodom kvadrantnog drveta.



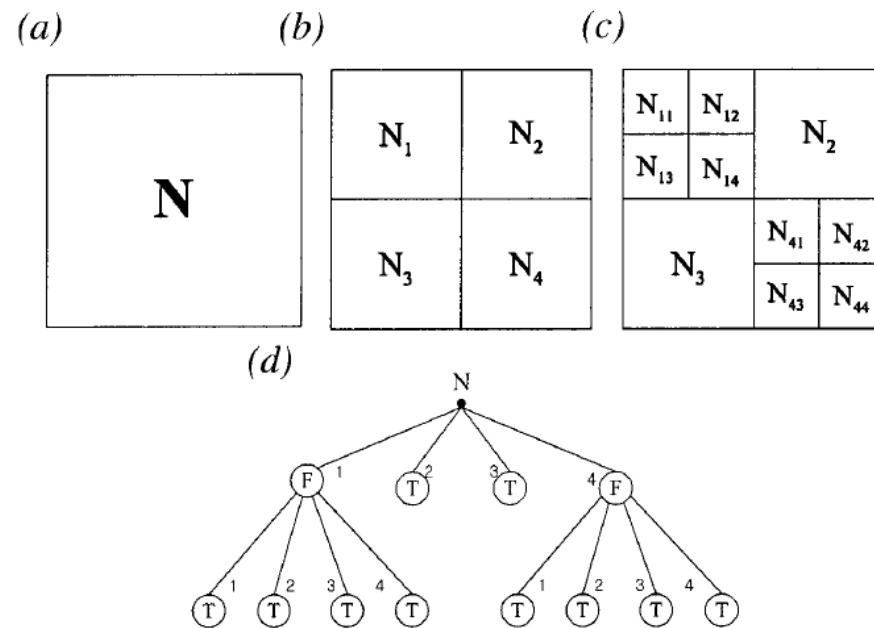


Ukoliko je standardna devijacija mreže veća od zadate vrednosti, ćelija se deli na četiri dela.

Proces se nastavlja sve dok standardna devijacija mreže ne bude manja od zadate vrednosti ili rešetka dostigne granični minimum zadat od strane korisnika.

Minimalna dimenzija rešetke zavisi od kompleksnosti oblika dela.

Nakon završetka formiranja rešetke, selektuje se reprezentativna tačka od tačaka koje pripadaju svakoj pojedinačnoj mreži i to primenom filtera na bazi medijane.



# Metode za redukciju podataka kod poligonalnih i mrežnih (mesh) modela

Redukcija podataka-tačkaka kod poligonalne RE-metodologije je zasnovana na redukovanju broja poligona u poligonalnom modelu. Do sada je razvijen veći broj metoda za redukovanje broja trouglova, mada su sve, manje-više, zasnovane na istom principu, koji se u najkraćem može opisati na sledeći način: *ravniji delovi površina opisuju se većim poligonima, dok je za opis površina sa većom krivošću neophodan veći broj manjih poligona.*

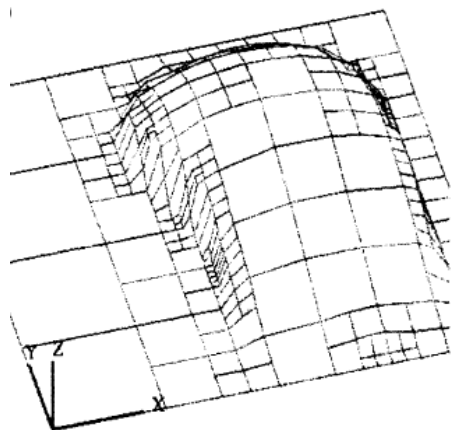
Redukcija podataka-tačkaka se u ovoj oblasti može podeliti u dve kategorije:

- 1) metode za manipulisanje trianguliranim podacima-tačkama i
- 2) metode zasnovane na prilazu "*nivoi detalja*" (*LOD - Level-Of-Detail*).

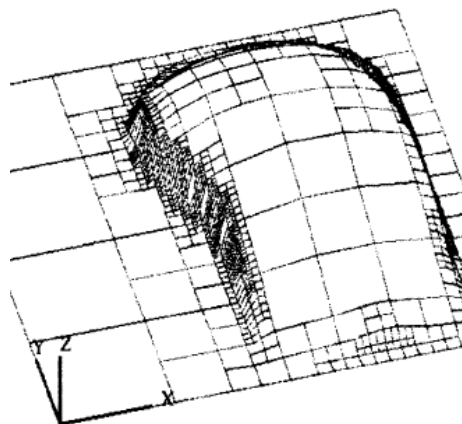
# Metode zasnovane na prilazu "nivoi detalja" (LOD - Level-Of-Detail)

- LOD tehnika se primenjuje za diskretan prikaz sa najvećom primenom kod mrežnih predstavljanja.
- LOD prikaz može biti sastavljen od strukturiranih ili nestrukturiranih mreža.
- Pošto su nestrukturirane mreže komplikovanije za implementaciju, najveći deo istraživanja vezanih za LOD tehniku usmeren je na strukturirane mreže.
- **LOD metoda se sastoji iz dve osnovne faze:**
  1. Konstrukcija hijerarhijske LOD strukture
  2. Primena procesa redukovanja podataka na različitim slojevima (nivoima) detalja.

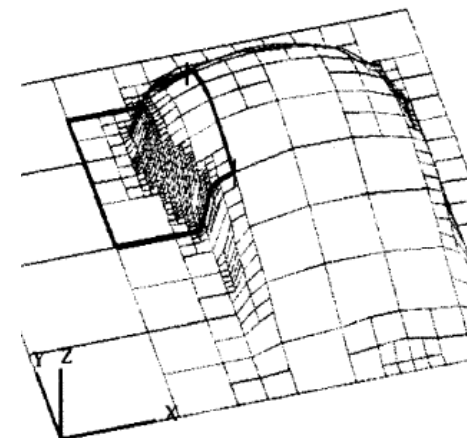
Prednost predstavljanja 3D modela u LOD formi je u tome što se manipulacija može primeniti direktno i efikasno na adekvatnom nivou – sloju



*a) niska rezolucija  
(90 čvorova)*



*b) visoka rezolucija  
(1030 čvorova)*



*c) kombinovana rezolucija  
(600 čvorova)*