

Univerzitet u Novom Sadu
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
Predmet: 3D digitalizacija objekata

**PRE-PROCESIRANJE REZULTATA
3D-DIGITALIZACIJE**
Redukcija podataka tačka

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-tačaka 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:

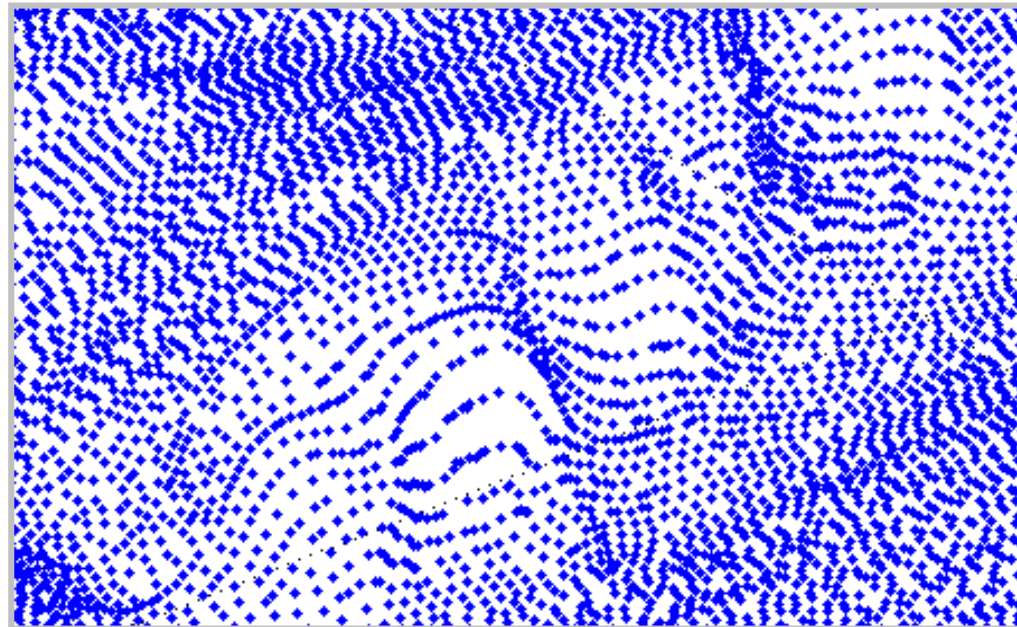
- 1) Metoda uniformnog semplovanja (ili faktorna metoda)
- 2) Metoda prostornog semplovanja
- 3) Metoda devijacije visine tetive
- 4) Metoda redukcije podataka na osnovu visine
- 5) Metoda redukcije na osnovu nivoa pravosti
- 6) Metoda redukcije tačaka na osnovu krivosti u tačkama
- 7) Metoda redukcije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

Strukturiranost oblaka tačaka

Neophodan uslov za primenu (većine) metoda za **redukciju podataka-tačaka semplovanjem** je **da oblak tačaka bude strukturiran (uredjen)**.

Strukturiranost podrazumeva da su tačke:

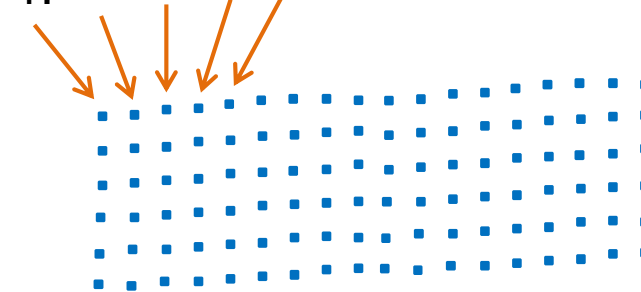
- 1) **uređene**, u okviru oblaka tačaka, (grupisane) **po skeniranim linijama** (paralelnim poprečnim presecima) i
- 2) **uređene u okviru skeniranih linija** (r.br. tačke u datoteci odgovara poziciji u okviru skenirane linije).



Datoteka u TXT formatu zapisa sa uređenim oblakom tačaka

	x	y	z
1.	-62.1	-100.5	22.498
2.	-19.7	-100.5	22.499
3.	-62.1	-100.4	22.498
4.	-19.7	-100.4	22.499
5.	-62.1	-100.3	22.498
	-19.7	-100.3	22.499
...	-62.1	-100.2	22.498
	-19.7	-100.2	22.499
	-62.1	-100.1	22.498
	-19.7	-100.1	22.499
	-62.1	-100	22.498
	-19.7	-100	22.499
	-62.1	-99.9	22.498
	-19.7	-99.9	22.499
	-62.1	-99.8	22.498
	-19.7	-99.8	22.499

1. 2. 3. 4. 5. ...



Datoteka u IBL formatu zapisa sa uređenim oblakom tačaka

IBL format je razvijen od strane PTC-a za potrebe Pro/SCAN-TOOLS modula.

Struktura datoteke IBL formata je složenija od prethodne, a čine je sledeće celine:

- 1) Zaglavlje datoteke,
- 2) Identifikacija sekcija
- 3) Identifikacija poprečnih-presečnih krivih i
- 4) Koordinate (x, y, z) tačaka numerisane u okviru pojedinačnih krivih.

zaglavlje datoteke {
redni broj krive {

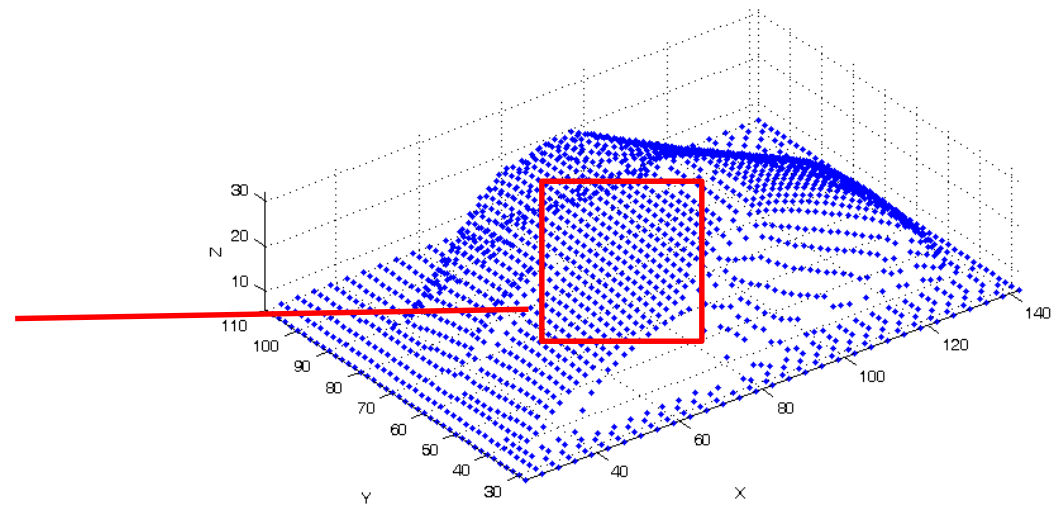
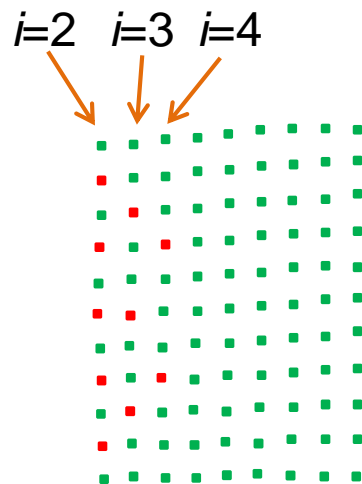
```
Open Index ArcLength  
Begin section ! 1  
Begin curve ! 1  
1 23. 28. 5.998  
2 24.983 28. 5.998  
3 26.967 28. 5.998  
4 28.95 28. 5.998  
5 30.933 28. 5.998  
6 32.917 28. 5.998  
7 34.9 28. 5.998  
8 36.883 28. 5.998  
9 38.867 28. 5.998  
10 40.85 28. 5.998  
11 42.833 28. 5.998  
12 44.817 28. 5.998  
13 46.8 28. 5.999  
14 48.783 28. 5.999  
15 50.767 28. 5.999  
16 52.75 28. 5.999  
17 54.733 28. 5.999
```

redni broj tačke u okviru krive { x y z

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.



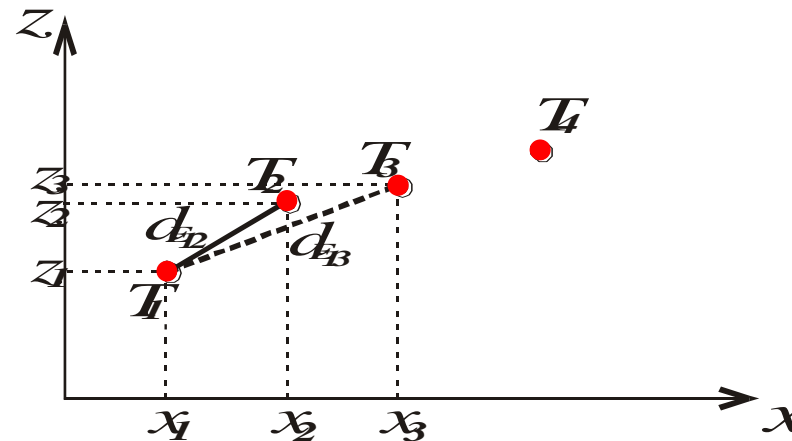
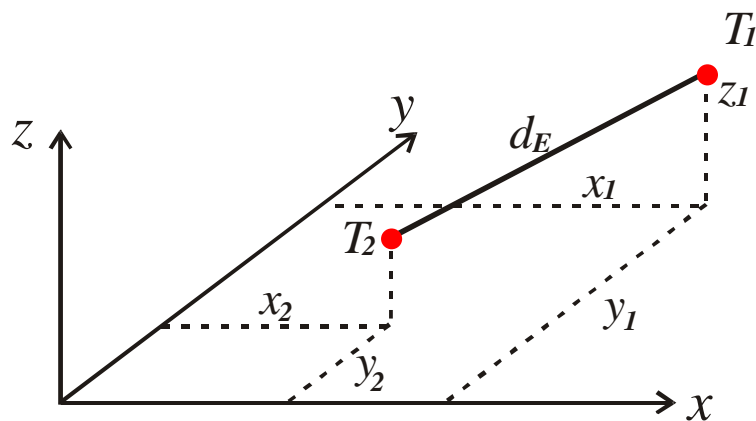
Razvojem sofisticiranijih metoda, uniformno semplovanje se sve češće primenjuje kao pred-redukcija u slučajevima objekata manje geometrijske složenosti i ogromnog broja tačaka.

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:

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



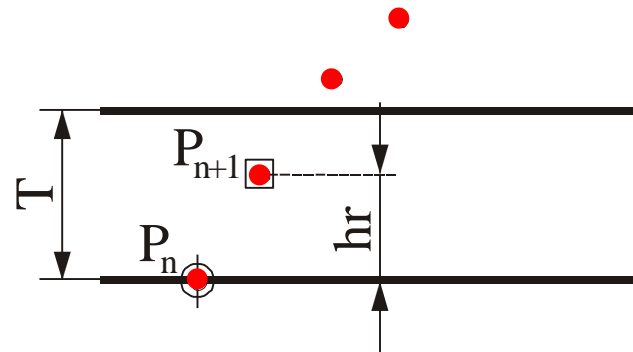
Metoda redukovanja podataka na osnovu visine

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 .

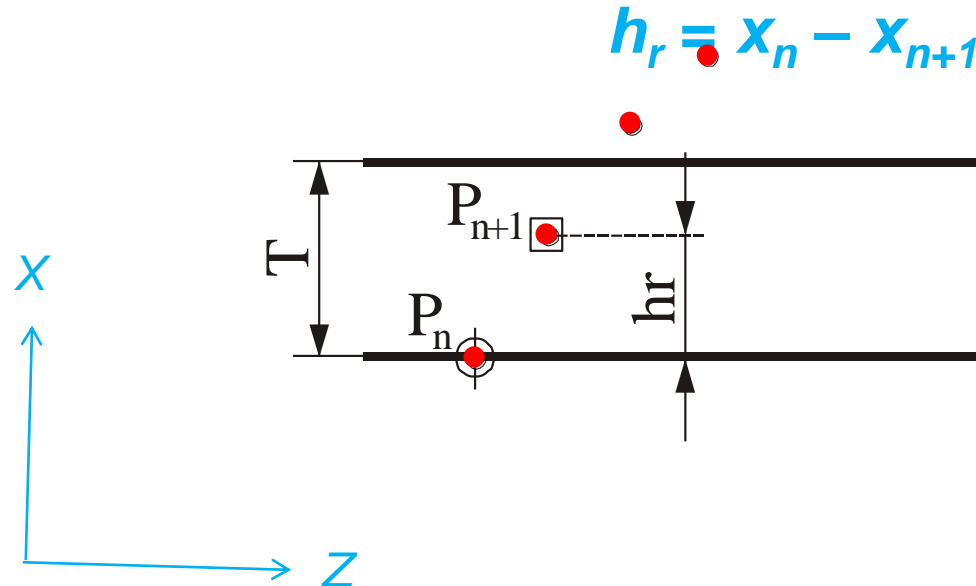
U cilju izbegavanja gubitaka na rezoluciji, preporuka je da maksimalna vrednost visine za odlučivanje bude **0,15 %** od **visine objekta**:

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



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 $P_{n+1}(x_{n+1}, z_{n+1})$ r -ta tačka koja sledi tačku P_n na skeniranoj krivoj, tada je razlika u visini ove dve tačke, po x -osi:



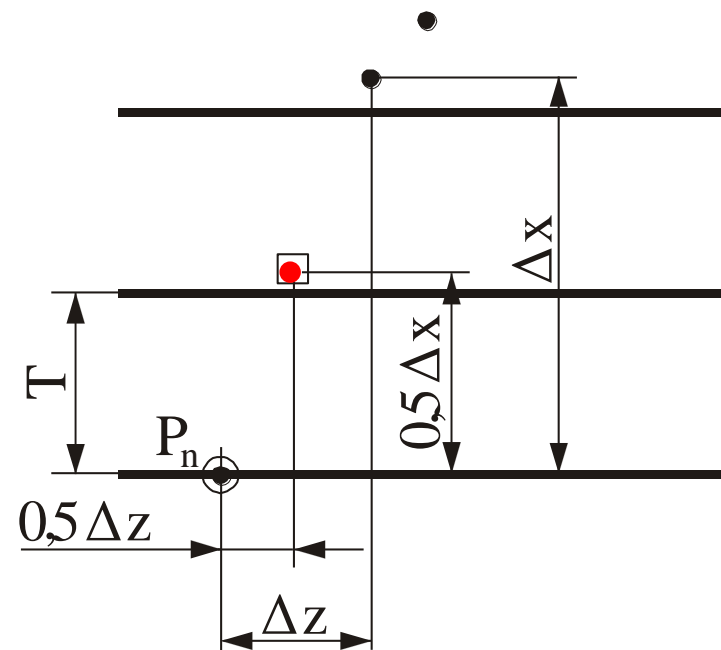
- U slučaju da u opsegu odlučivanja nema nijedne tačke, to implicira da je promena krivosti u tom opsegu (području) vrlo ograničena i ne zahteva kontrolnu tačku za rekonstrukciju površine;
- U slučaju da u dva uzastopna opsega nema nijedne tačke, primenjuje se metoda interpolacije na trenutnu referentnu tačku i tačku najbližu granici odlučivanja, a sve u cilju generisanja nove tačke, koja se 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 Δz i Δx rastojanja između referentne tačke i ispitivane tačke po z-osi, odnosno x-osi, respektivno.



Metoda devijacije visine tetive

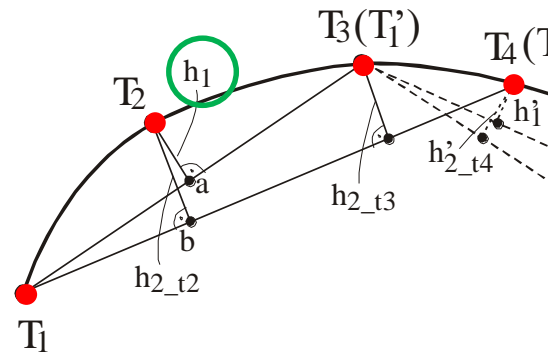
Koncept ove popularne metode (koju su razvili D. F. Rogers i J. A. Adams), se zasniva na semplovanju tačaka na osnovu dužine tetive.

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

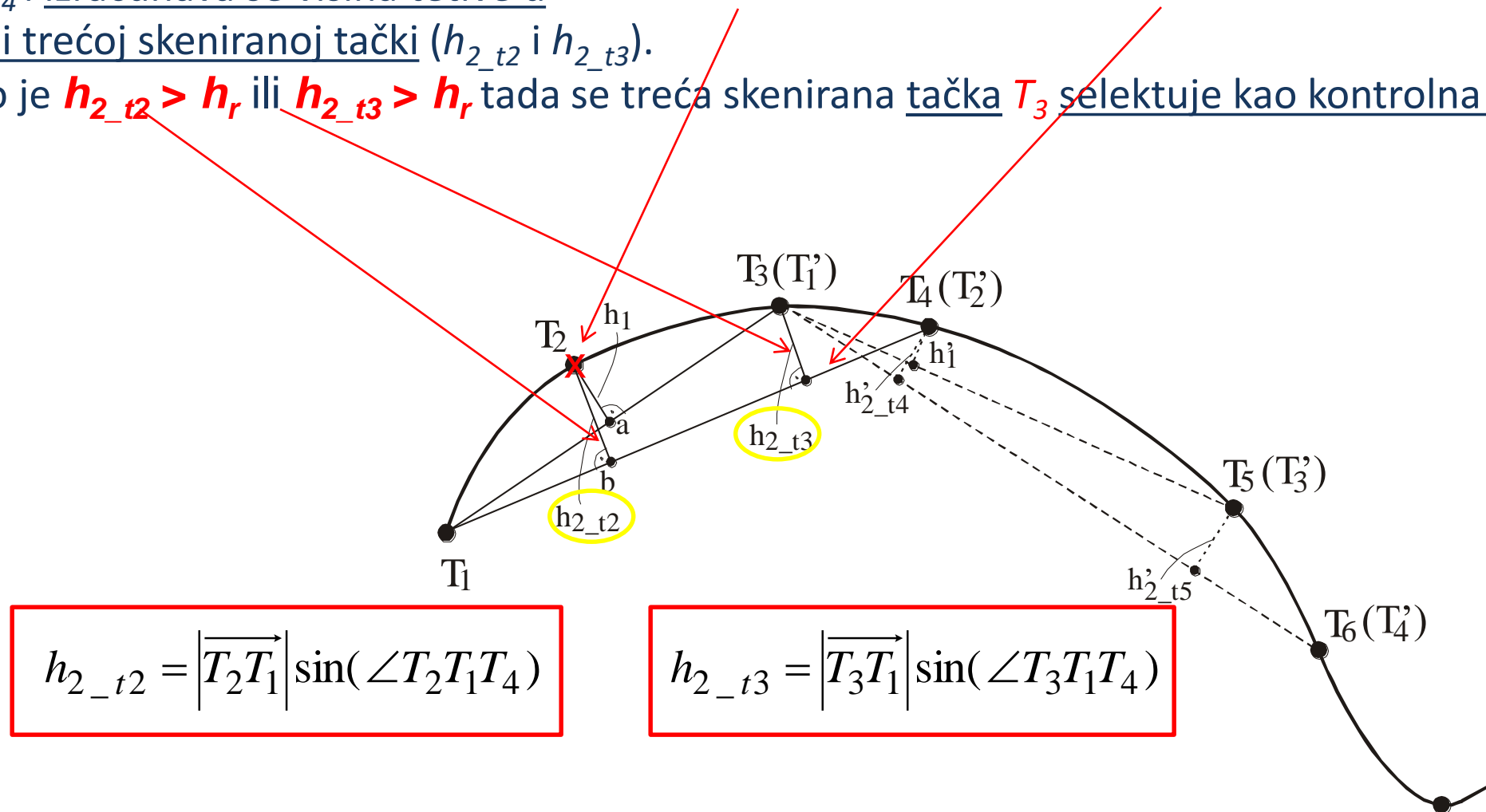
Procedura: Najpre se definiše visina tetive za donošenje odluke h_r i označi se prva skenirana tačka (T_1) kao referentna tačka skenirane krive.

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):

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

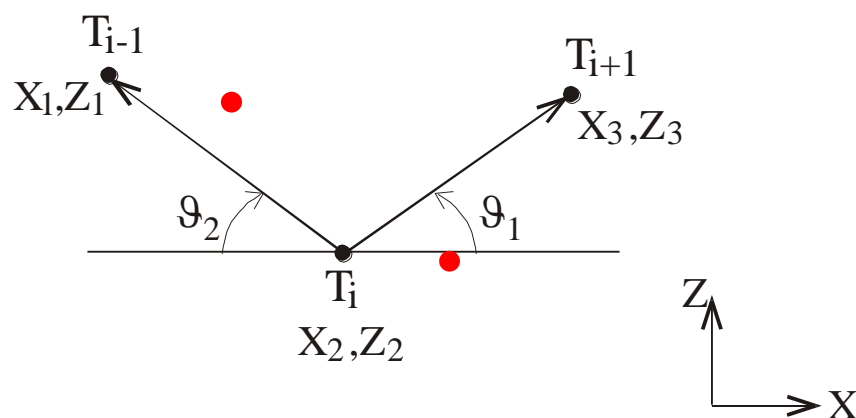


- Ukoliko je rastojanje veće od visine tetive: $h_1 > h_r$, druga skenirana tačka se zadržava, označava kao kontrolna tačka krive i selektuje se kao referentna tačka za sledeći ciklus odlučivanja.
- Ukoliko je pak $h_1 < h_r$, druga tačka se eliminiše, a kreira se nova tetiva između referentne tačka 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 analizirana **tačka se 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.



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

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

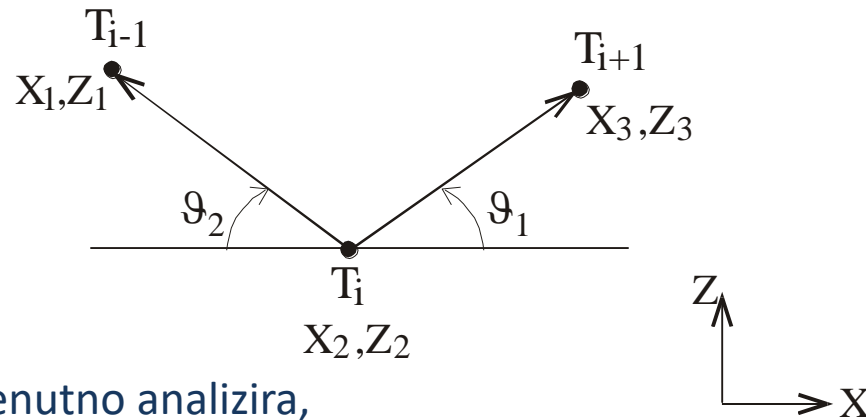
$$\Phi = |\theta_1 + \theta_2|$$

T_{i+1} - tačka koja se trenutno analizira,
 T_i - tačka analizirana u prethodnom ciklusu,
 T_{i-1} - tačka koja prethodi u listi snimljenih podataka o merenoj krivoj,
 Φ - ugao koji opisuje u kom nivou T_i može da reprezentuje karakteristiku izmerene krive.

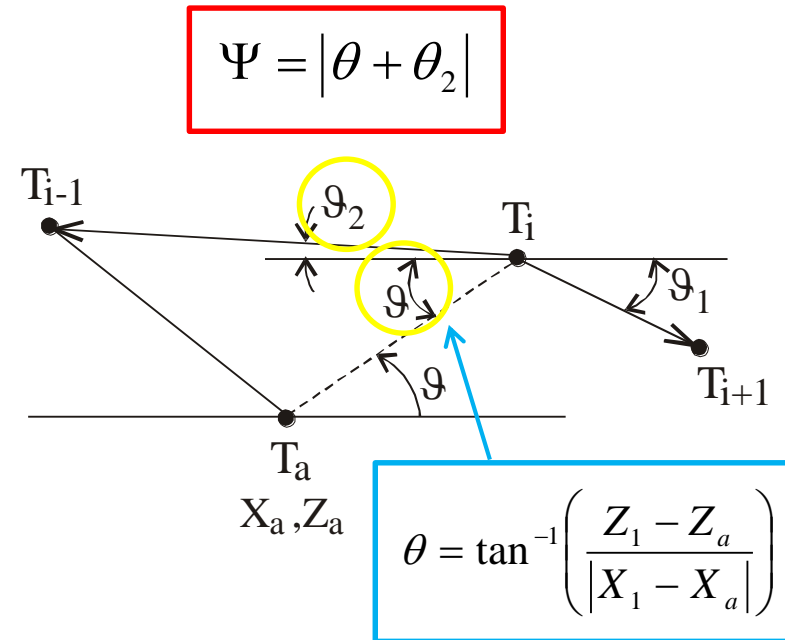
Kriterijumi:

- Veće $\Phi \Rightarrow$ veće promene u nagibu između T_i i dve susedne tačke;
- Φ dovoljno veliko (veće od željenog nivoa pravosti) $\Rightarrow T_i$ se zadržava kao karakteristična tačka skenirane krive;
- Φ dovoljno malo (manje od željenog nivoa pravosti) $\Rightarrow T_i$ se eliminiše;

- **Dodatni uslov redukcije:** T_a poslednja eliminisana tačka, a Ψ dovoljno veliko (veće od željenog nivoa pravosti) $\Rightarrow T_i$ se zadržava.
- Φ ili Ψ 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.
- Φ i Ψ manji od željenog nivoa pravosti $\Rightarrow T_i$ se eliminiše, a T_{i+1} iz prethodnog ciklusa odlučivanja, u novom ciklusu postaje T_i .



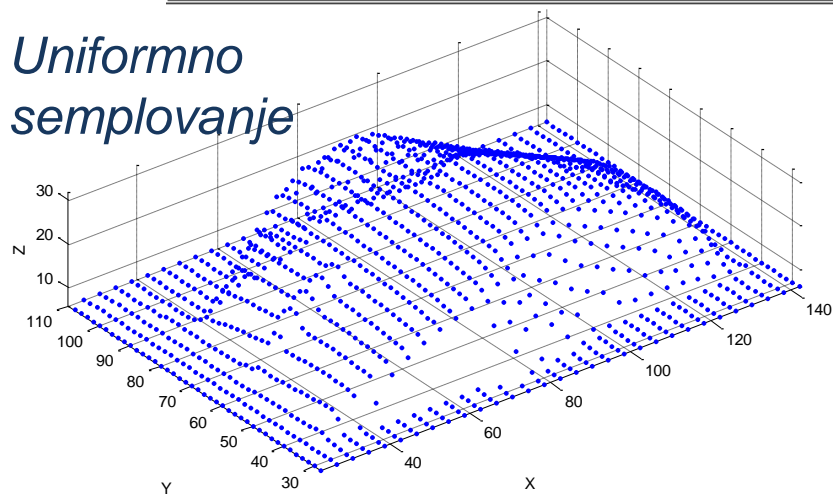
- T_{i+1} - tačka koja se trenutno analizira,
 T_i - tačka analizirana u prethodnom ciklusu,
 T_{i-1} - tačka koja prethodi u listi snimljenih podataka o merenoj krivoj,
 T_a - tačka koja je eliminisana u prethodnom koraku izbora,
 Φ i Ψ – uglovi koji opisuju u kom nivou T_i može da reprezentuje karakteristiku izmerene krive.



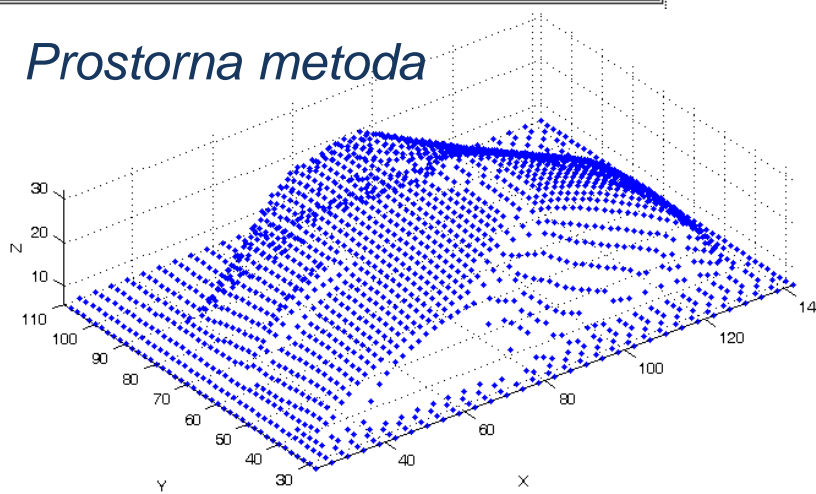
Preprocesiranje podataka

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

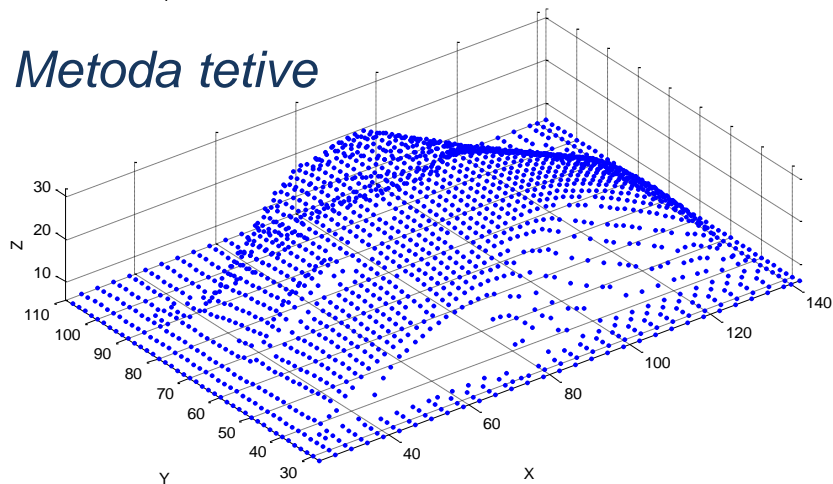
Uniformno semplovanje



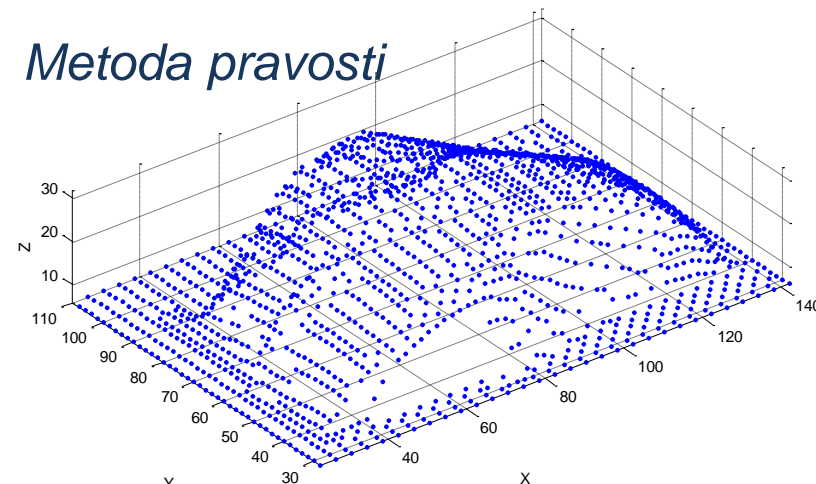
Prostorna metoda



Metoda tetive

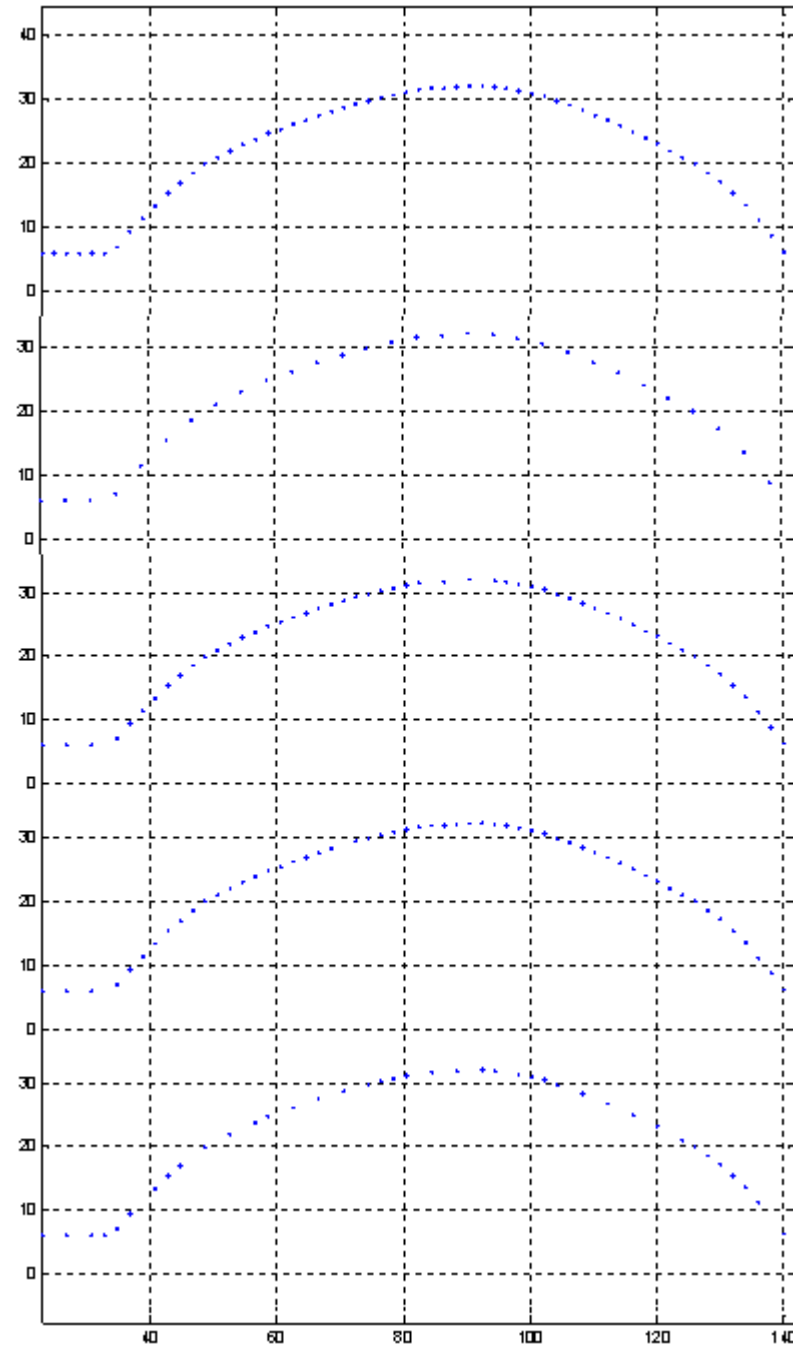


Metoda pravosti



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

$z \uparrow$



polazni podaci
(uravnjeni
metodom
medijane)

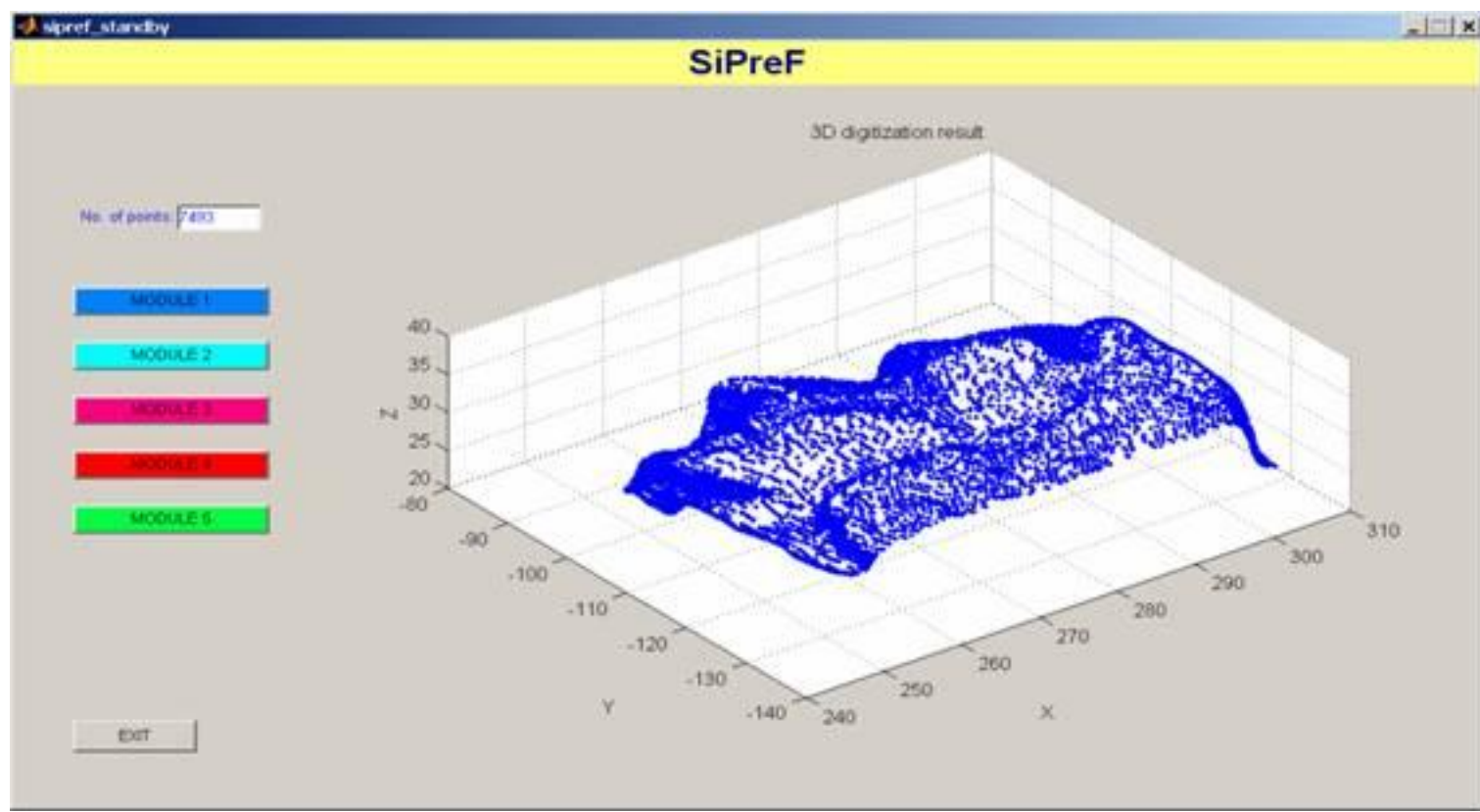
uniformna
metoda

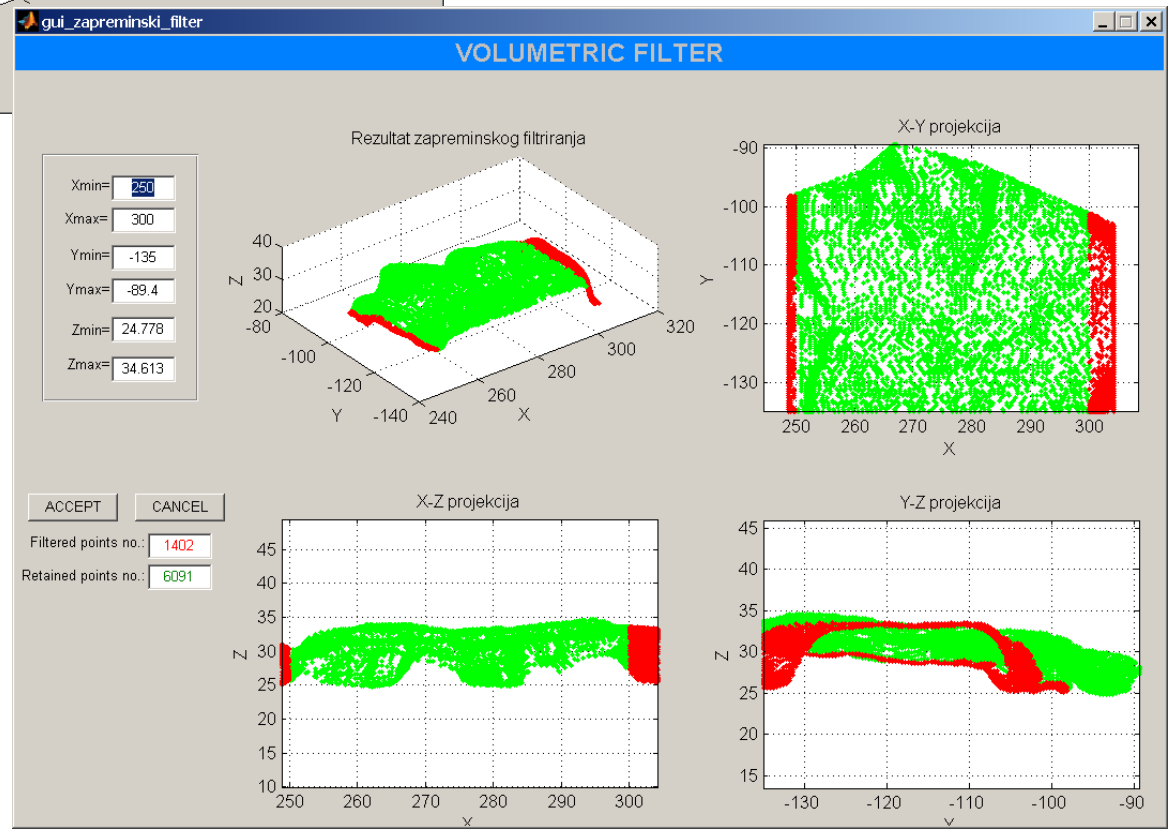
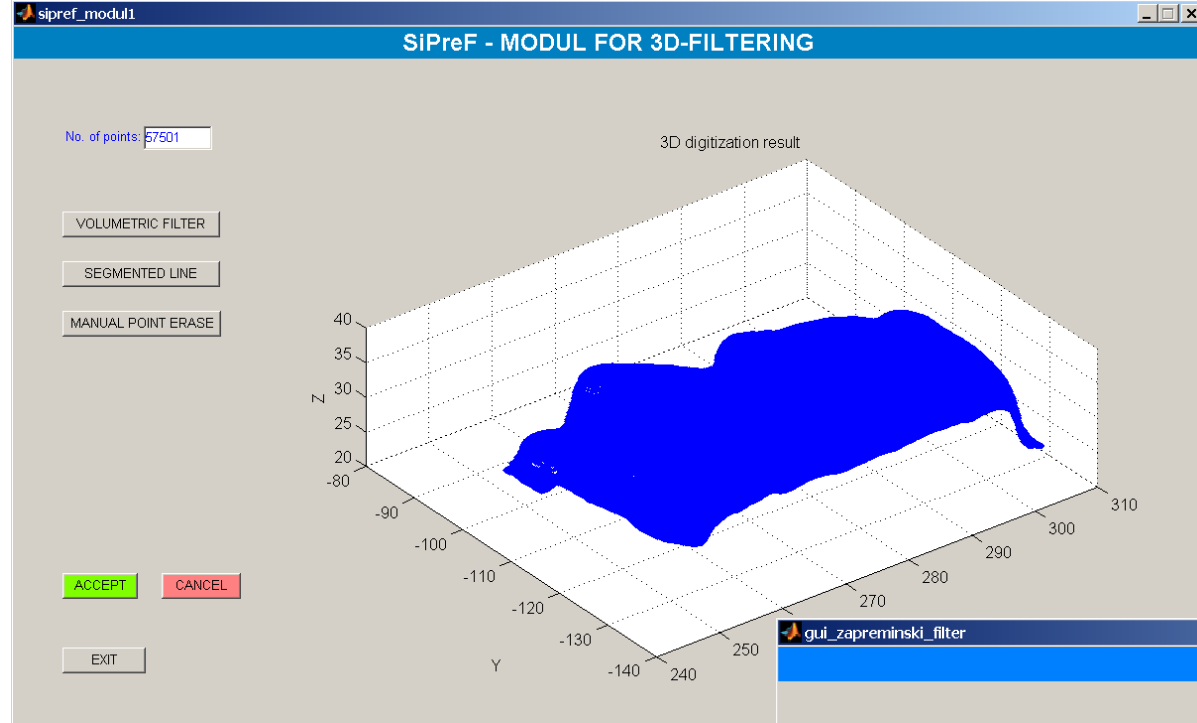
prostorna
metoda

metoda tetive

metoda
pravosti
 x







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

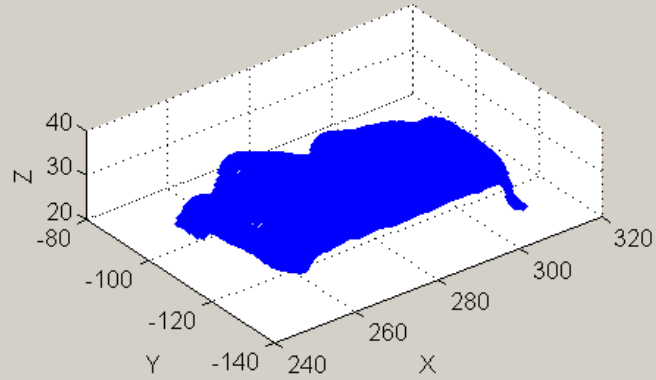
No. of cross-sections: 39

ACCEPT

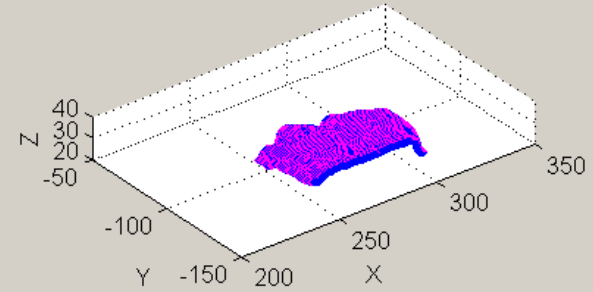
CANCEL

EXIT

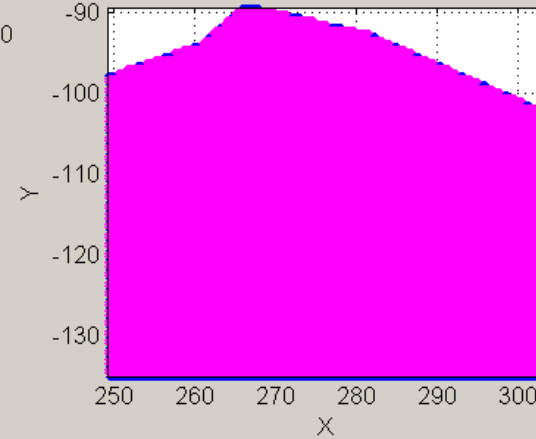
Resulting point cloud



Resolution change



Cross-sections



SiPreF - CROSS-SECTIONAL FILTERING / SMOOTHING

No. of cross-sections:

Filtered point no.:

Retained point no.:

Elimination of points at ends

No. of points:

Angle filter

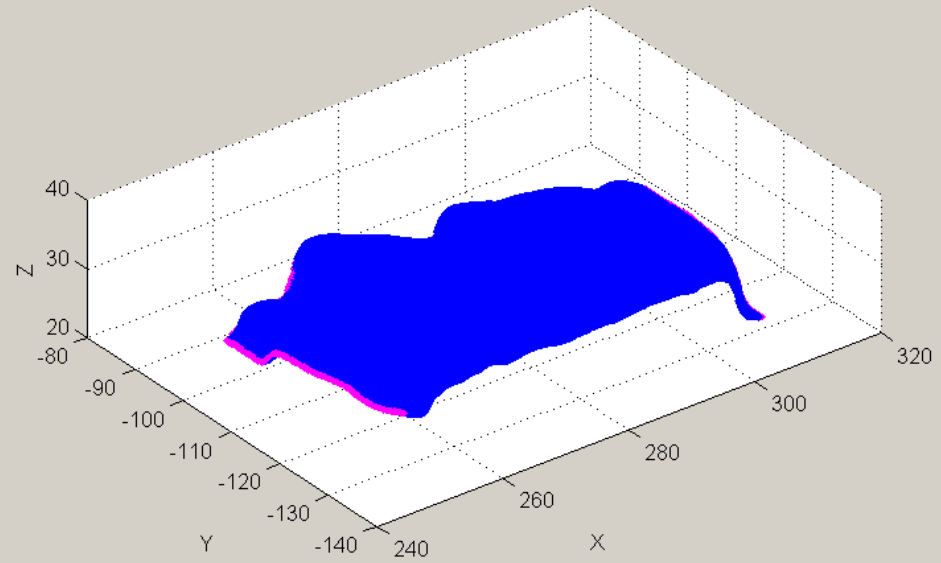
Angle:

Smoothing of point data

Median method

Smoothing window:

Result of end points erasing



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.:

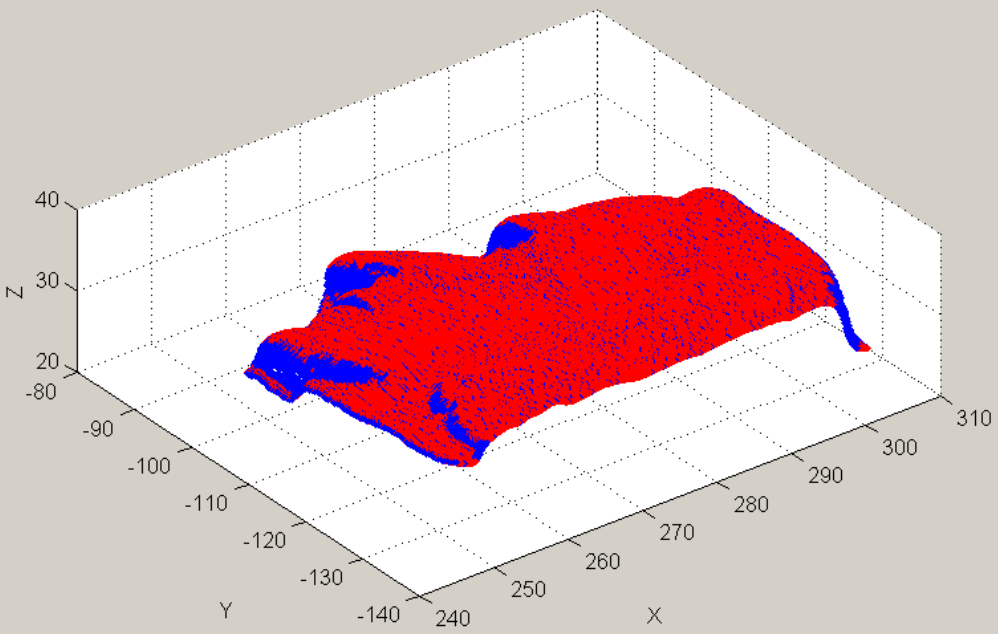
RL (%) =

MRE (mm) =

ARE (mm) =

Reduction time (s) =

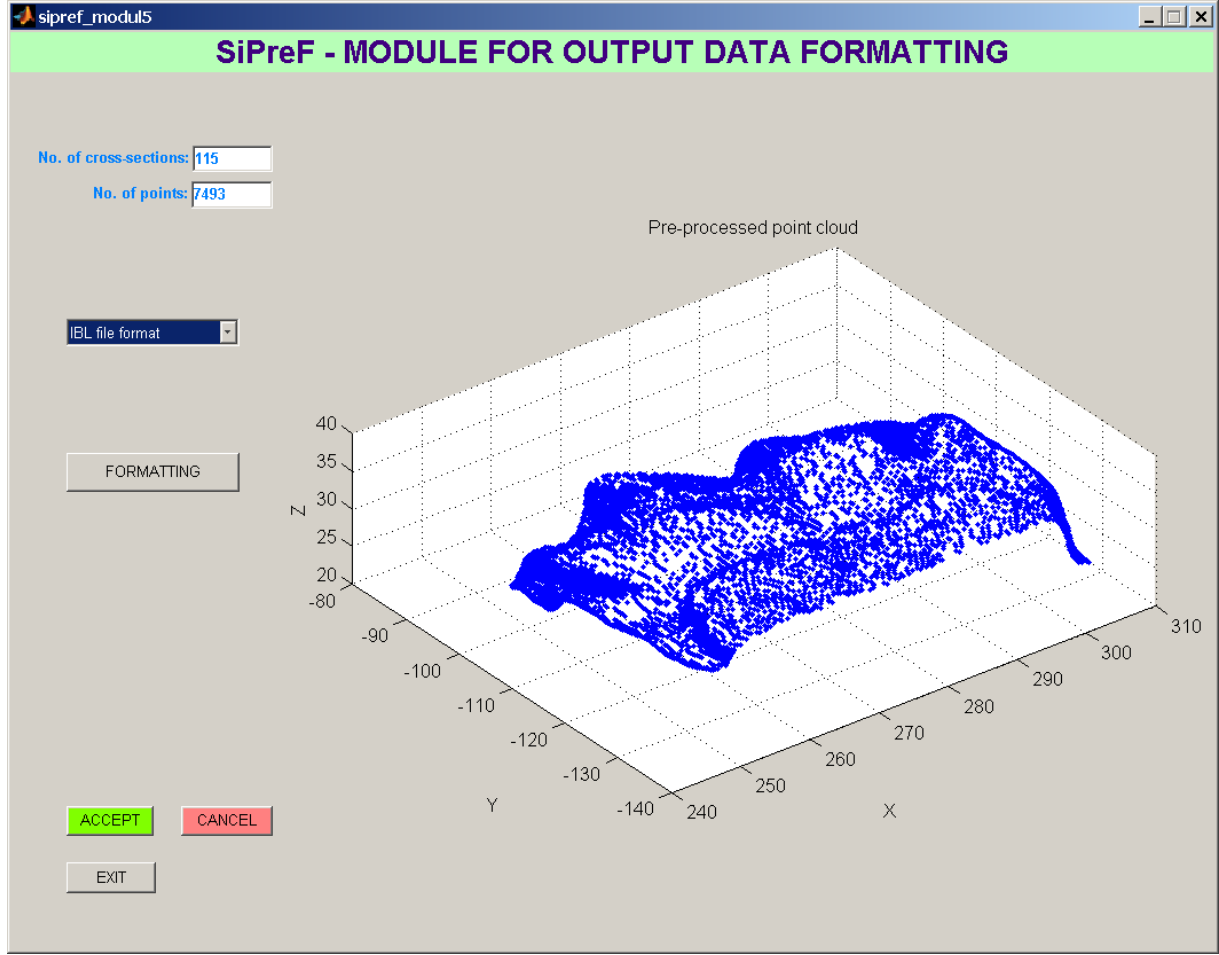
Result of point data reduction



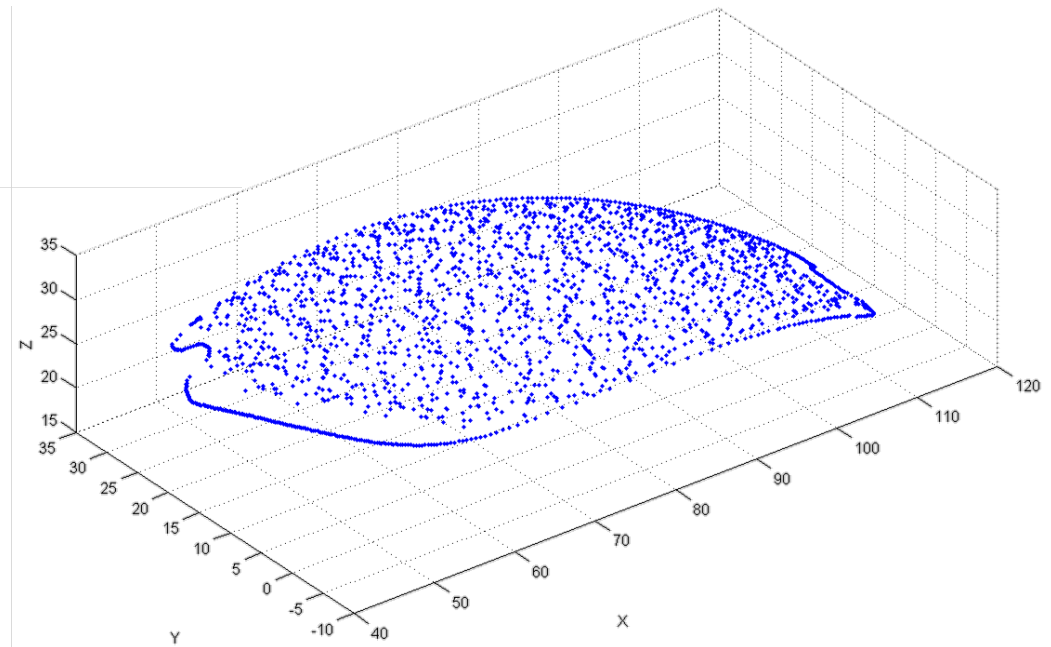
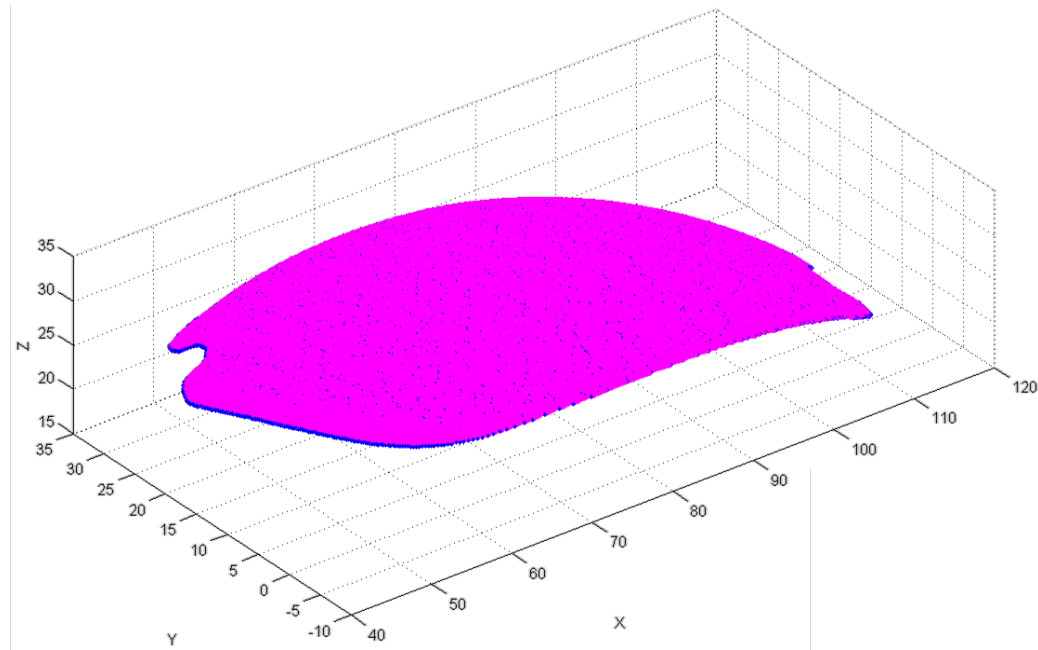
A 3D scatter plot showing the result of point data reduction. The plot is set in a 3D coordinate system with axes X, Y, and Z. The Z-axis ranges from -80 to 40, the Y-axis from -140 to -90, and the X-axis from 240 to 310. The data points are colored red and blue, forming a complex, elongated shape. The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

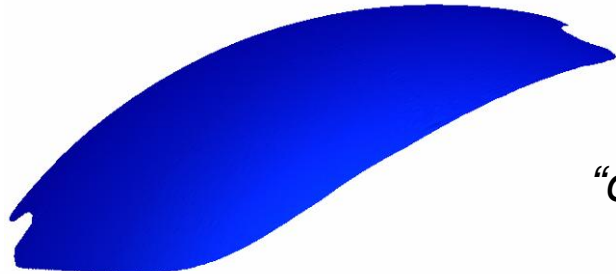
EXIT



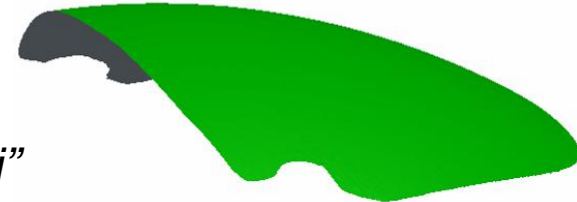
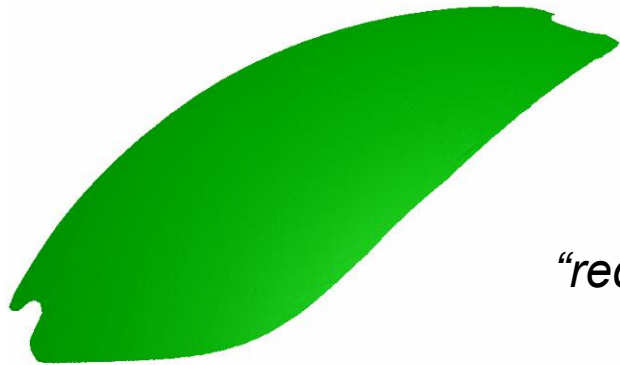
MAD [mm]	ME [mm]	AE [mm]	N _P	N _{EP}	RL [%]	N _R
0.03	0.02835	0.00265	109,528	107,466	97.82	2,062



- eliminisane tačke
- zadržane tačke

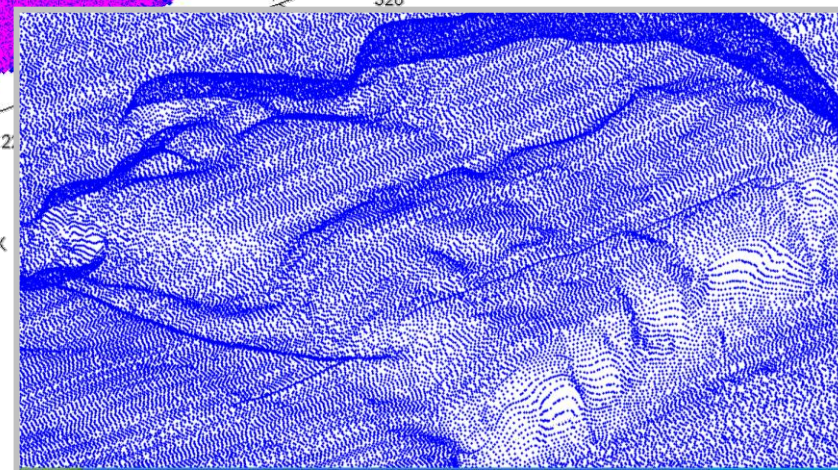
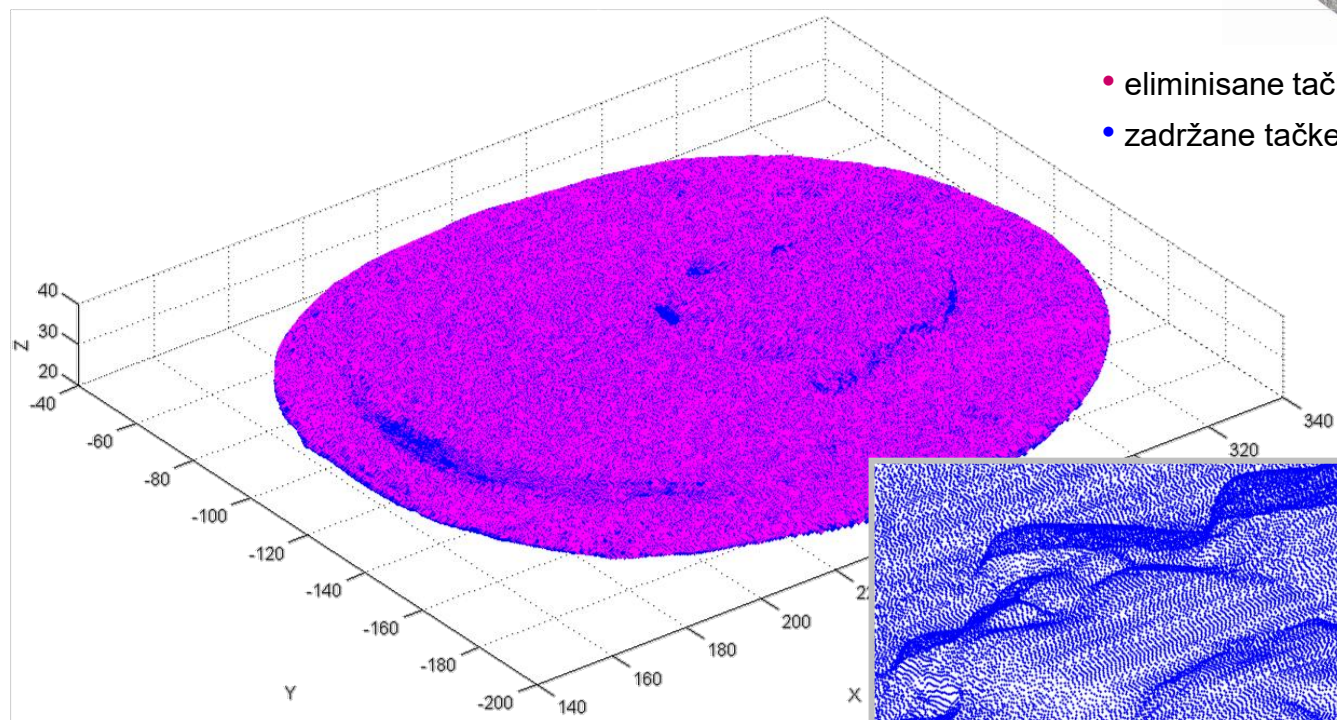


“original”



“redukovani”

MAD [mm]	ME [mm]	AE [mm]	N _P	N _{EP}	RL [%]	N _R
0.03	0.0291158	0.0030631	1117774	869398	77.86	248376





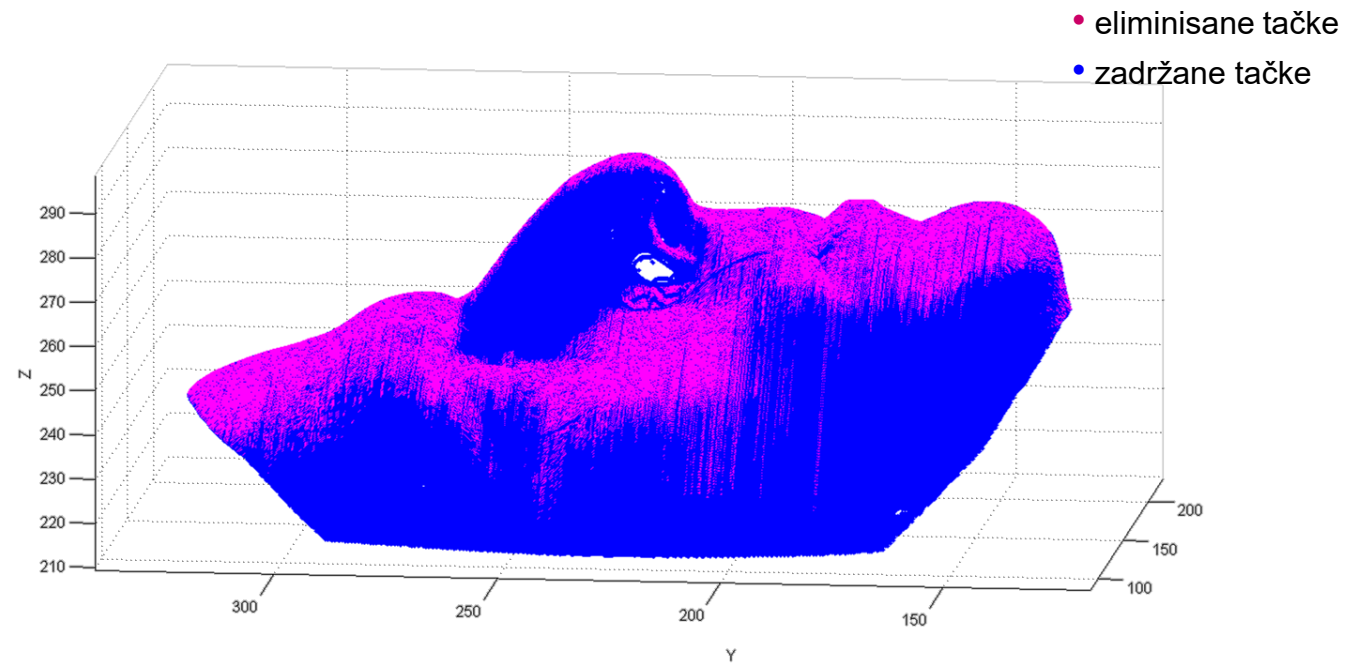
"Original"

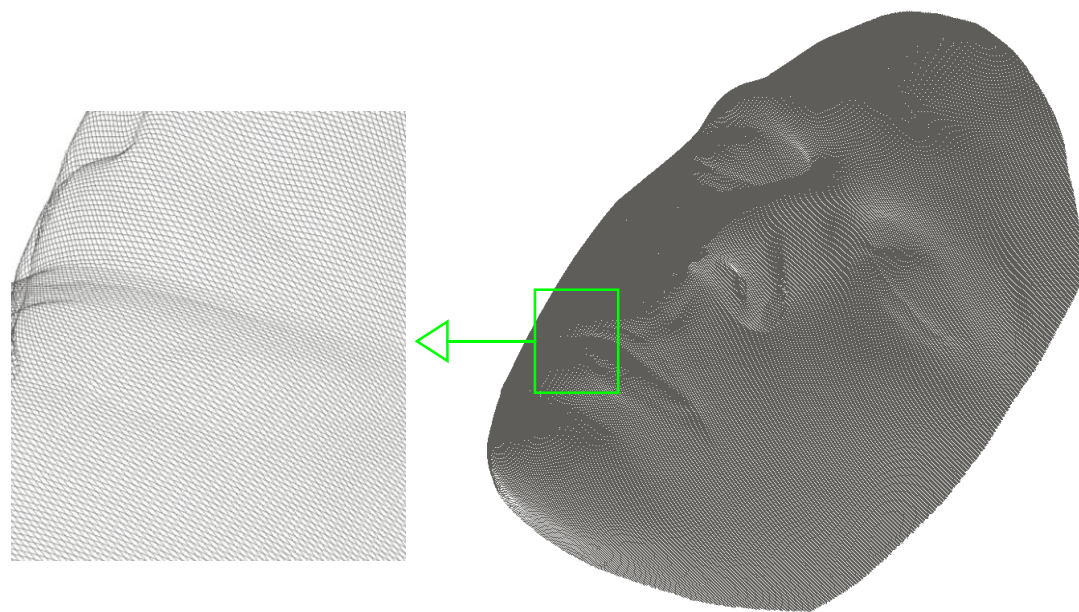


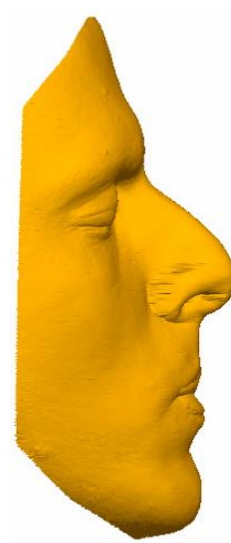
"Redukovani" model (77.86 %)



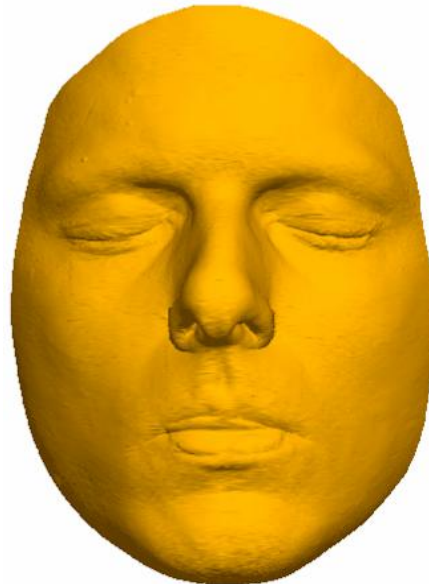
MAD [mm]	ME [mm]	AE [mm]	N_P	N_{EP}	RL [%]	N_R
0.04	0.03993	0.00491	564612	288801	53.29	275811



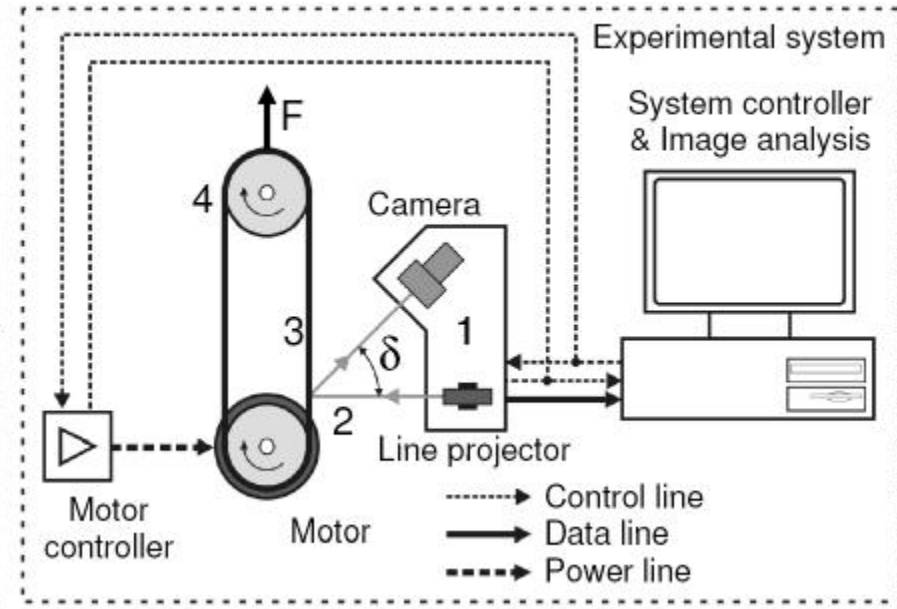
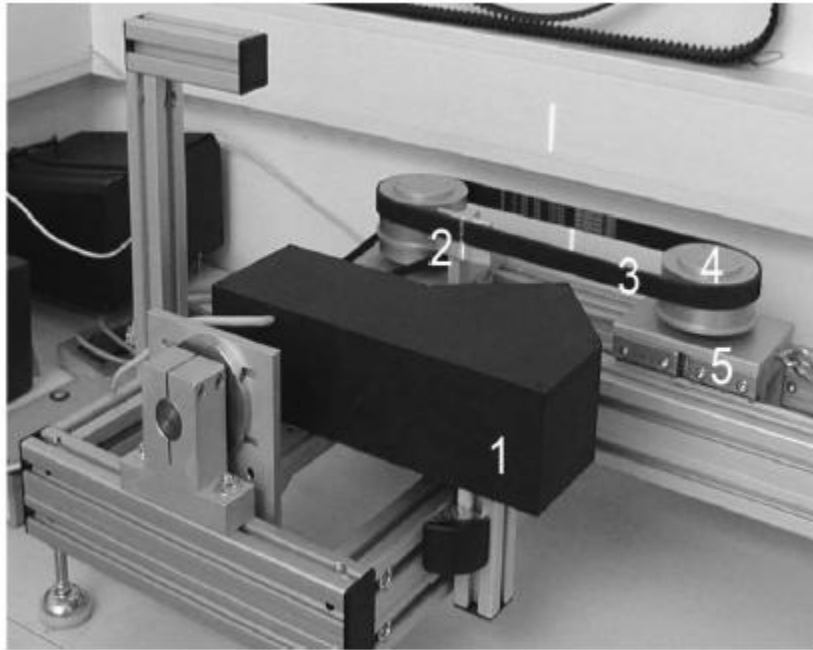
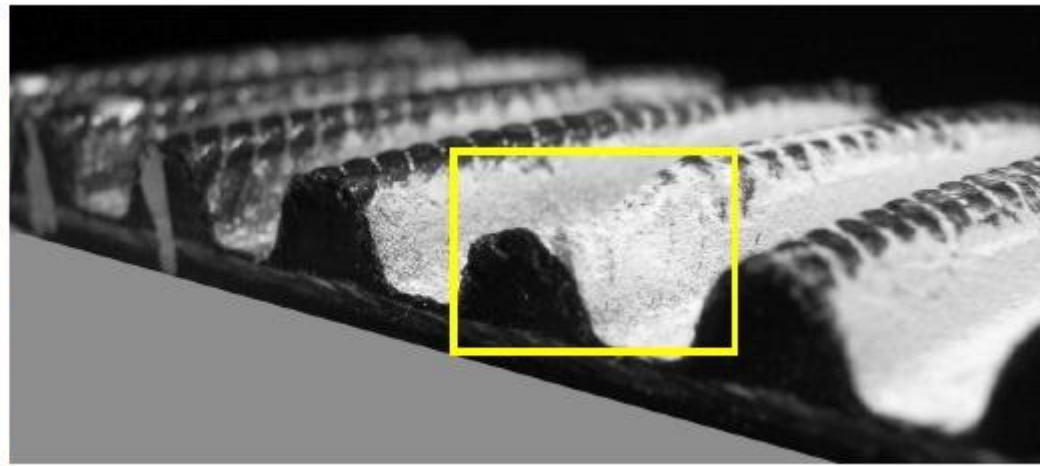
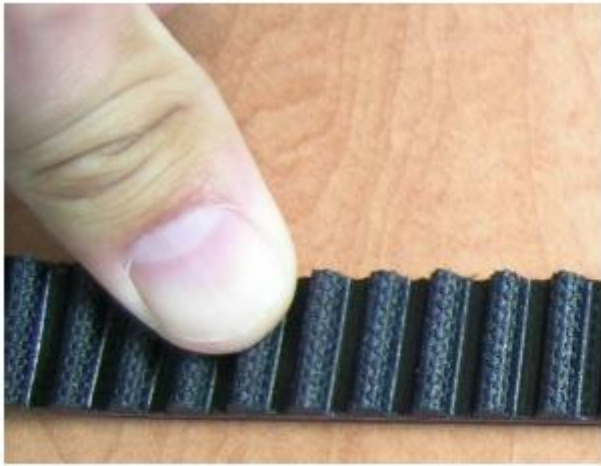




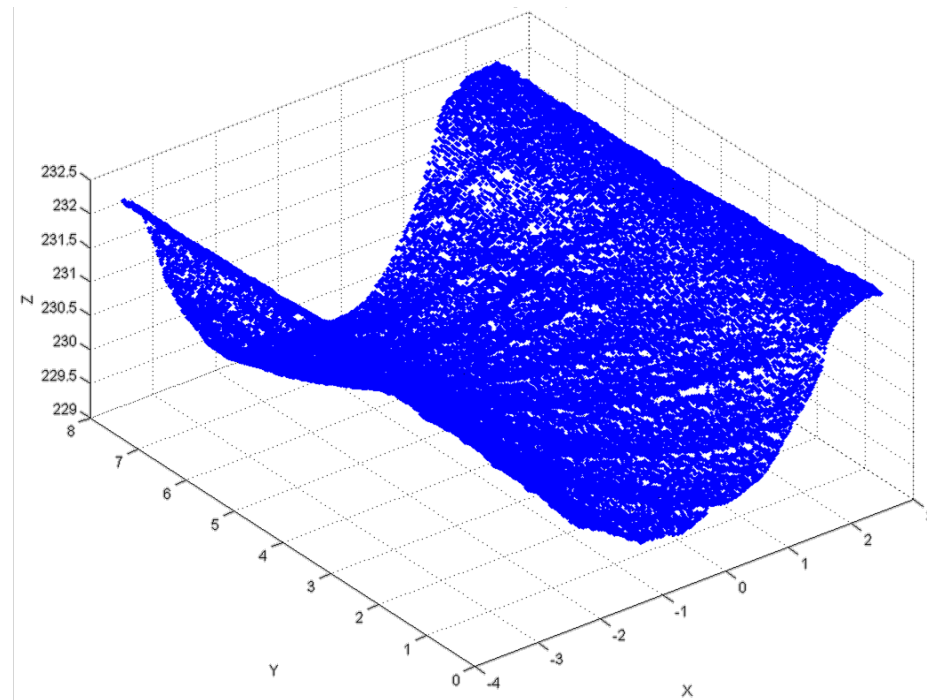
“original”



“redukovani” model (53.29 %)

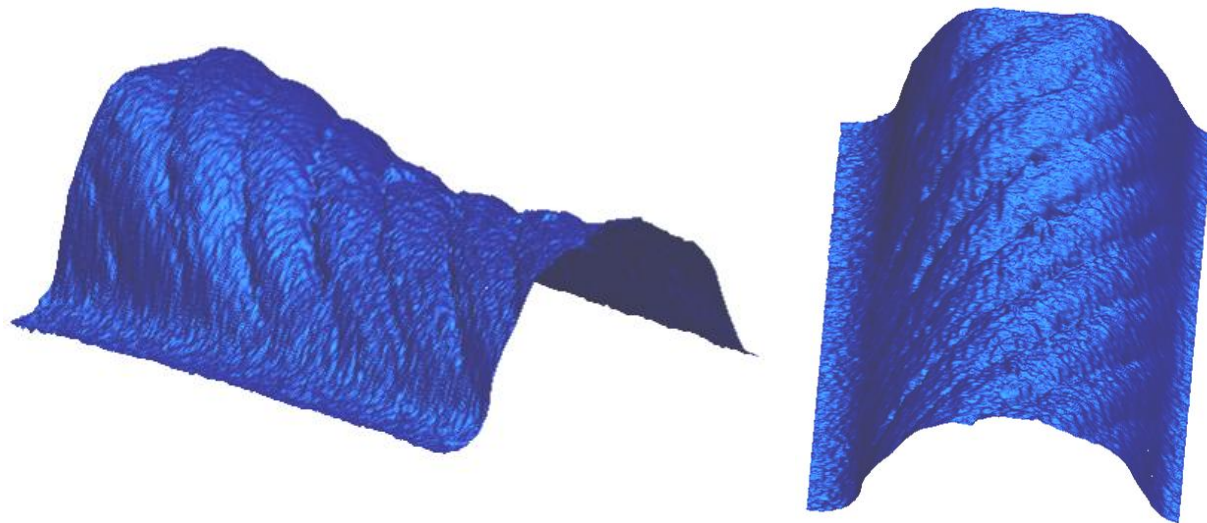


MAD [mm]	ME [mm]	AE [mm]	N_P	N_{EP}	RL [%]	N_R
0.01	0.00968	0.00159	263,791	173,297	65.69	90,494





“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.**

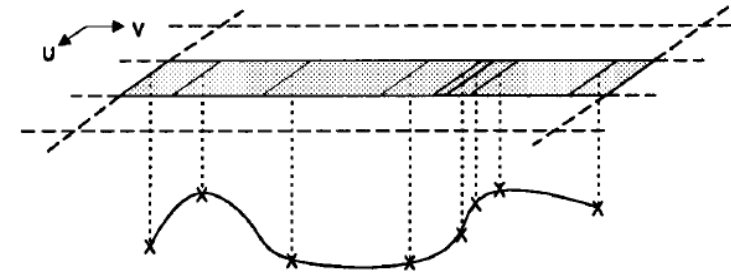
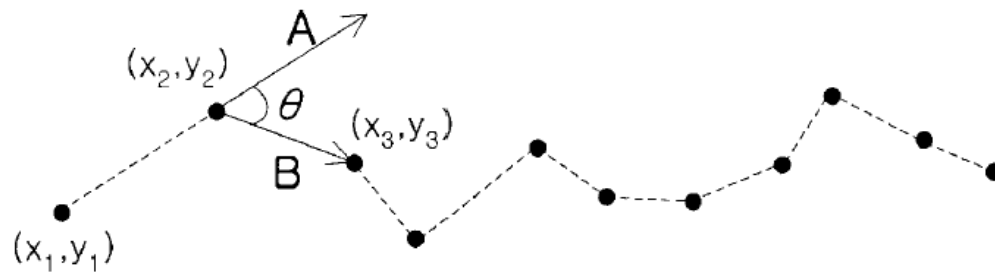


Za n broj tačaka u okviru rešetke, selektuje se $(n+1)/2$ -ta tačka ako je n neparan broj, odnosno $n/2$ -ta tačka ako je n paran broj.

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).



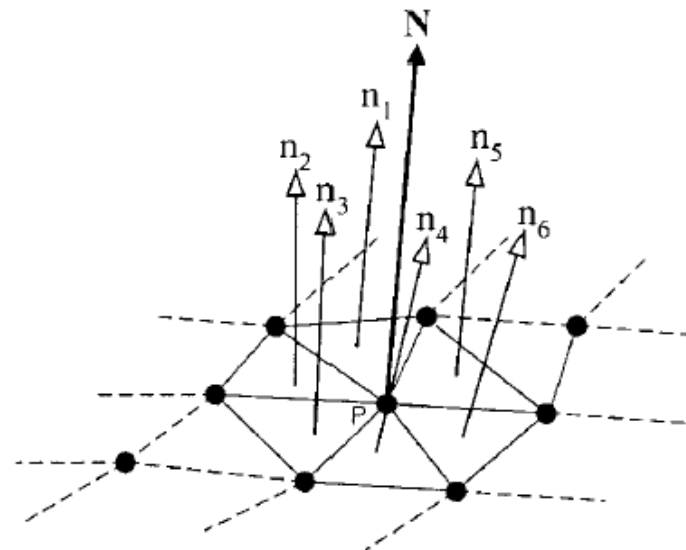
- Po u-pravcu je dimenzija rešetke fiksna i određena korakom skeniranja, dok je u v-pravcu promenljiva i određena geometrijom, tj. nivoom krivosti površine.
- Selektuju se tačke sa velikom krivošću, jer je u tim područjima oblik složen tako da se one moraju sačuvati tokom procesa redukovanja da bi se 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:

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



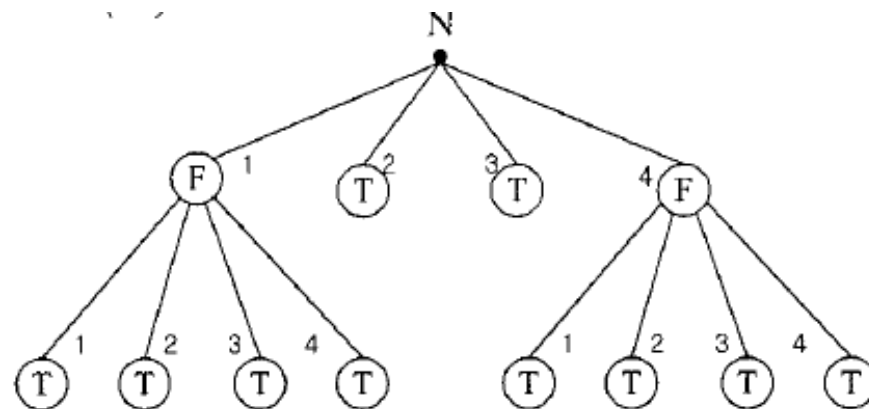
Izračunavanjem vektora-normala za sve tačke, generiše se ravan rešetke. Dimenzije rešetke određuje korisnik prema željenom nivou redukcije (veća redukcija => veličina rešetke se povećava i obrnuto).

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.

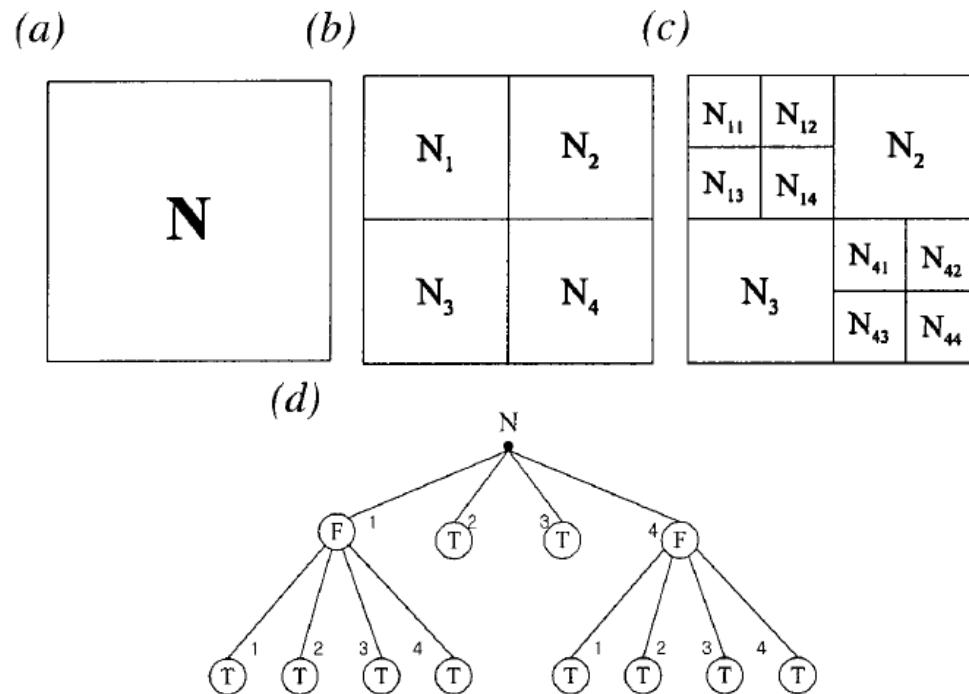


Ukoliko je standardna devijacija mreže veća od zadate vrednosti, ćelija se deli na četiri dela.

Proces se nastavlja sve dok standardna devijacija mreže ne bude manja od zadate vrednosti ili rešetka dostigne granični minimum zadan 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-tačaka 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.*

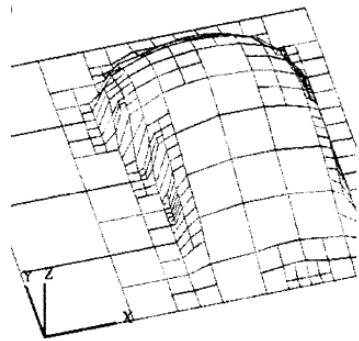
Redukcija podataka-tačaka se u ovoj oblasti može podeliti u dve kategorije:

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

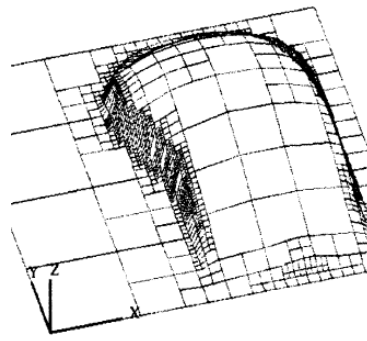
Metode zasnovane na prilazu "nivoi detalja" (LOD - Level-Of-Detail)

- 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.

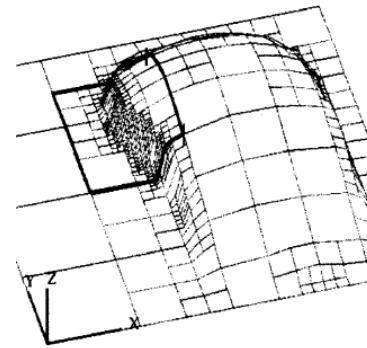
Prednost predstavljanja 3D modela u LOD formi je u tome što se manipulacija može primeniti direktno i efikasno na adekvatnom nivou – sloju



*a) niska rezolucija
(90 čvorova)*



*b) visoka rezolucija
(1030 čvorova)*



*c) kombinovana rezolucija
(600 čvorova)*