

Univerzitet u Novom Sadu  
Fakultet tehničkih nauka

# REVERZIBILNI INŽENJERSKI DIZAJN

## Preprocesiranje rezultat 3D digitalizacije

# **PRE-PROCESIRANJE REZULTATA 3D-DIGITALIZACIJE**

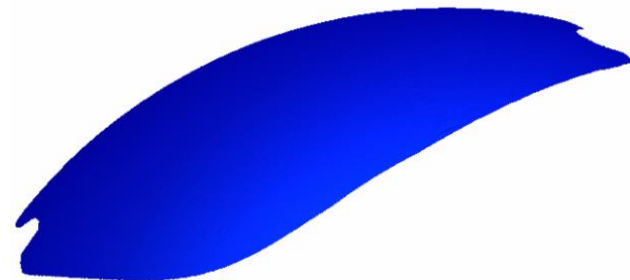
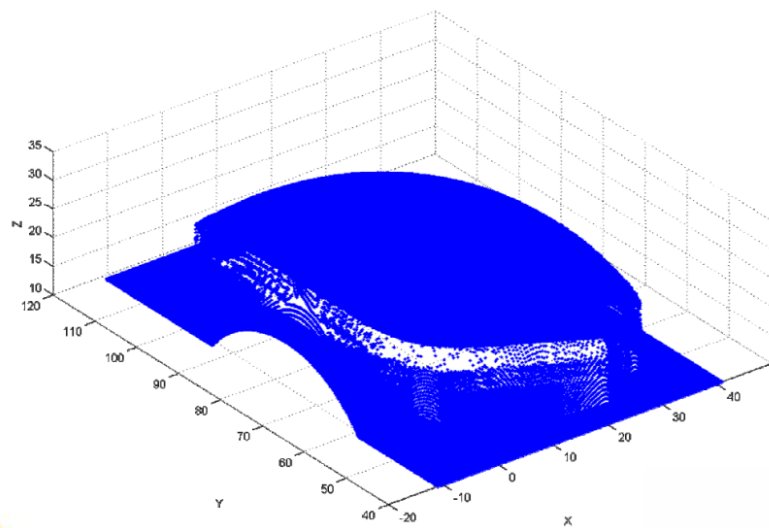
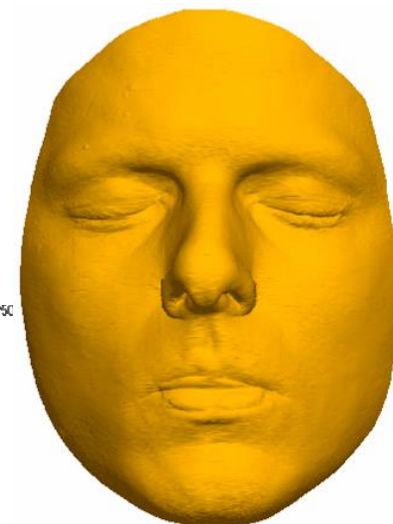
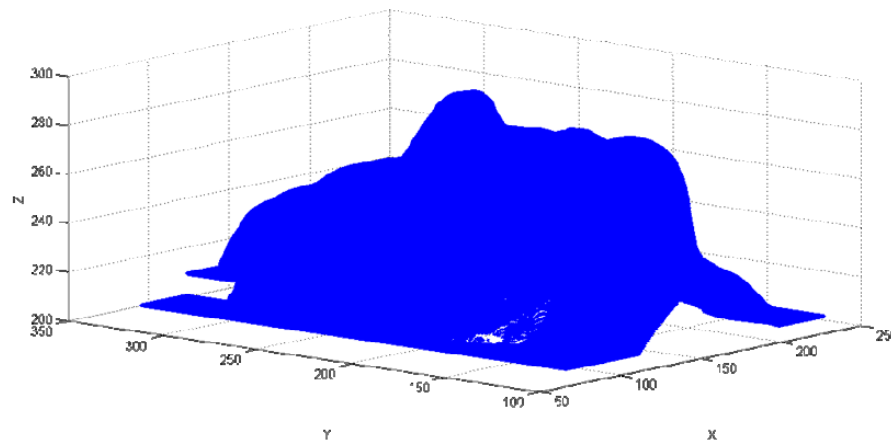
**(MENADŽMENT OBLAKA TAČAKA)**

**Filtriranje i uravnavanje**

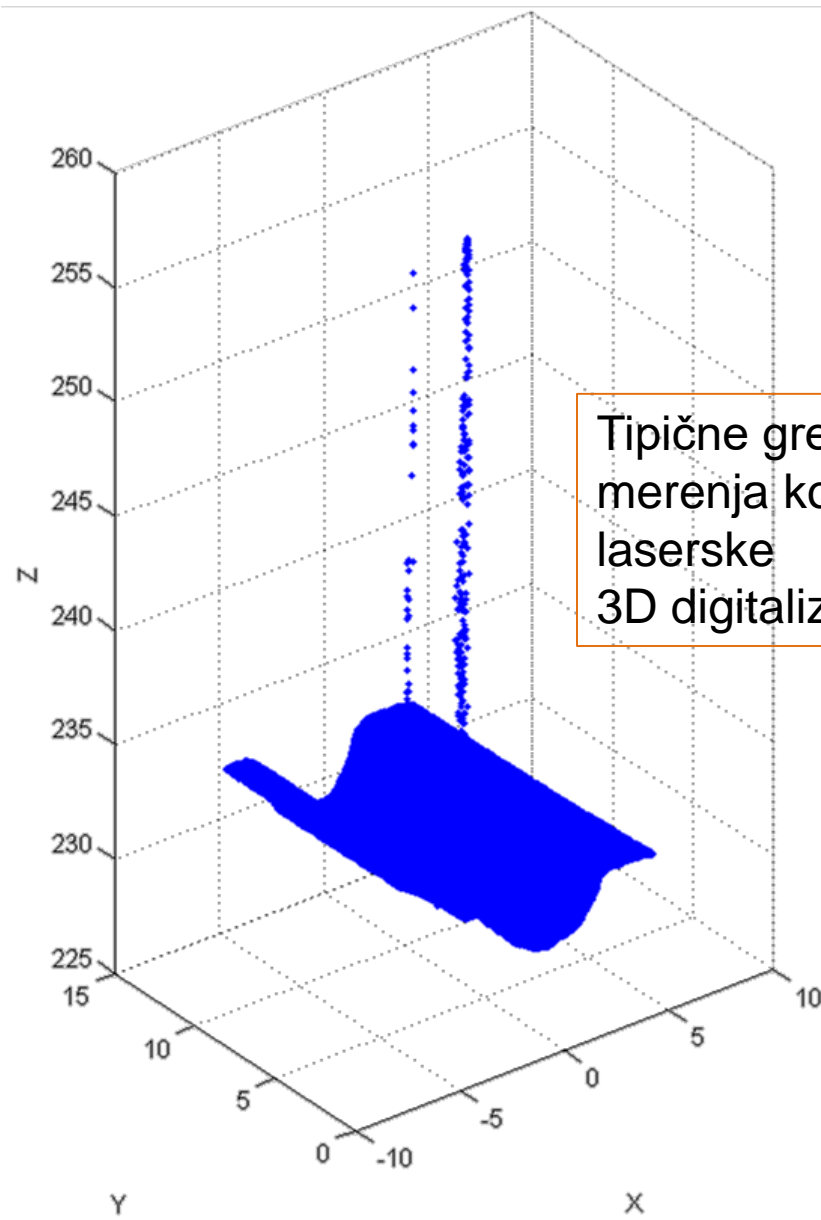
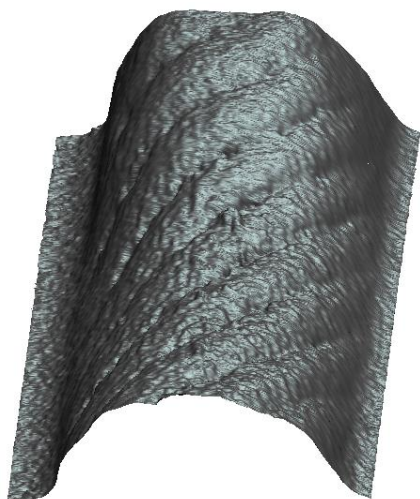
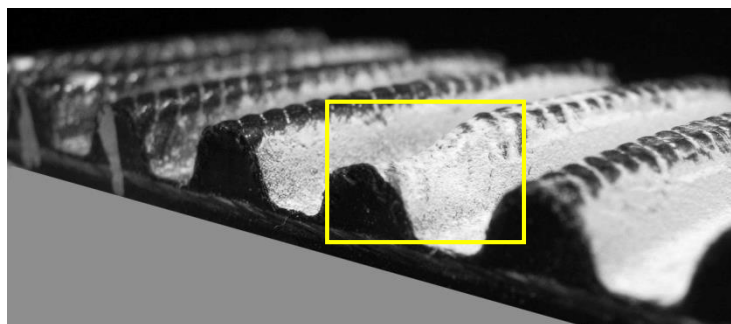
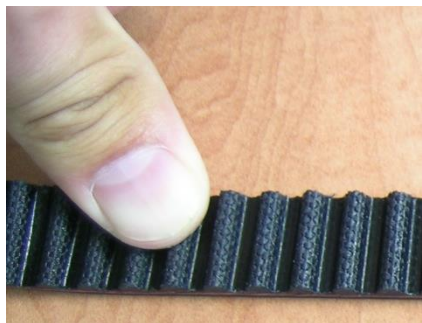
# Uvodne napomene

- 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-tačaka u oblaku tačaka,
  - nepotpunost oblaka tačaka itd.
- Osnovna posledica navedenih problema jeste neadekvatni CAD model, koji ne odgovara originalnom objektu, zbog čega je neophodno obezbediti kvalitetno **pre-procesiranje** podataka.

# Primer: (pre)veliki broj (suvišnih) tačaka



## Primer: prisustvo šuma, odnosno grešaka merenja i pikova



Tipične greške merenja kod laserske 3D digitalizacije

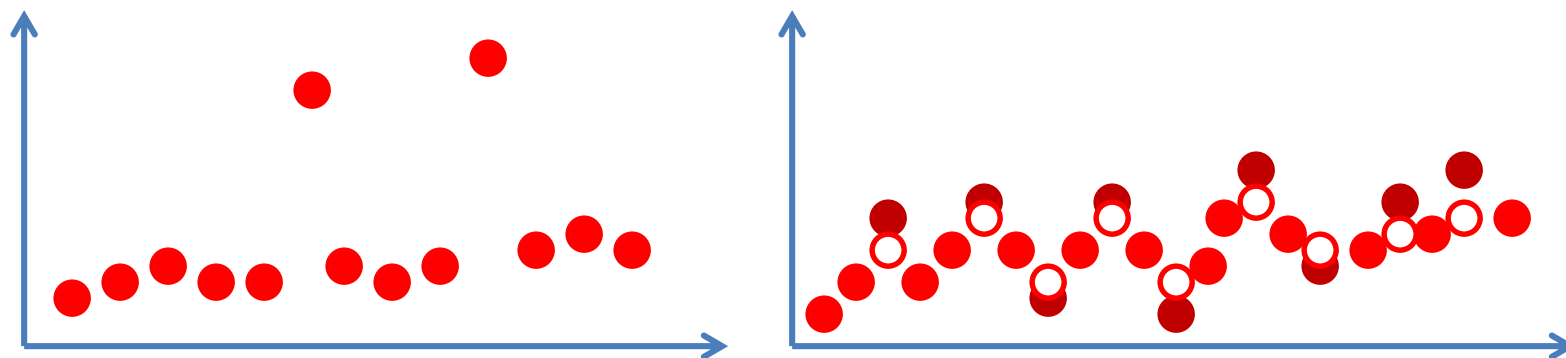
# Faze pre-procesiranja rezultata 3D-digitalizacije

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

- 1) Filtriranje oblaka tačaka;**
- 2) Segmentacija oblaka tačaka;**
- 3) Registracija oblaka tačaka i**
- 4) Redukovanje oblaka 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:

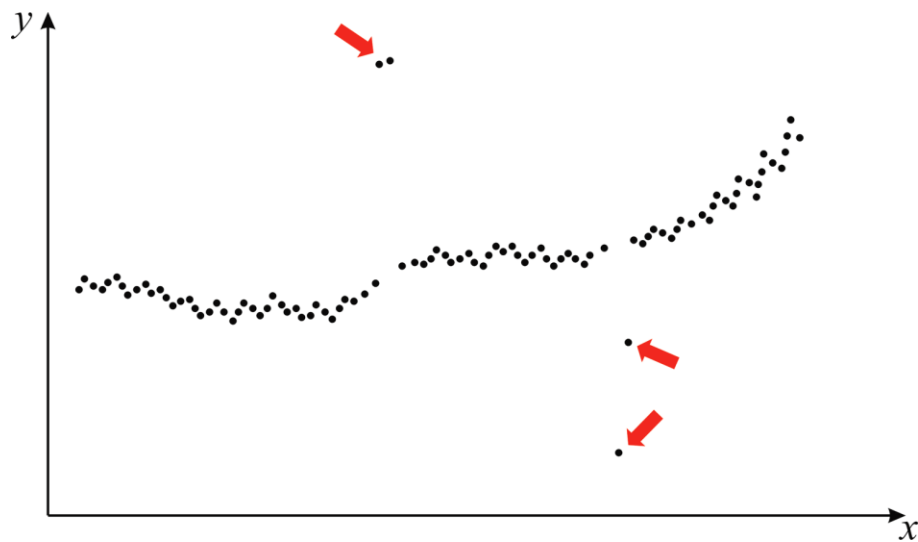
- 1) filtriranje (eliminisanje) impulsnog šuma i
- 2) uravnavanje (glačanje) podataka-tačaka.

# 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)**

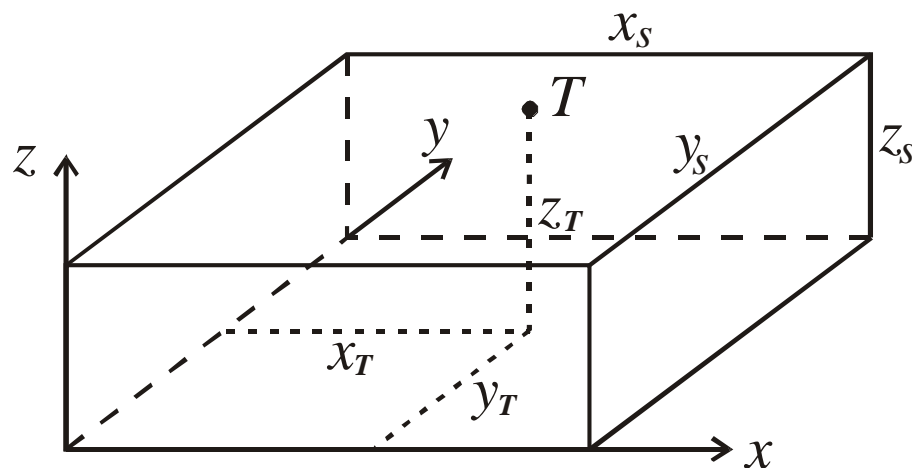




# Metoda zapreminskog filtriranja

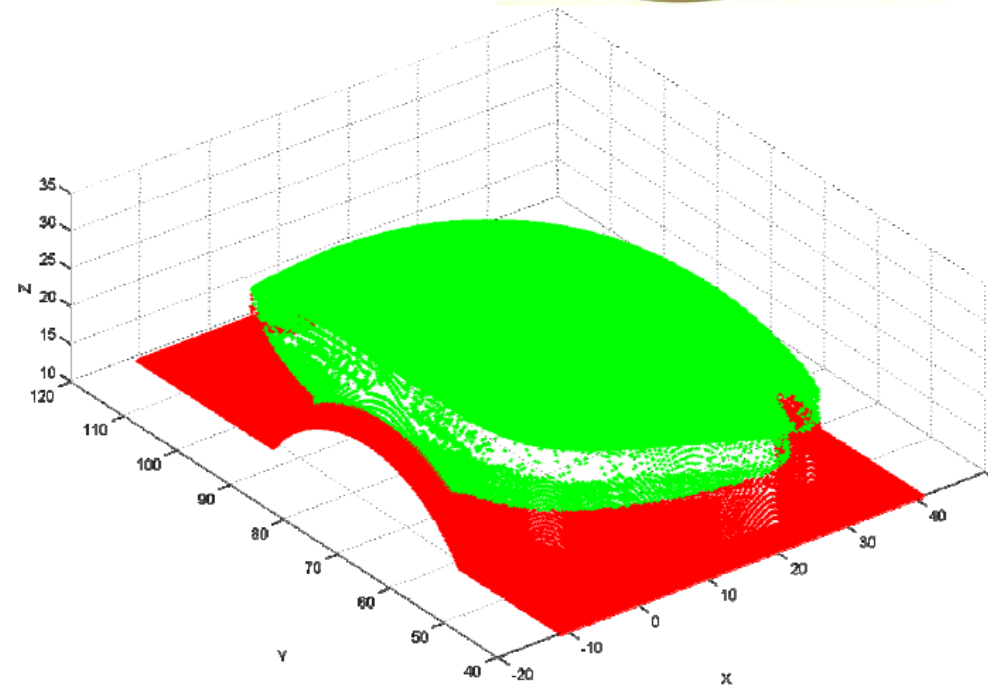
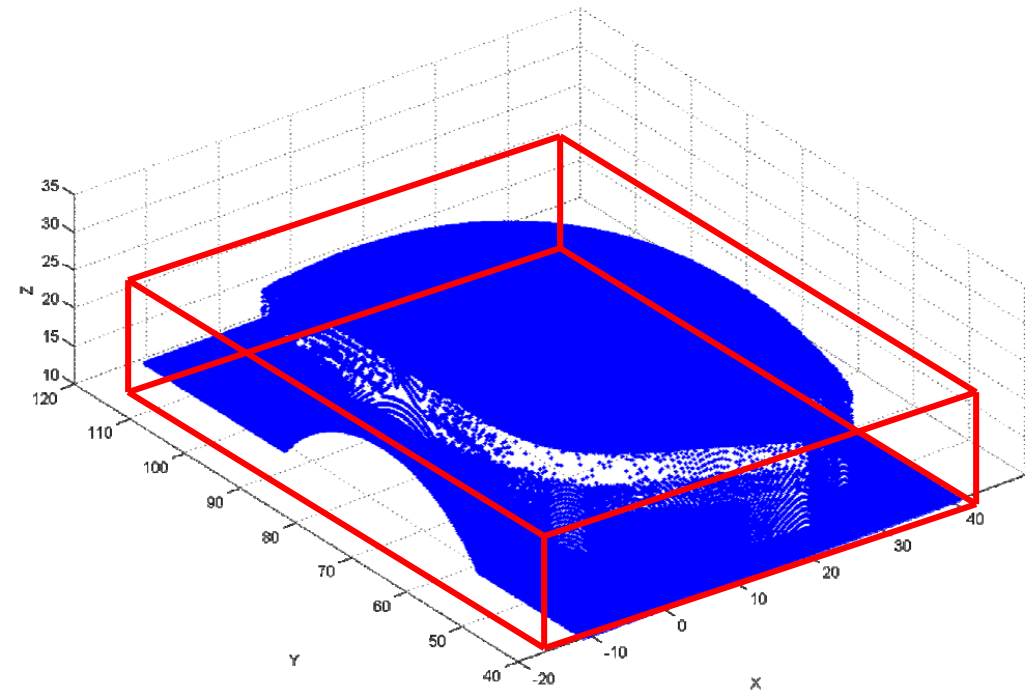
Primenom ove metode se, iz rezultata 3D digitalizacije, odstranjuju tačke koje leže izvan područja skeniranja.

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).

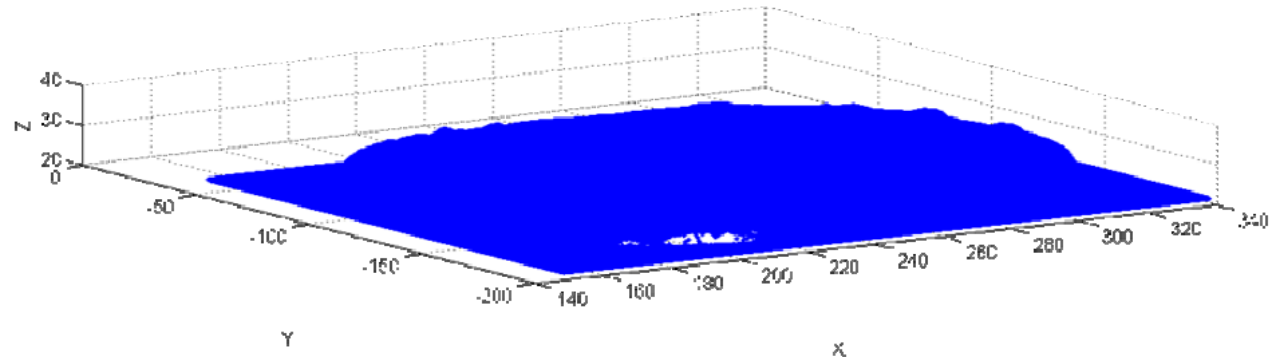


Podaci-tačke koji se nađu izvan ove zapremine smatraju se za greške merenja i eliminišu se.

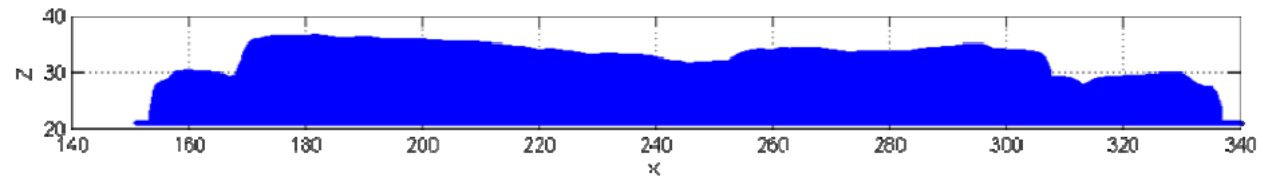
Ova metoda spada u grublje i primenjuje se za eliminisanje ekstremnih grešaka, koje se mogu javiti u rezultatu 3D digitalizacije.



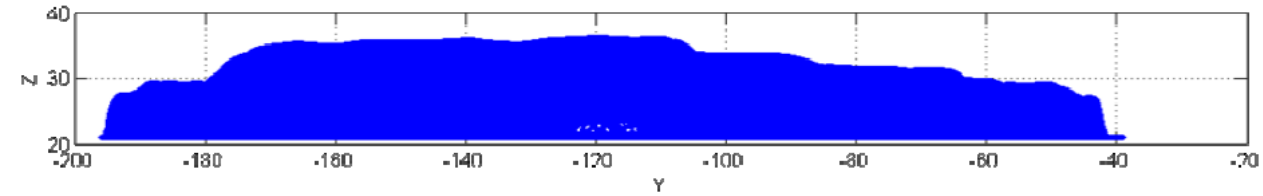
- filtered points
- retained points



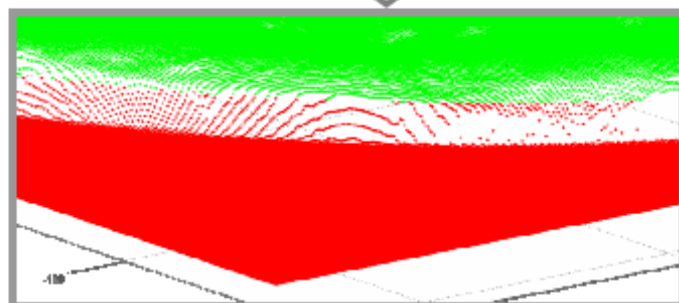
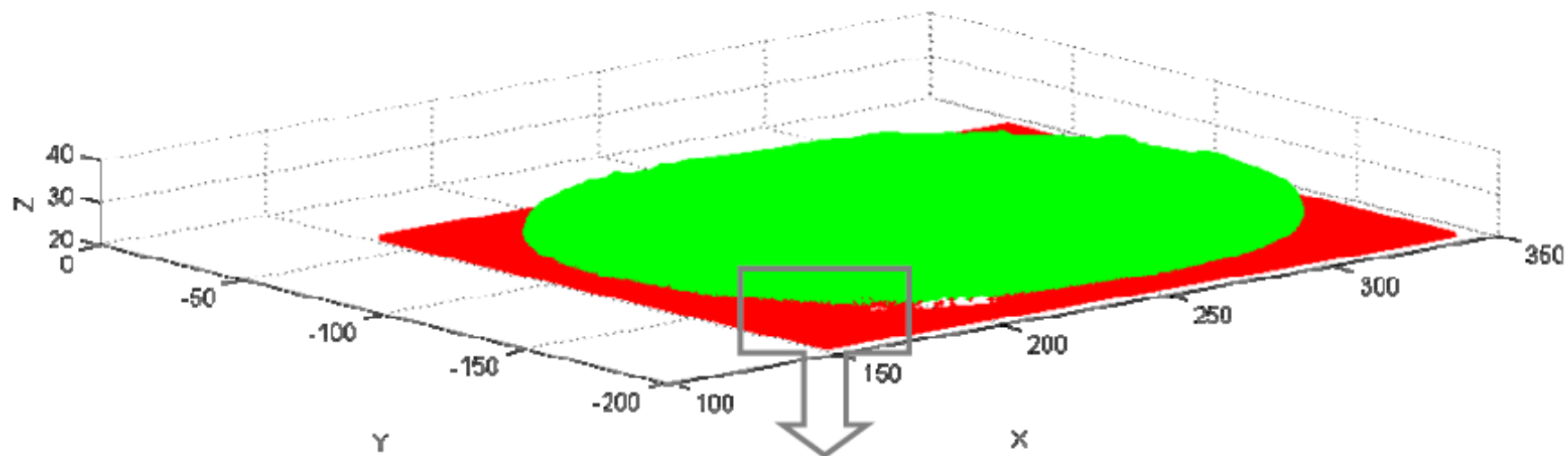
*a) Isometric projection*



*b) Orthogonal projection in x-z plane*



*c) Orthogonal projection in y-z plane*

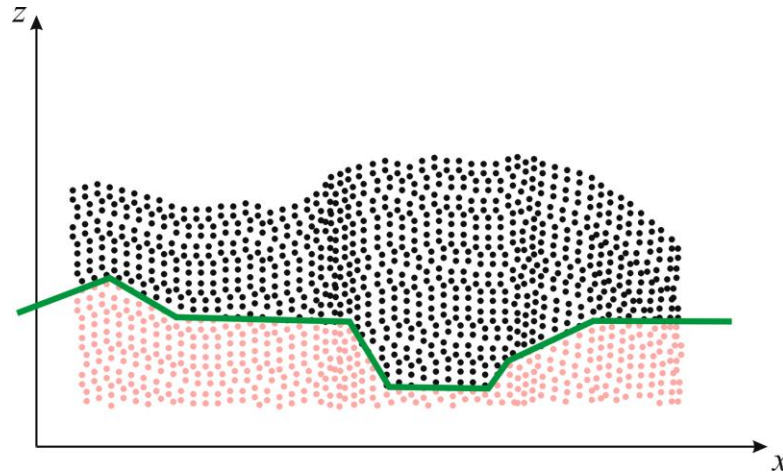


- filtered points
- retained points

# Metoda segmentirane linije

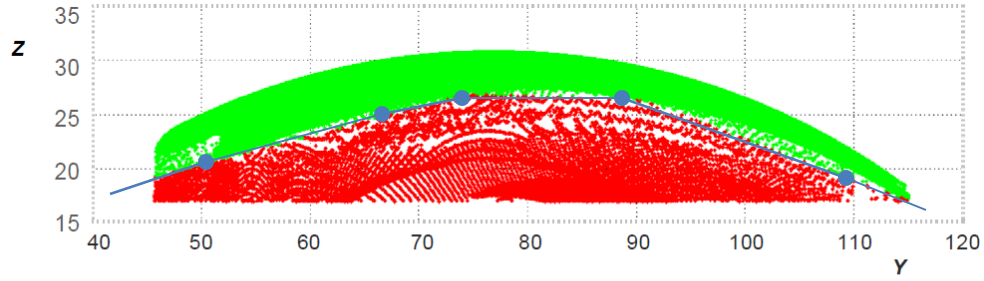
Ova metoda je “sophisticiranija” varijanta prethodne i podrazumeva odvajanje (separaciju) delova oblaka-tačaka koji predstavljaju greške merenja (ili neželjene tačke) pomoću filter linije.

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.

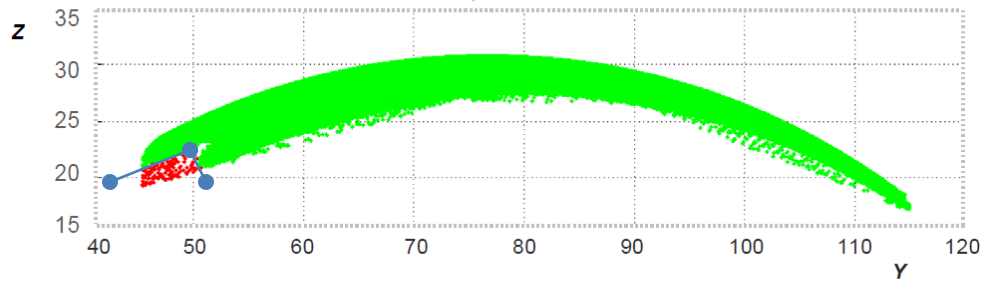


Moguće su i varijante sa kreiranjem “izlomljene” filter linije u nekoj proizvoljnoj ravni, što mora biti podržano mogućnošću transformacija koordinatnog sistema.

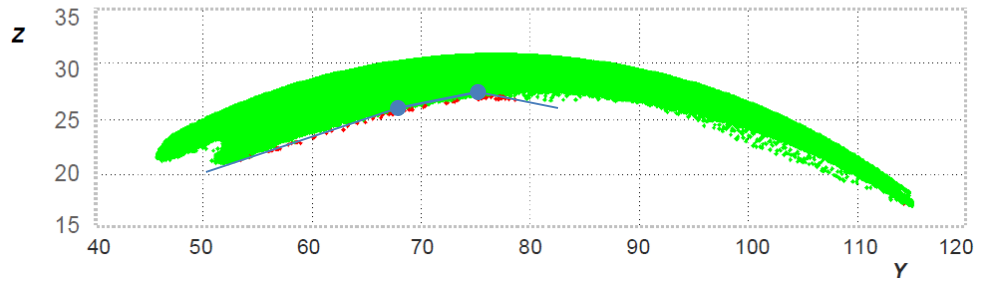
Nakon kreiranja filter linije, eliminišu se tačke sa njene željene strane



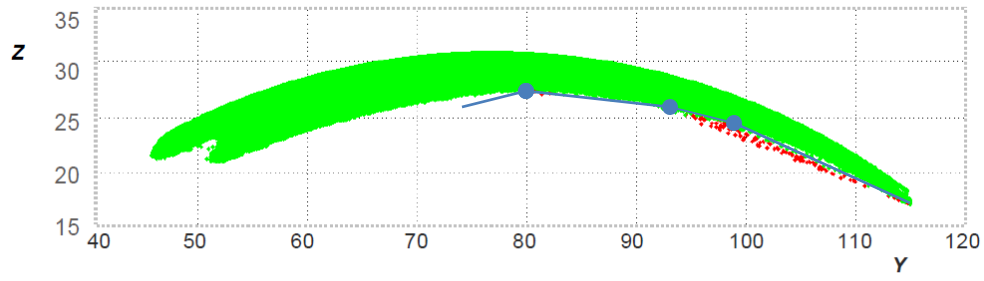
a) 1<sup>st</sup> iteration



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

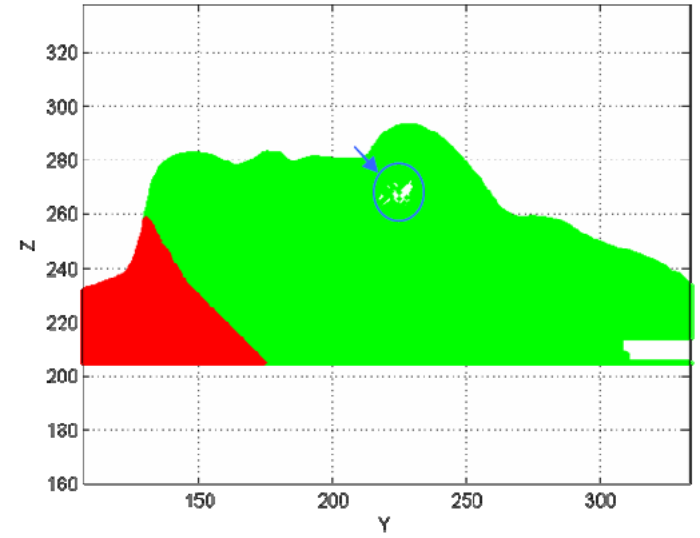


c) 3<sup>rd</sup> iteration

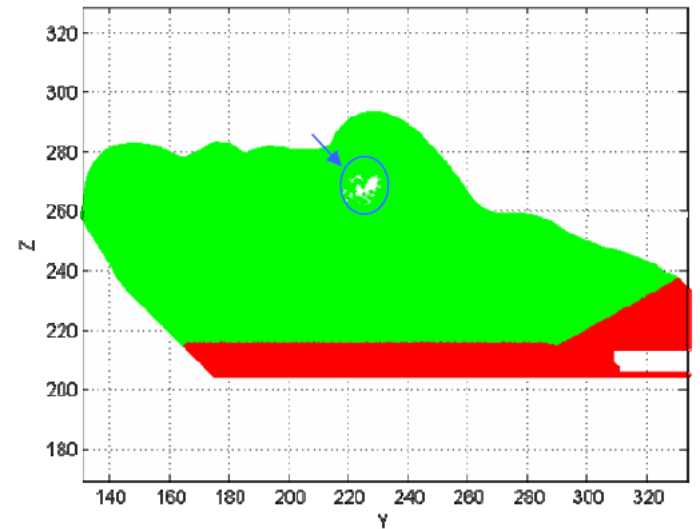


d) 4<sup>th</sup> iteration

- filtered points
- retained points

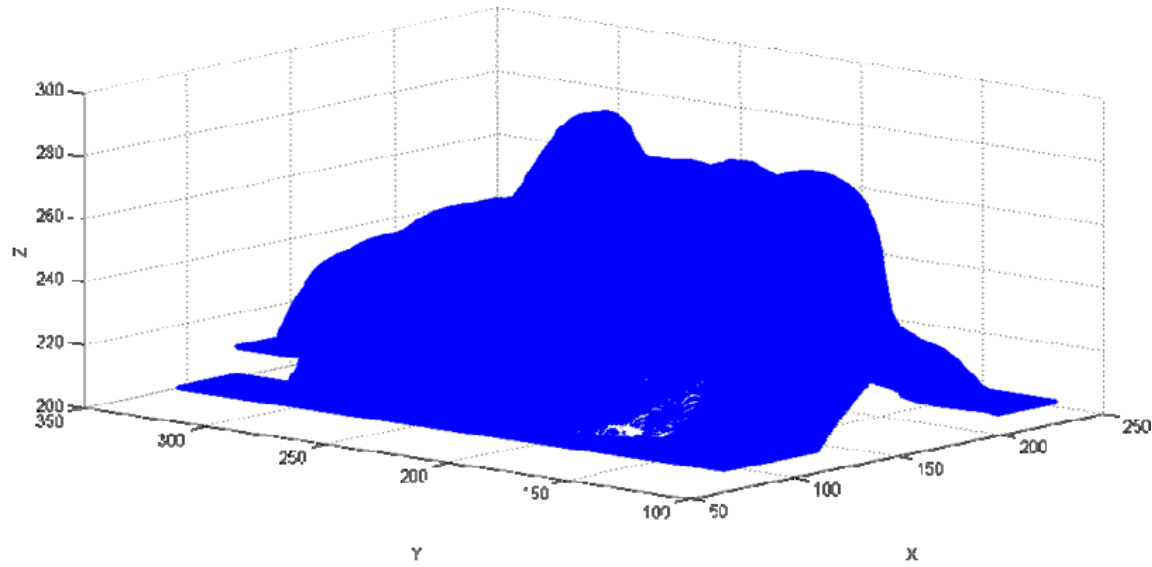


a) 1<sup>st</sup> iteration



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

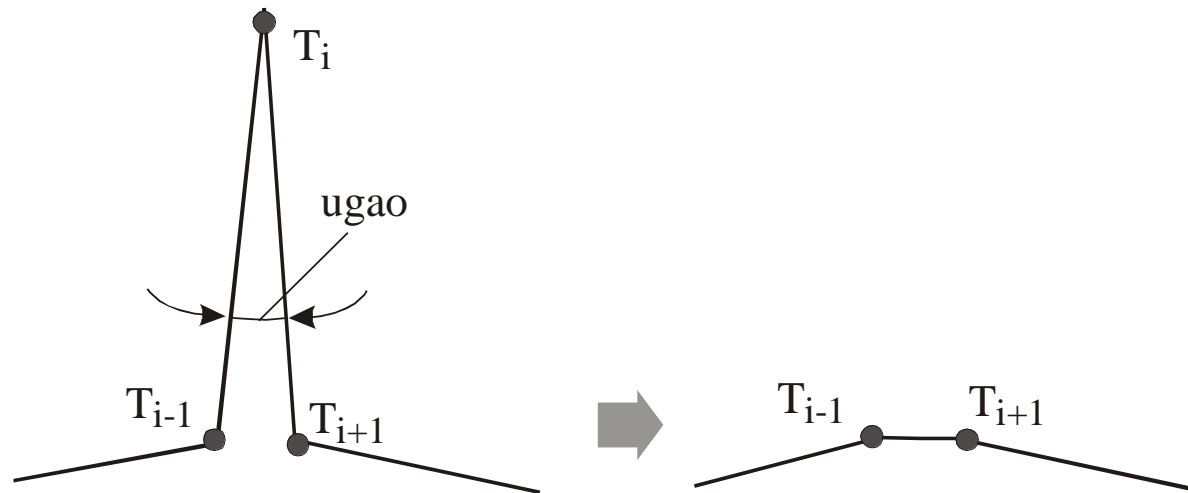
- filtered points
- retained points



# Metoda ugla

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

Kod odstranjivanja ovih tačkaka, dve susedne tačke analiziranoj 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 ( $T_{i+1}$ ).

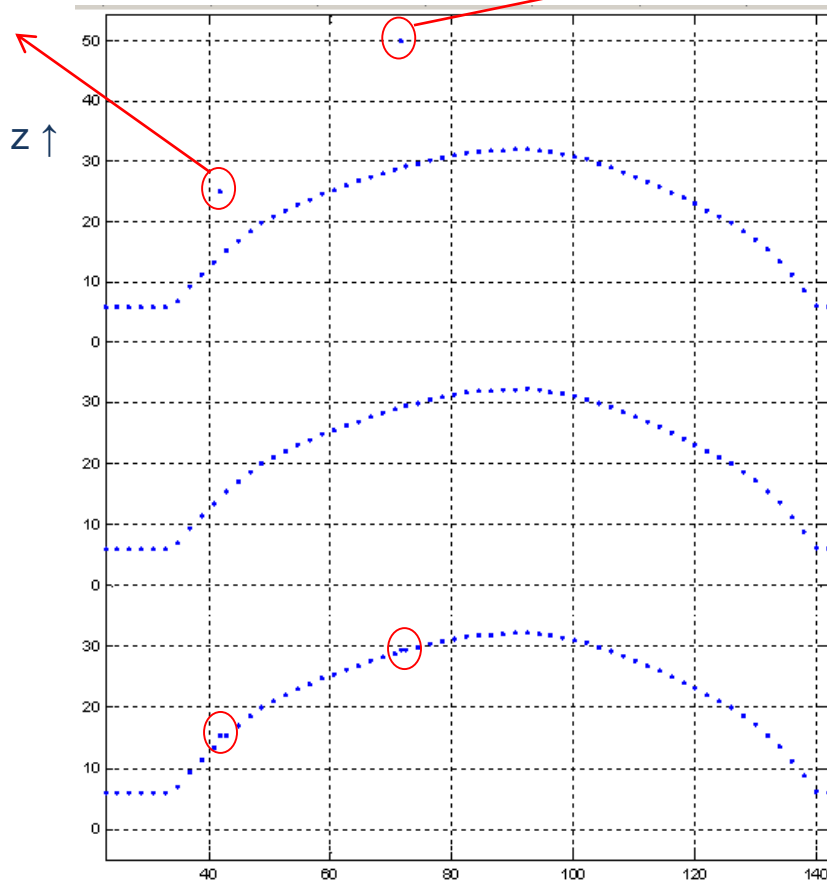
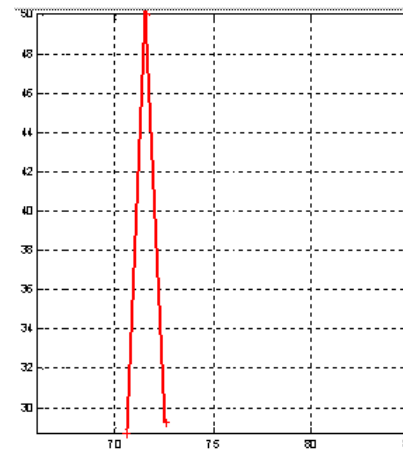
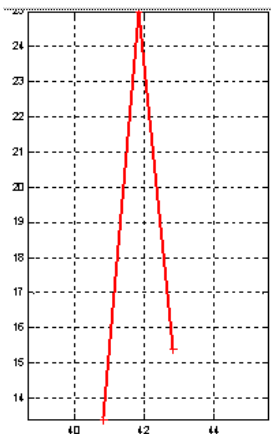


Ukoliko je taj ugao manji od minimalno dozvoljenog, zdatog od strane korisnika (neka vrednost koja se primenjuje u praksi je oko 10-15°) posmatrana tačka se eliminiše.



# Preprocesiranje podataka

## Eliminisanje impulsnog šuma



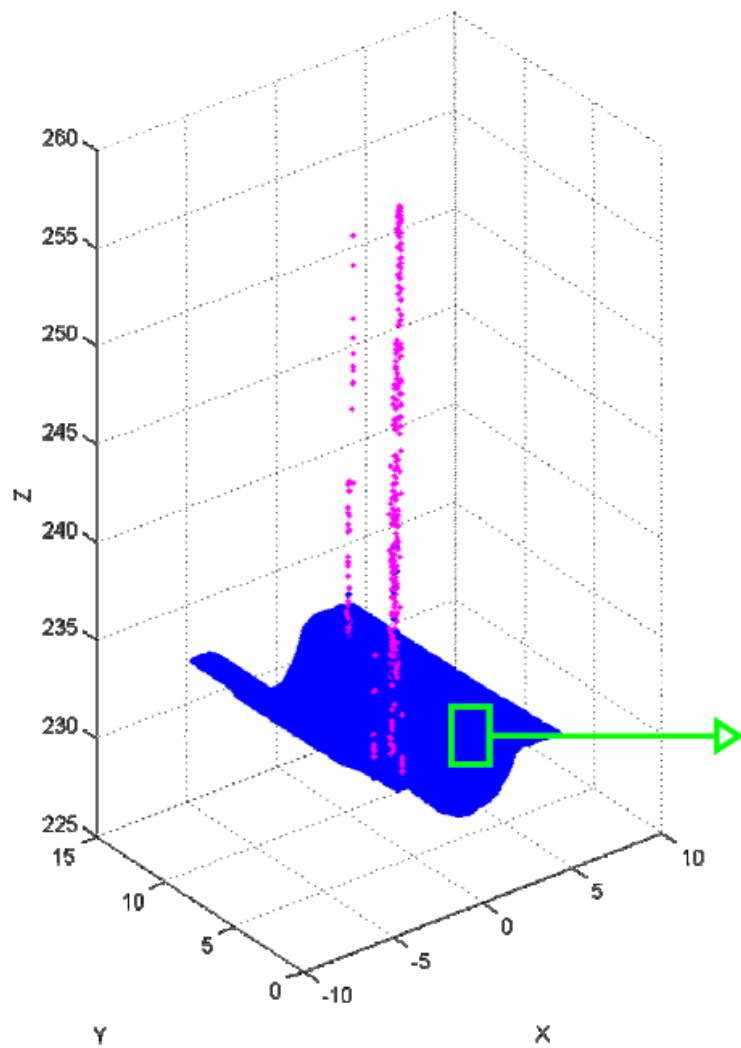
originalni podaci  
(sa impulsnim  
šumom)

ugaona metoda

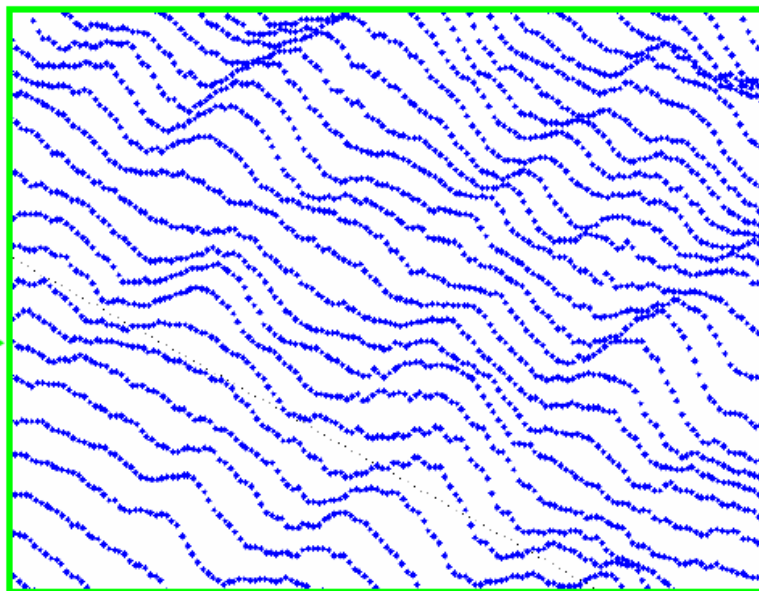
metoda medijane

x

→



- eliminisane tačke
- zadržane tačke



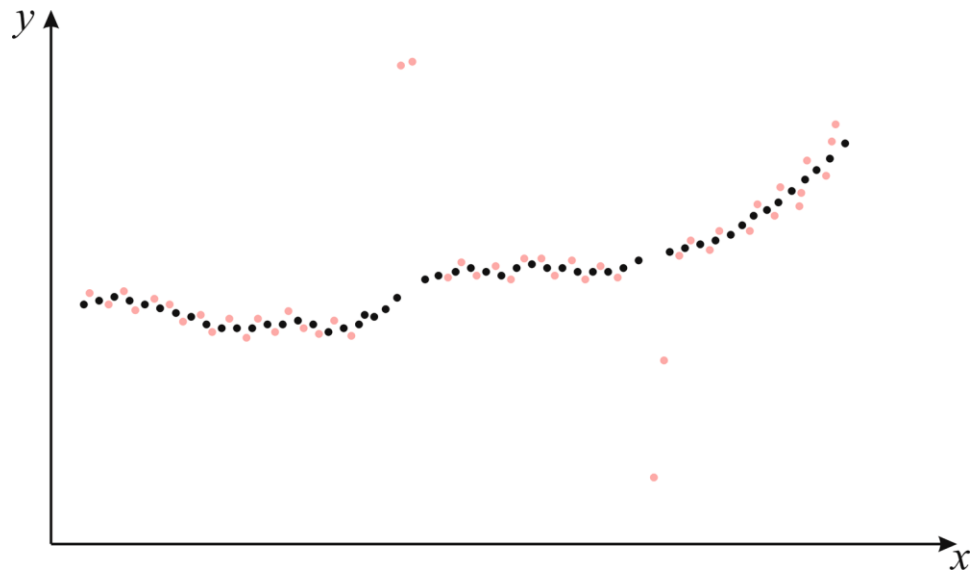
# Uravnavanje podataka-tačaka

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.

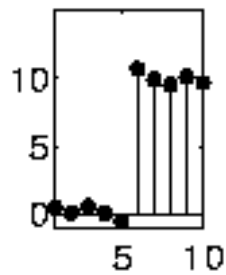
Ova vrsta filtera vrši “omekšavanje” pikova u rezultatu 3D digitalizacije pomeranjem svake od tačaka na srednju poziciju te tačke i njoj susednih (najčešće se primenjuje u varijanti sa po jednom ili dve susedne tačke).

Sličan je filteru na principu medijane.

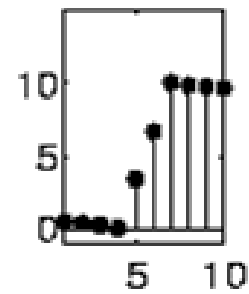
Daje dobre rezultate kod nizova podataka-tačaka sa puno šuma.

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

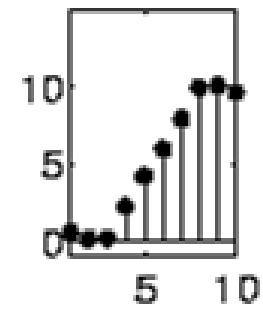
## Filtriranje metodom srednjih vrednosti - efekat u slučaju stepenastih prelaza



originalni podaci



po 1 susedna tačka



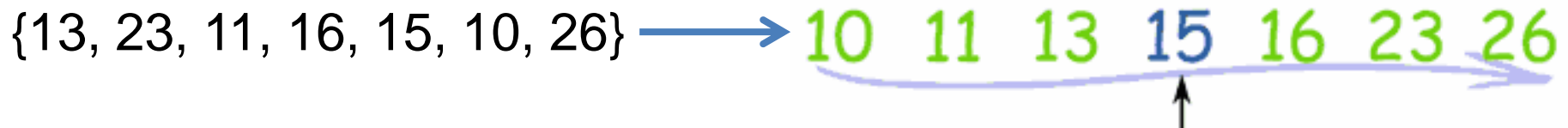
po 2 susedne tačke

# 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.

Definicija: “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.

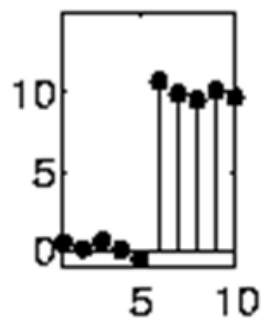
**Prozor filtera** predstavlja broj tačaka koji se uzima u obzir sa jedne strane analizirane tačke.

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

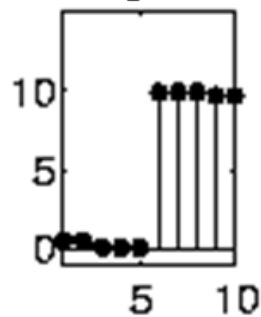
Primenu filtera na bazi medijane karakteriše tendencija očuvanja oblika.

Vrlo dobro se ponaša kada su u pitanju stepenasti oblici, što i jeste osnovna prednost u odnosu na filtriranje srednjom vrednošću.

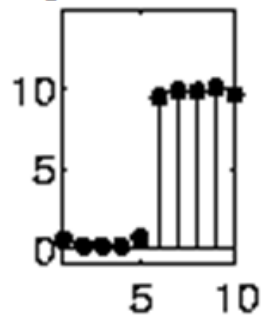
Ovaj filter je pogodan i za eliminisanje impulsnog šuma, pri čemu je bitna širina prozora filtera.



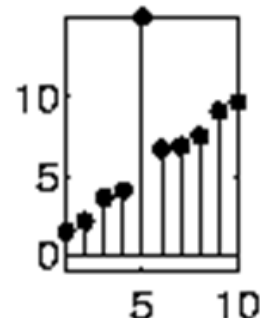
original



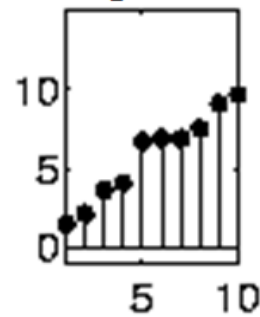
prozor = 3



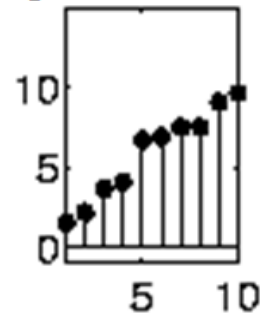
prozor = 5



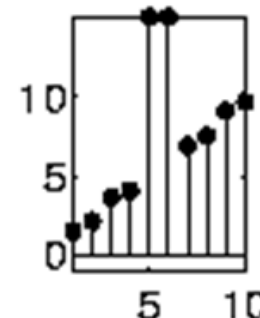
original



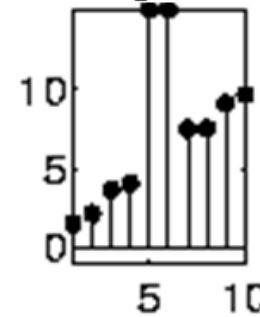
prozor = 3



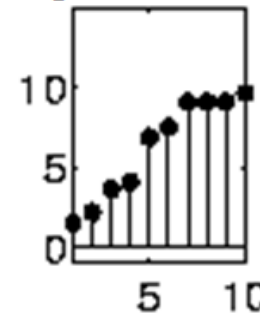
prozor = 5



original



prozor = 3



prozor = 5

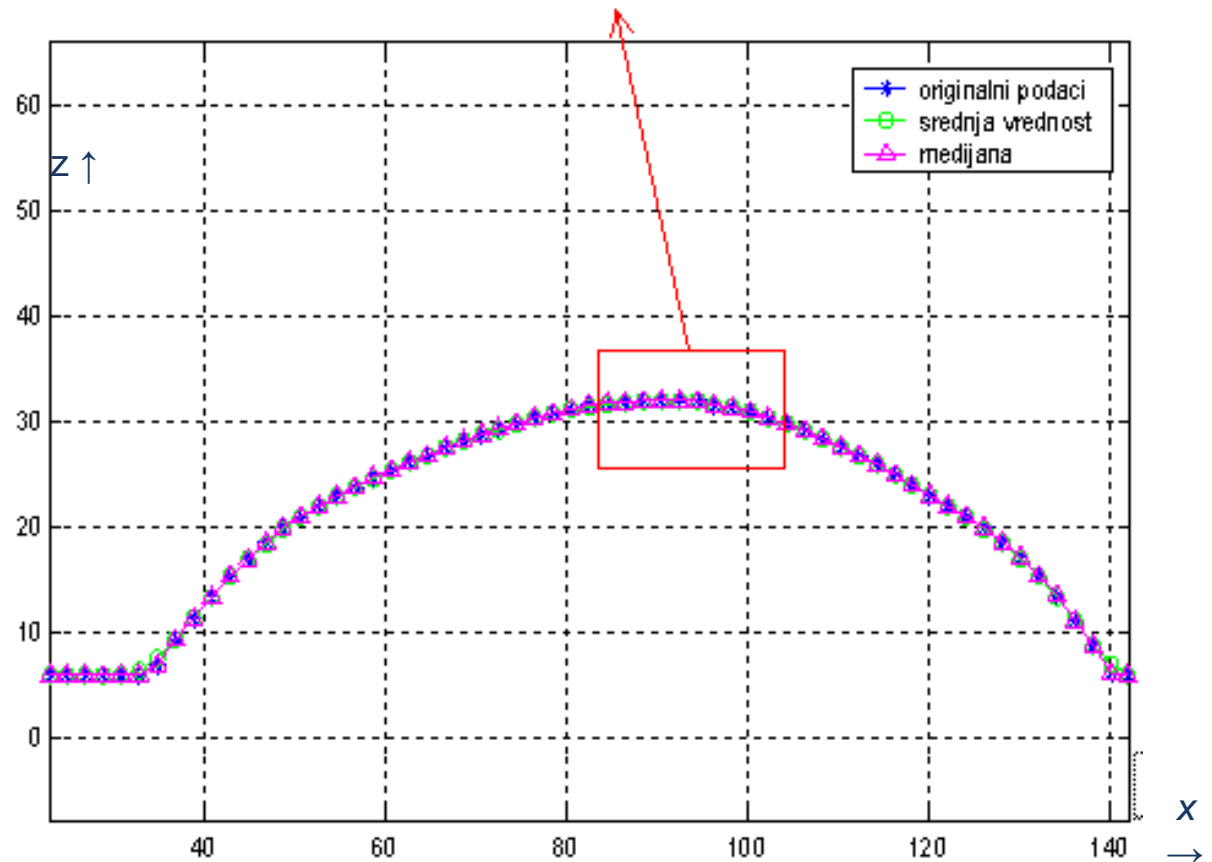
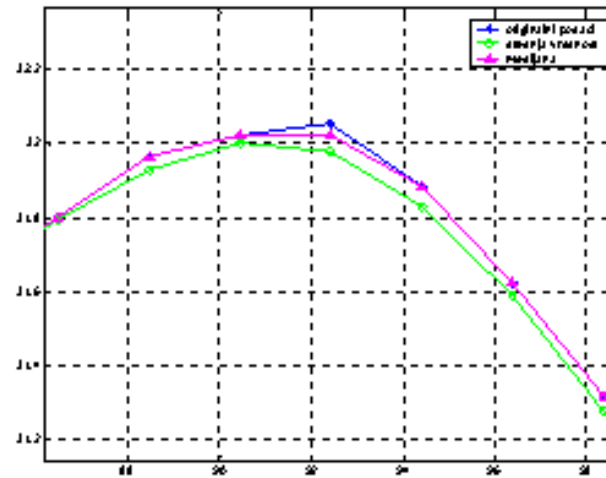
a) očuvanje ivice

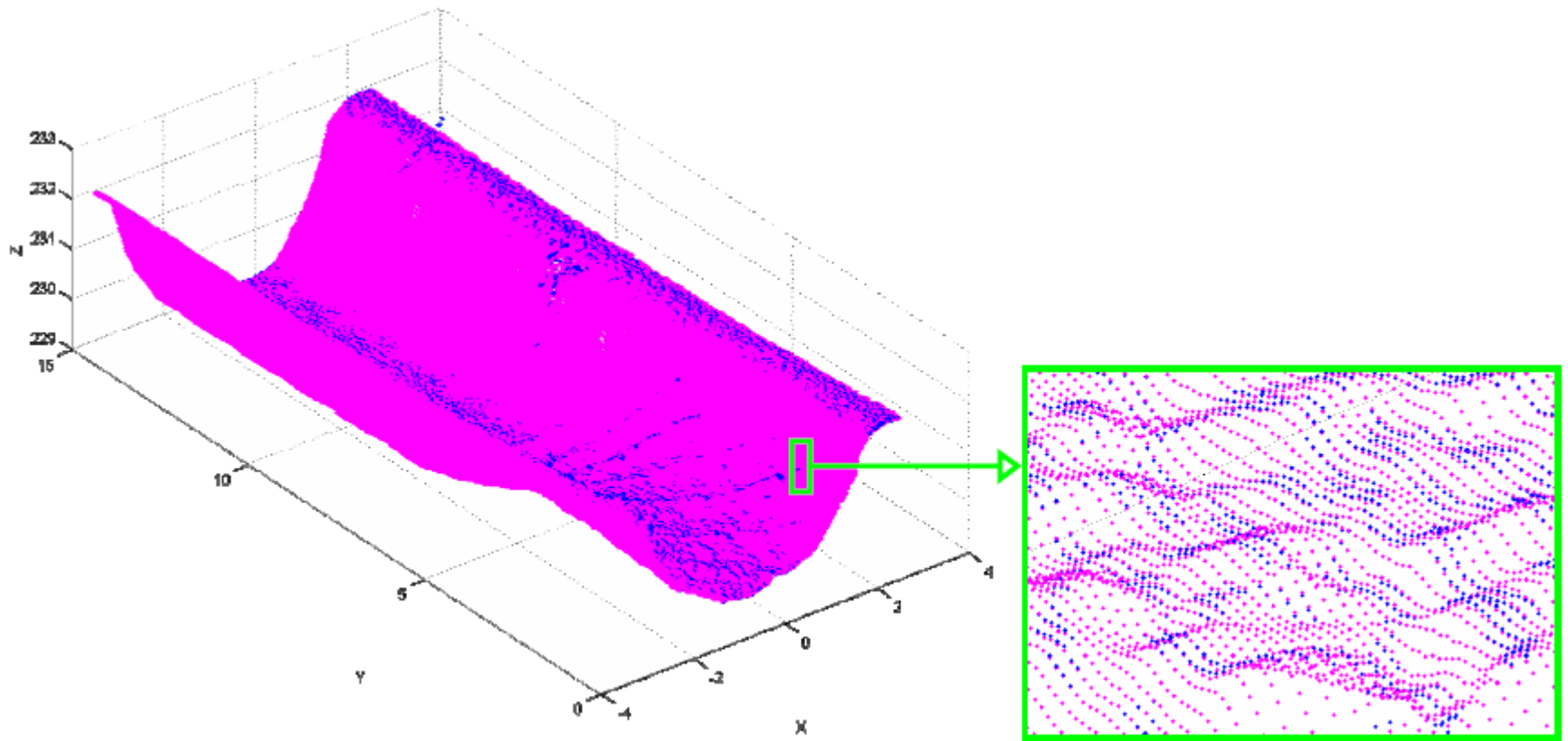
b) impulsni šum i širina prozora filtera

*Osobine filtera na bazi medijane*



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





- original points
- smoothed points

# 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:

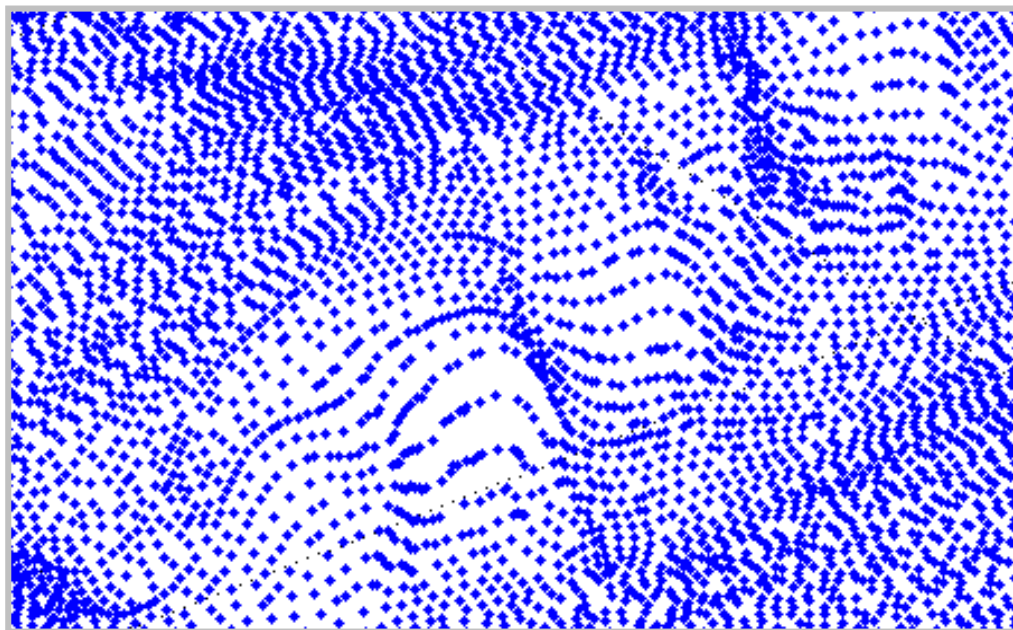
- 1) Metoda uniformnog semplovanja (ili faktorna metoda)
- 2) Metoda prostornog semplovanja
- 3) Metoda devijacije visine tetive
- 4) Metoda redukcije podataka na osnovu visine
- 5) Metoda redukcije na osnovu nivoa pravosti
- 6) Metoda redukcije tačaka na osnovu krivosti u tačkama
- 7) Metoda redukcije 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)**.

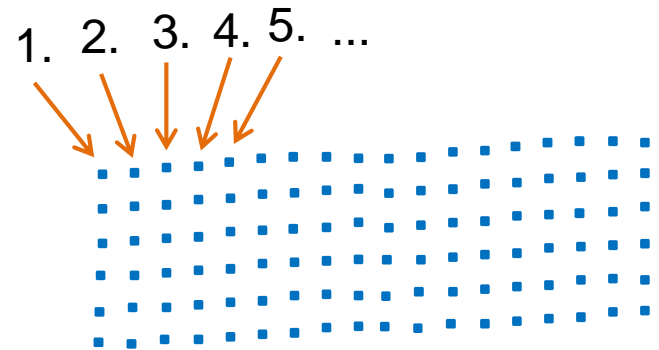
**Strukturiranost** podrazumeva da su tačke:

- 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).



# Primer: 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





## Primer: 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 { Open Index ArcLength  
redni broj krive { Begin section ! 1  
Begin curve ! 1

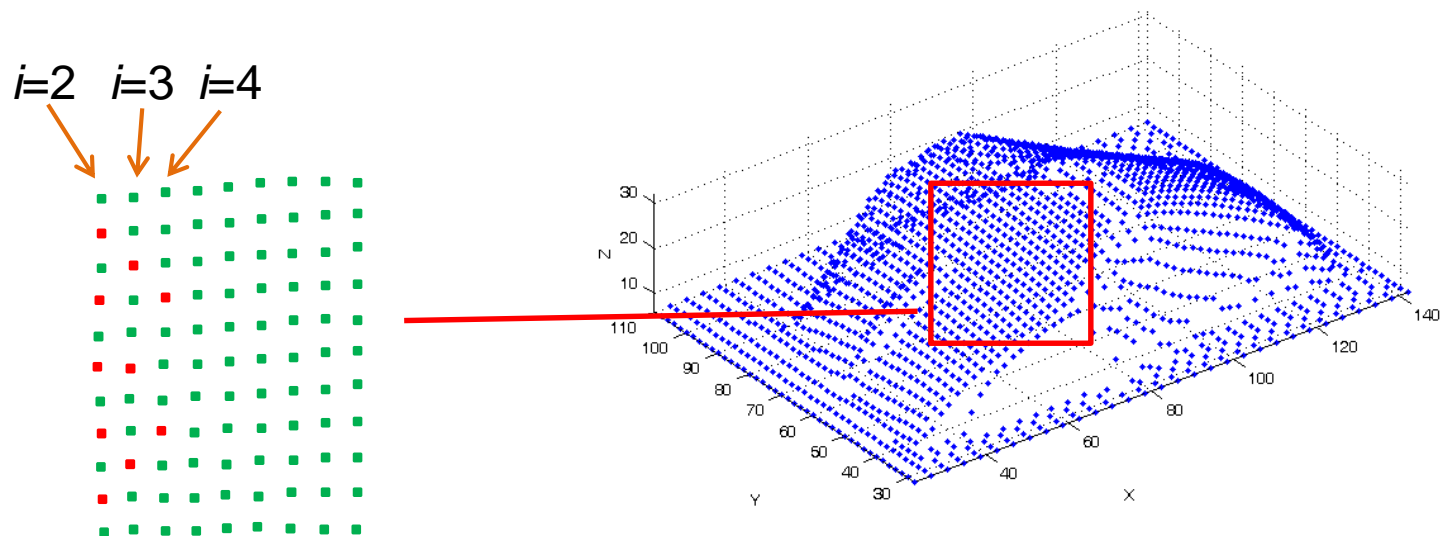
1	23.	28.	5.998
2	24.983	28.	5.998
3	26.967	28.	5.998
4	28.95	28.	5.998
5	30.933	28.	5.998
6	32.917	28.	5.998
7	34.9	28.	5.998
8	36.883	28.	5.998
9	38.867	28.	5.998
10	40.85	28.	5.998
11	42.833	28.	5.998
12	44.817	28.	5.998
13	46.8	28.	5.999
14	48.783	28.	5.999
15	50.767	28.	5.999
16	52.75	28.	5.999
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 semplouje (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:

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

