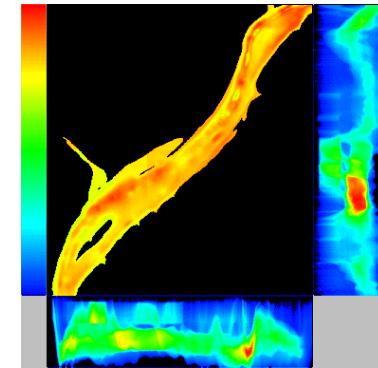
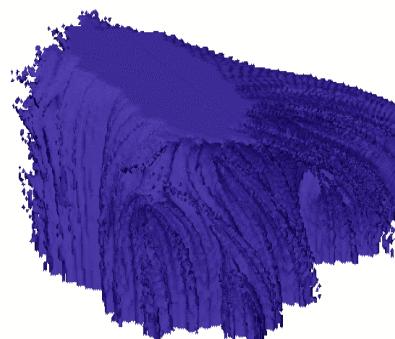
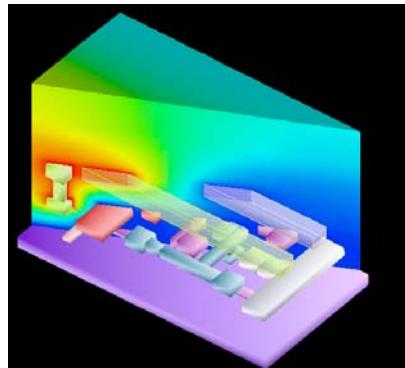
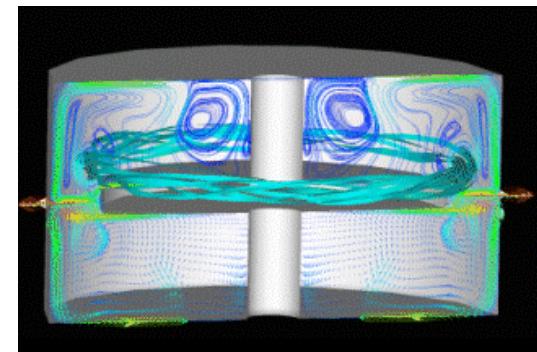
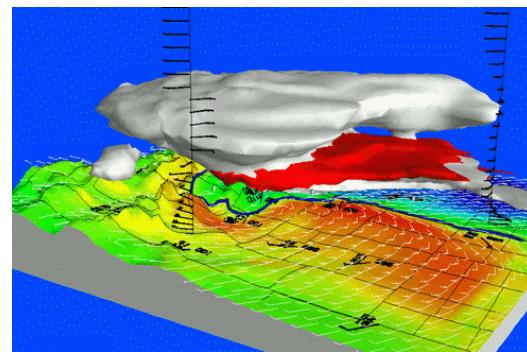
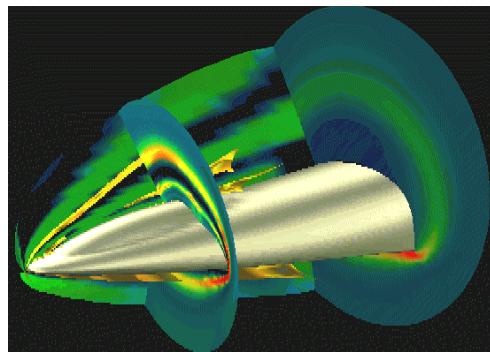
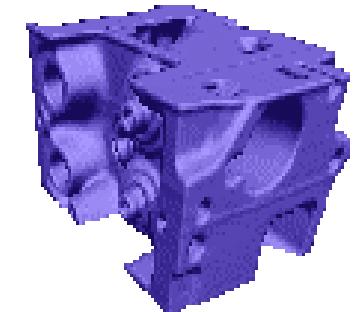
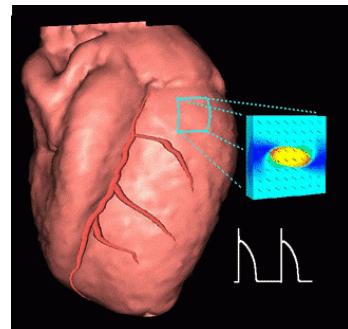
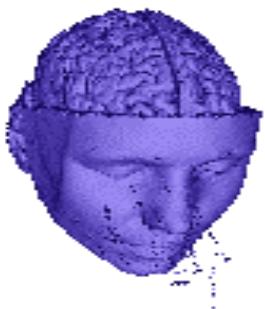


# 8. Vizualizacija

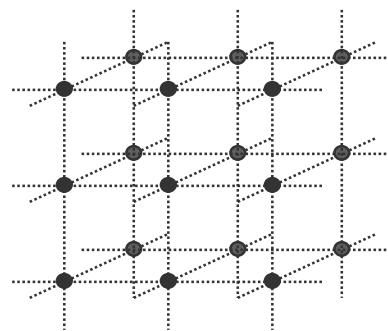
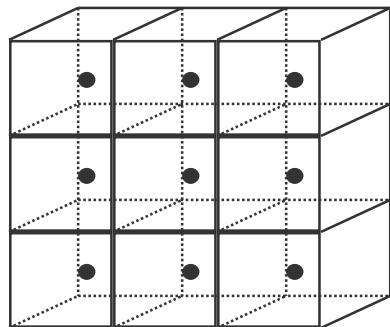
# Cilj, područja primjene

- važnost primjene
  - neovisnost o skali, neinvazivno djelovanje
- ulazni skup podataka
  - veliki skup podataka
  - uzorkovanje, rezultati simulacija, proračuni
- područja primjene
  - medicina, biologija
  - strojarstvo, modeliranje
  - protok fluida, elektromagnetska polja

# područja primjene



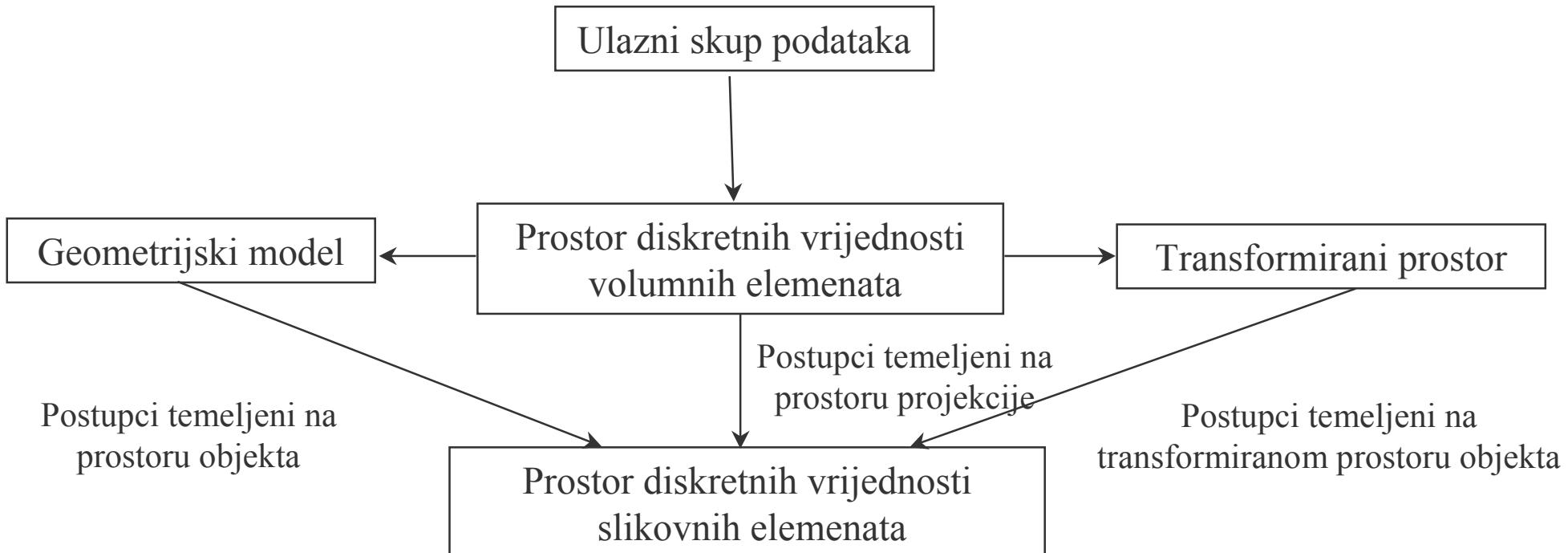
## 8.1. Vizualizacija u prostoru volumnih elemenata



- prostor volumnih elem.
  - nalaženje istovrijedne površine
  - gustoća uzorka
  - rekonstrukcija (interpolacija)

- temeljni zadatak
  - predstavljanje 3D skupova podataka  
(istovrijednih površina)
  - $f(x, y, z) = k$  postavljanje praga
    - jedna vrijednost
    - više vrijednosti

## 8.2. Postupci vizualizacije

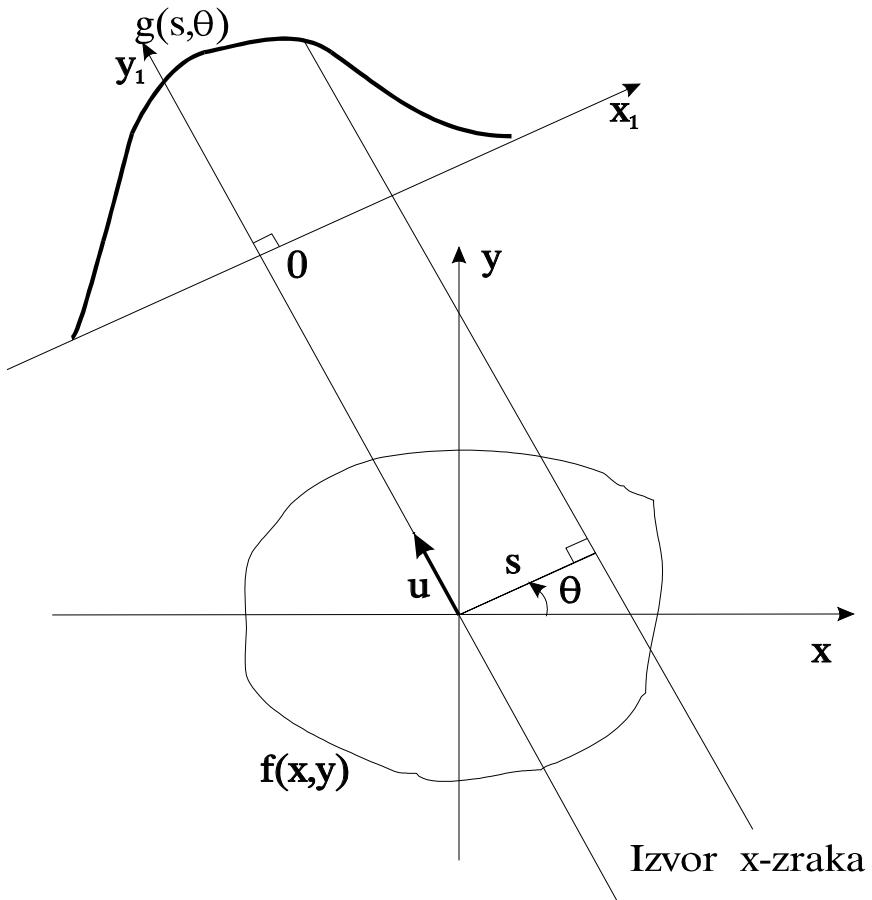


## 8.2.1 Ulazni skup podataka

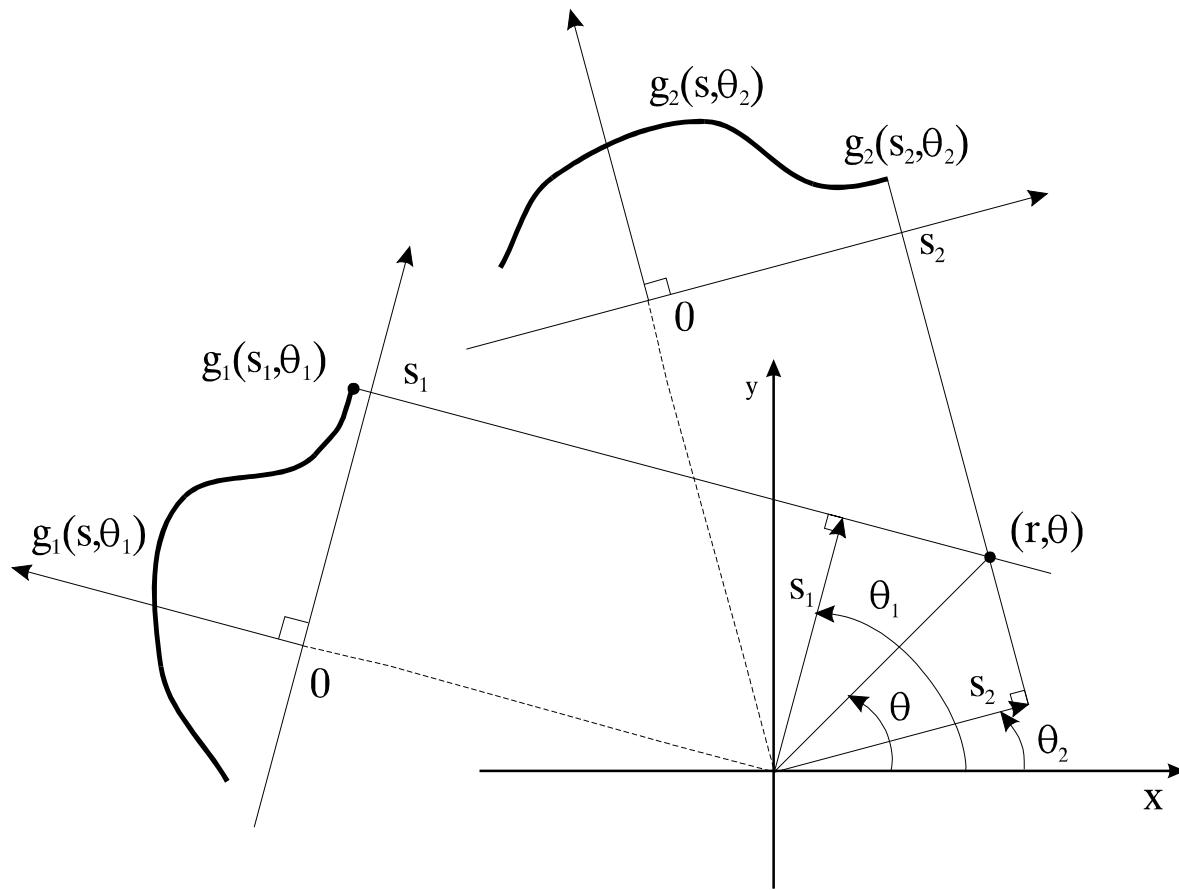
### a) PODACI DOBIVENI UZORKOVANJEM

- ultrazvučno uzorkovanje
- CT (računalna tomografija)
  - transmisijska tomografija
  - refleksijska tomografija
  - emisijska tomografija - PET (tomografija emisijom pozitrona)
- MR (magnetska rezonancija)

## CT - računalna tomografija



# rekonstrukcija jednog poprečnog presjeka



## b) APSTRAKTNI PODACI

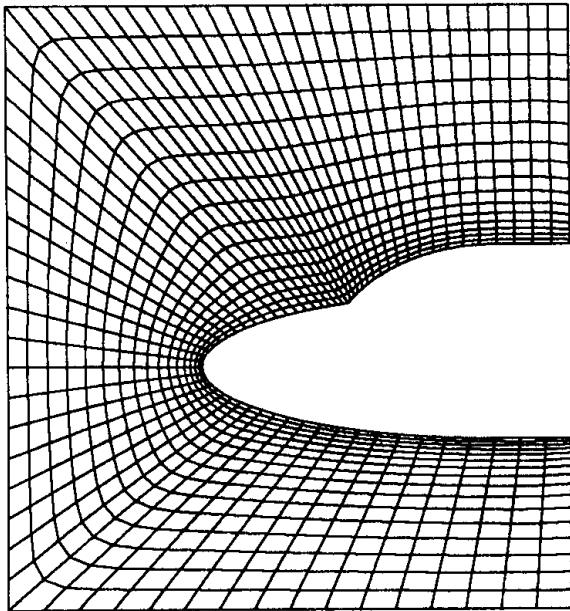
- vrijednosti funkcije u prostoru volumnih elemenata
  - Julijevi i Mandelbrotovi fraktalni skupovi  $z_{n+1} = f(z_n, c)$ ,  
 $z_0$  početna vrijednost,  $c$  kompleksna konstanta,  
 $f$  nelinearna funkcija kompleksne varijable.

## c) REZULTATI SIMULACIJA

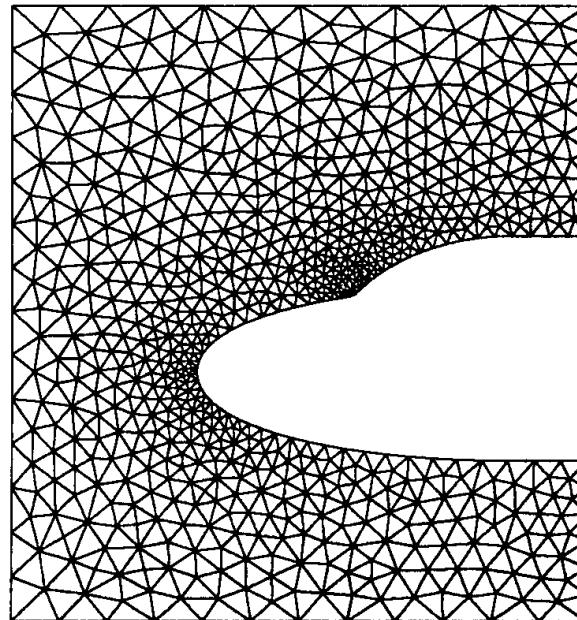
- izgradimo model (npr. konačni elementi, FEM Finite Element Modeling)
- načinimo simulaciju
- prikazujemo rezultat (npr. protok fluida, CFD Computational Fluid Dynamics, elektromag. polja)

# Struktura ulaznih podataka

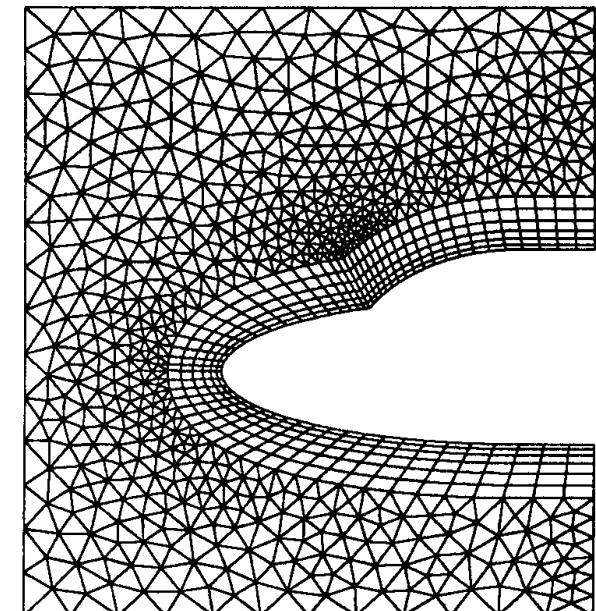
- neravnomjerno raspršeni volumni elementi
  - geometrija podataka (raspored točaka u prostoru)
  - topologija podataka (povezanost točaka u prostoru)
    - heksaedarske mreže
    - tetraedarske mreže
    - hibridne mreže
- jednoliko raspoređeni volumni elementi



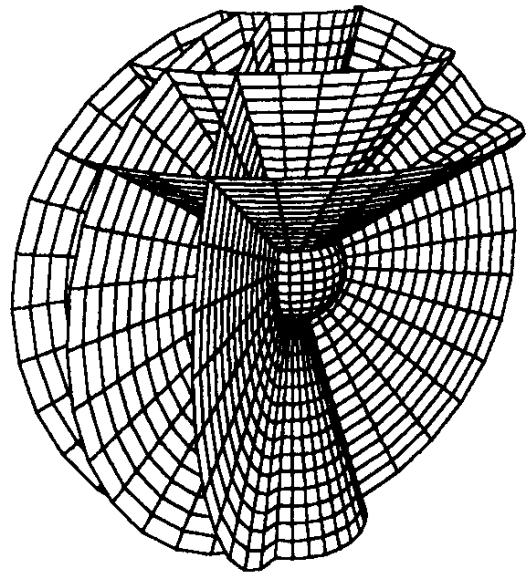
heksaedarska



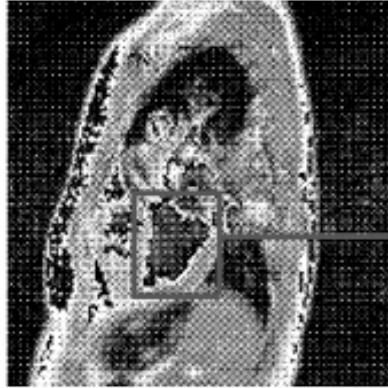
tetraedarska



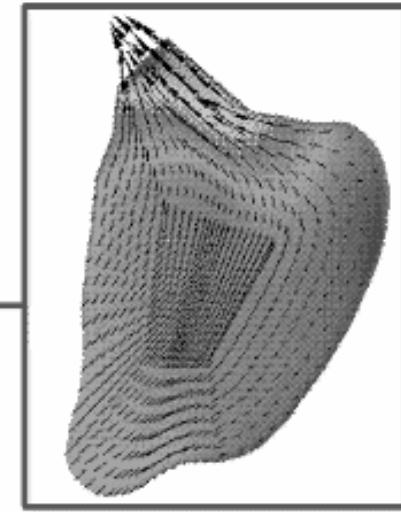
hibridna mreža



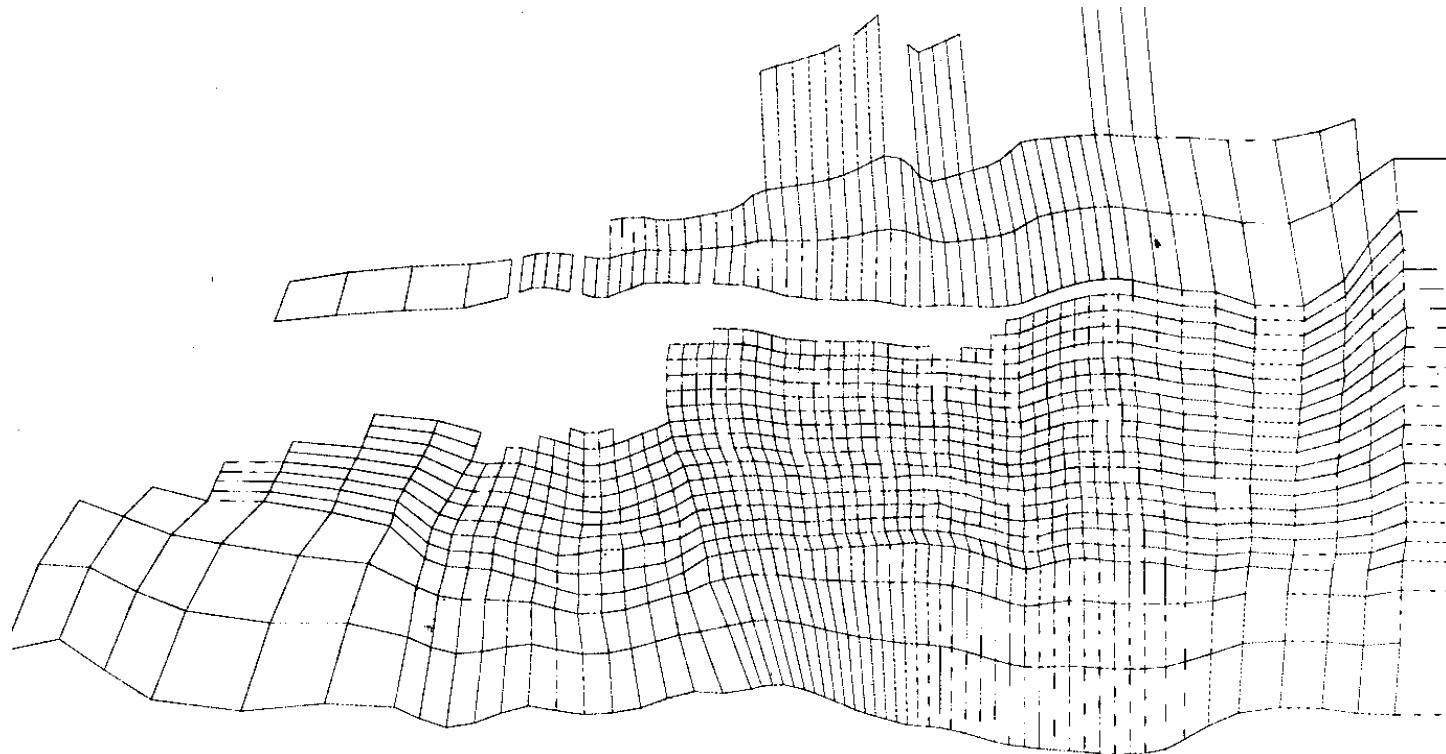
strujanje zraka (avion)



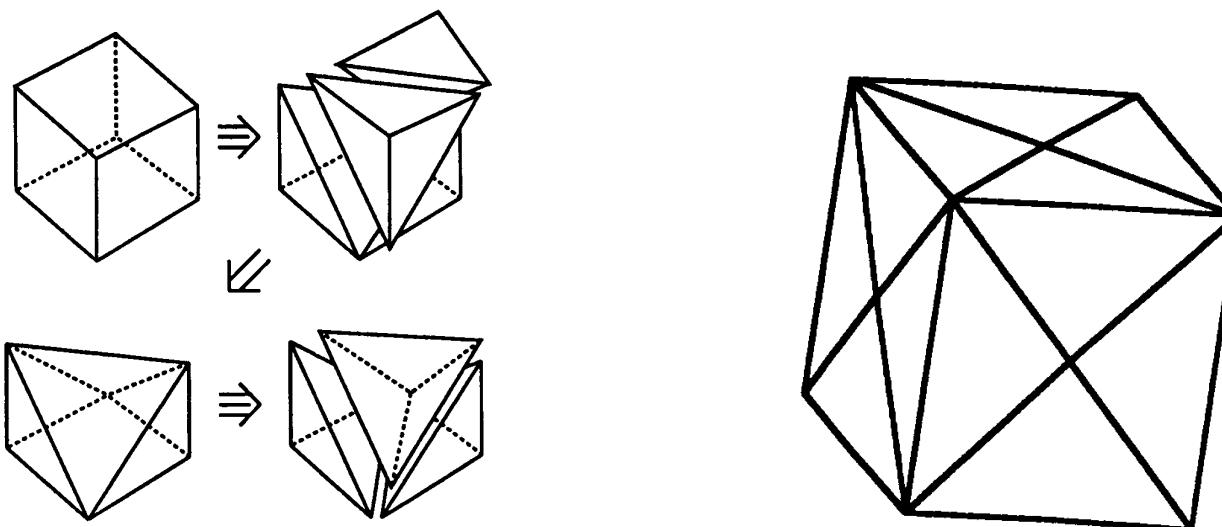
zvuk u ušnoj školjci



## geološki podaci (nalazište nafte)



- dekompozicija mreže
  - dekompozicija heksaedarske čelije na tetraedarske čelije
    - asimetrična podjela na 5 tetraedarskih čelija
    - simetrična podjela na 24 tetraedarskih čelija



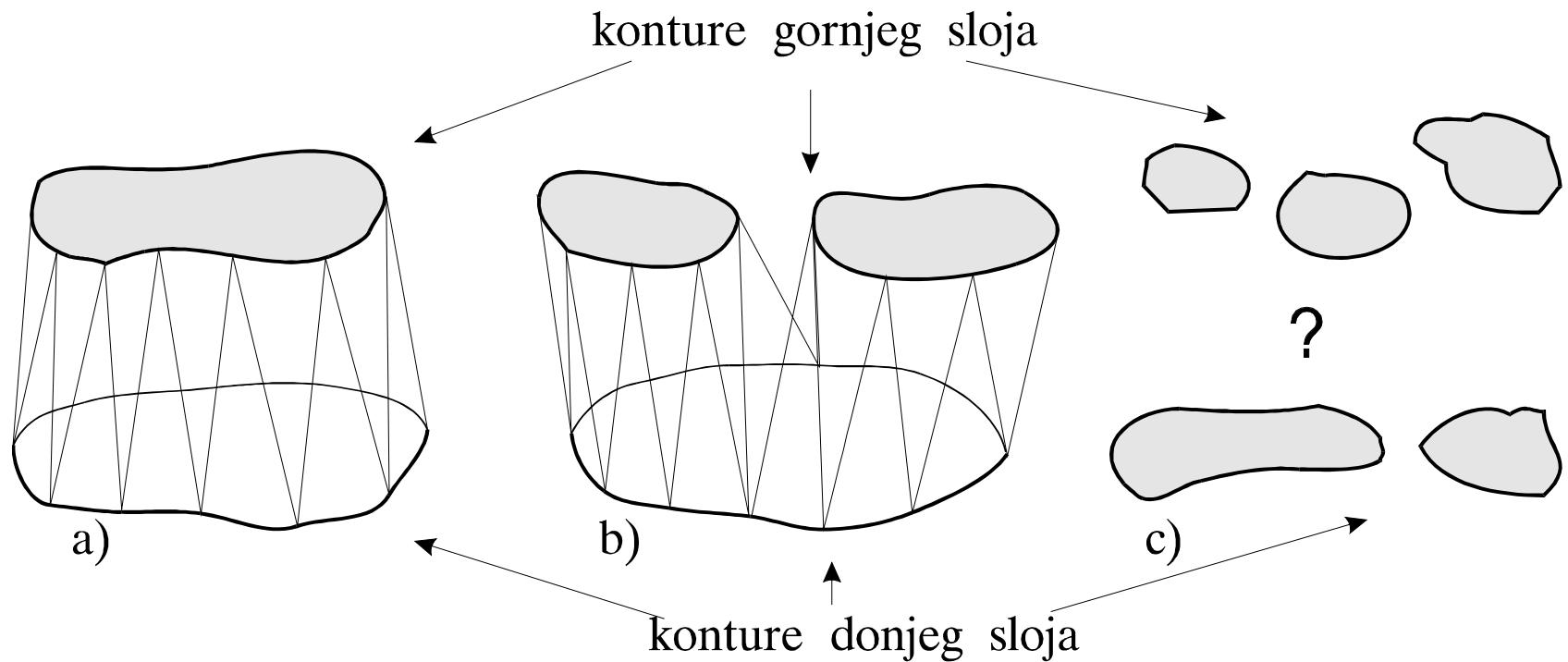
## 8.2.2 Podjela postupaka vizualizacije

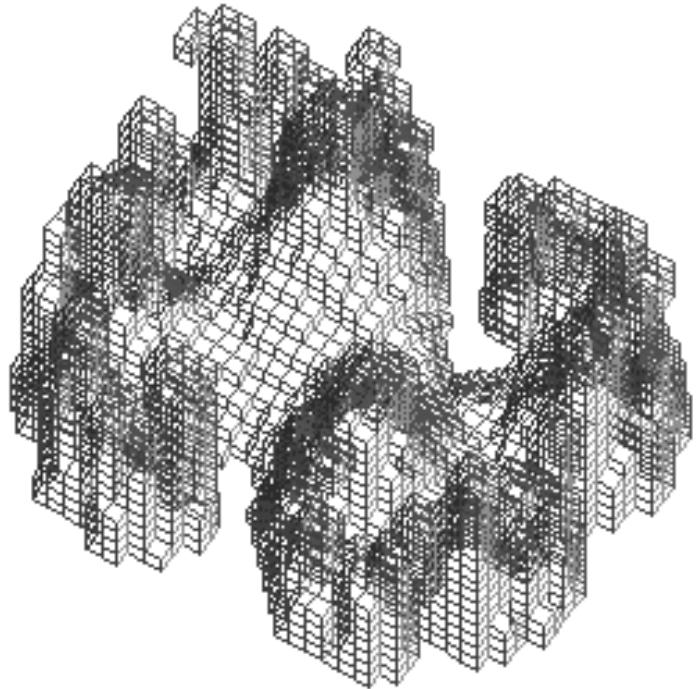
- postupci temeljeni na prostoru objekta
  - povezivanje kontura
  - prikaz kocaka
  - pokretna kocka
- postupci temeljeni na prostoru projekcije
  - prikaz volumena
- postupci temeljeni na transformiranom prostoru
  - frekvencijska domena
  - prostor valića

## 8.2.2.a Postupci temeljeni na prostoru objekta

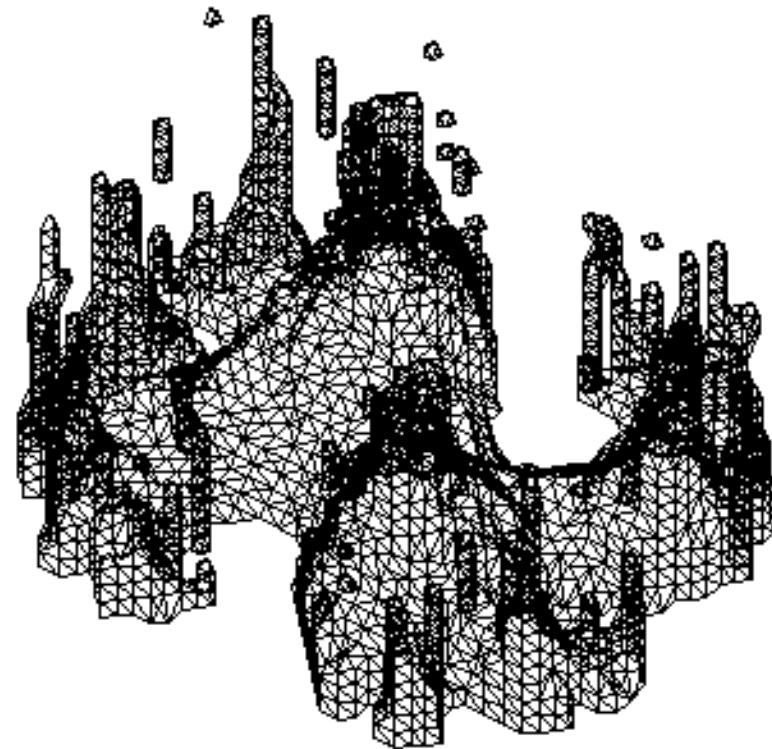
- korištenje geometrijske reprezentacije
  - povezivanje kontura
    - problemi nejednoznačnosti
  - prikaz kocaka (eng. cuberille model)
    - stepeničast prikaz
  - pokretne kocke (eng. Marching cube)

## Povezivanje kontura



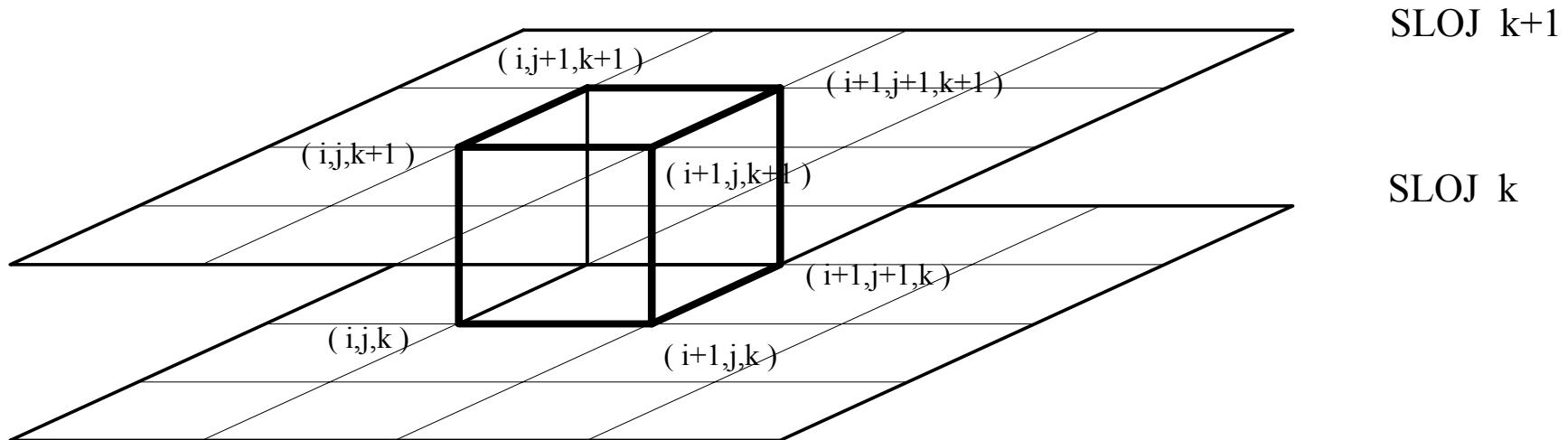


prikaz kocaka

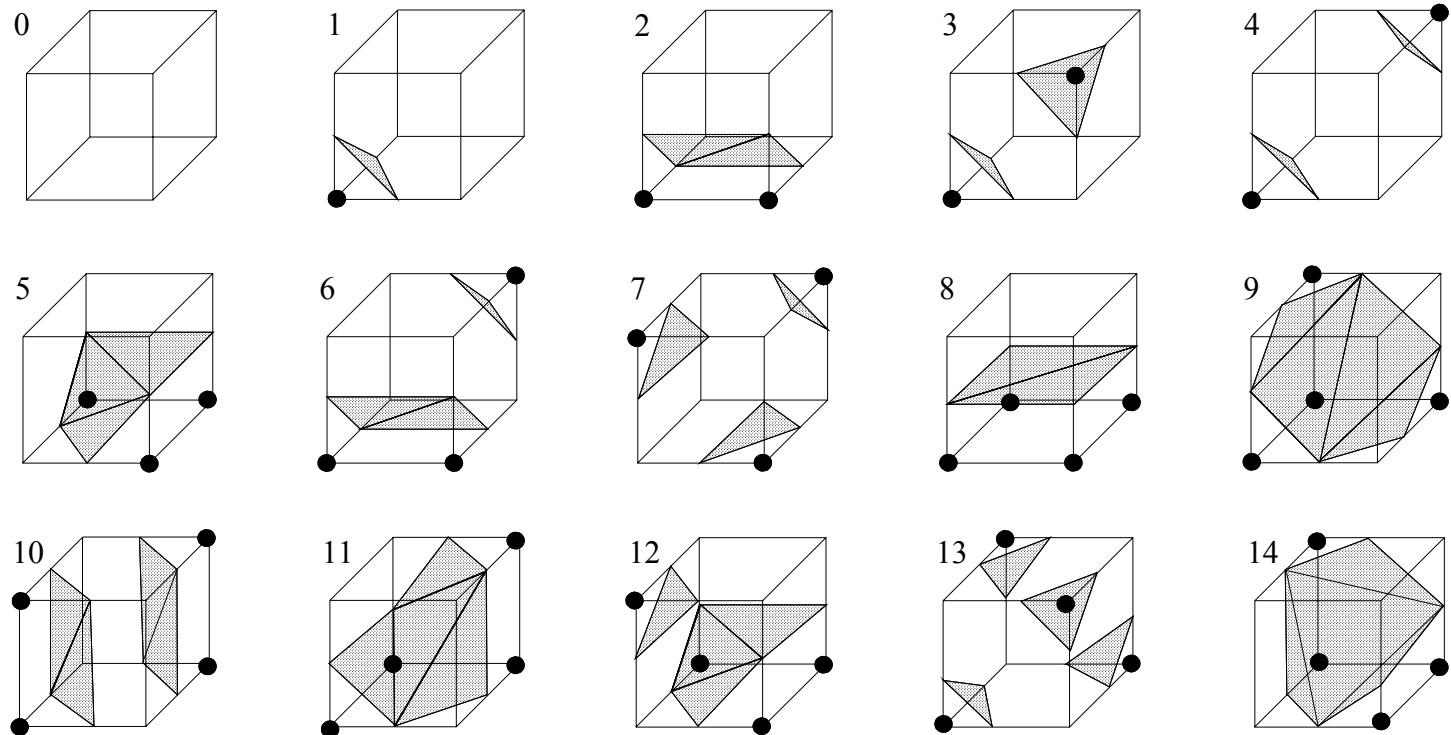


pokretne kocke

# Pokretne kocke

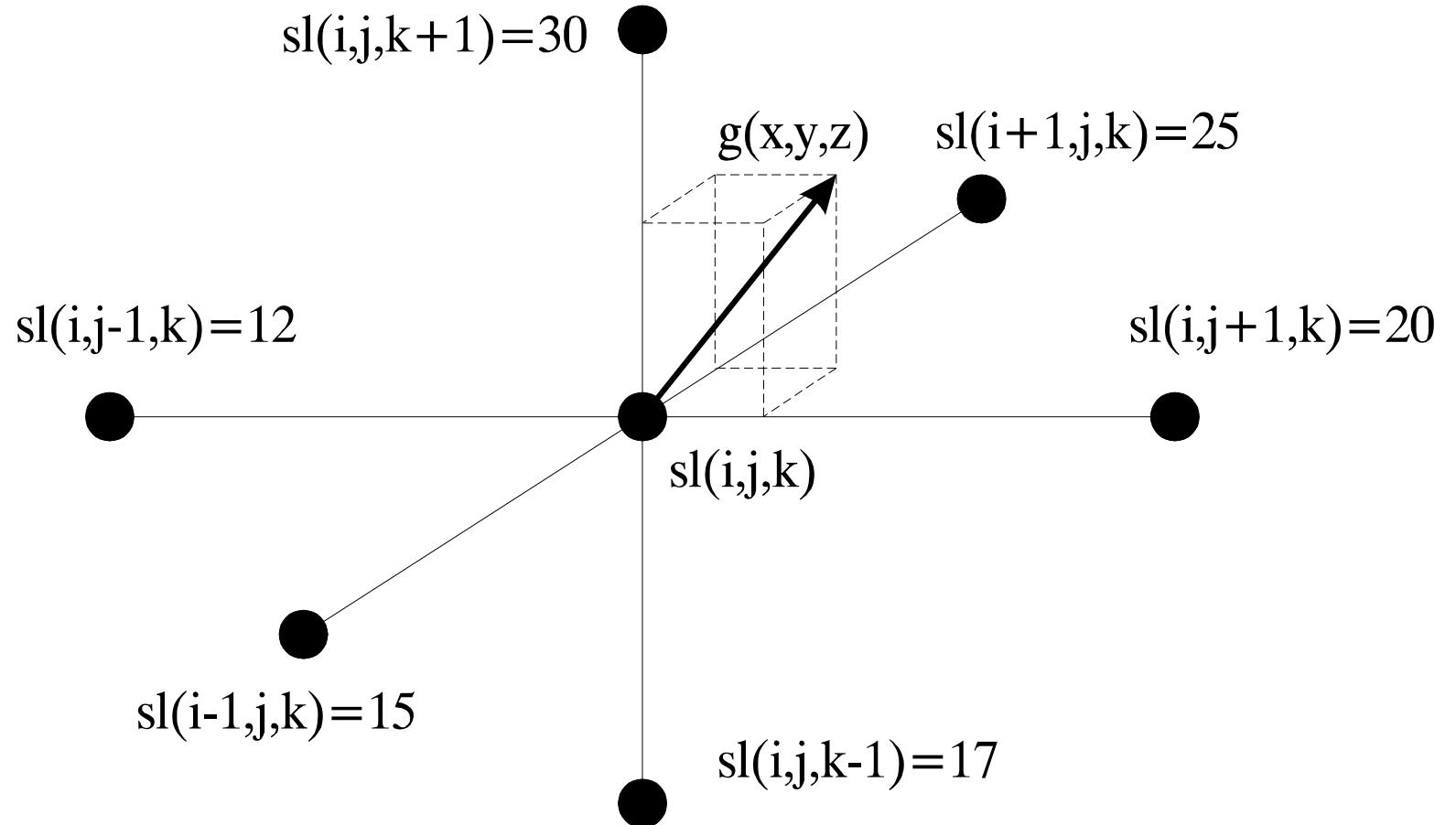


Pokretna kocka u prostoru diskretnih  
vrijednosti elemenata volumena.



Tipični slučajevi definiranja površine unutar pokretne kocke.

## Sjenčanje geometrijskog modela



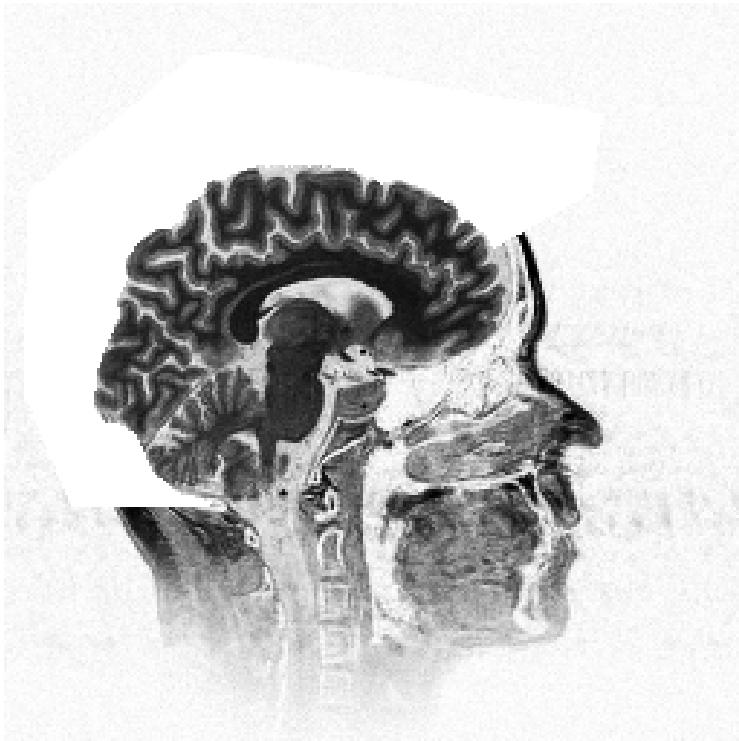
lokalni gradijent (normala)

$$G_x(i, j, k) = \frac{sl(i+1, j, k) - sl(i-1, j, k)}{\Delta x}$$

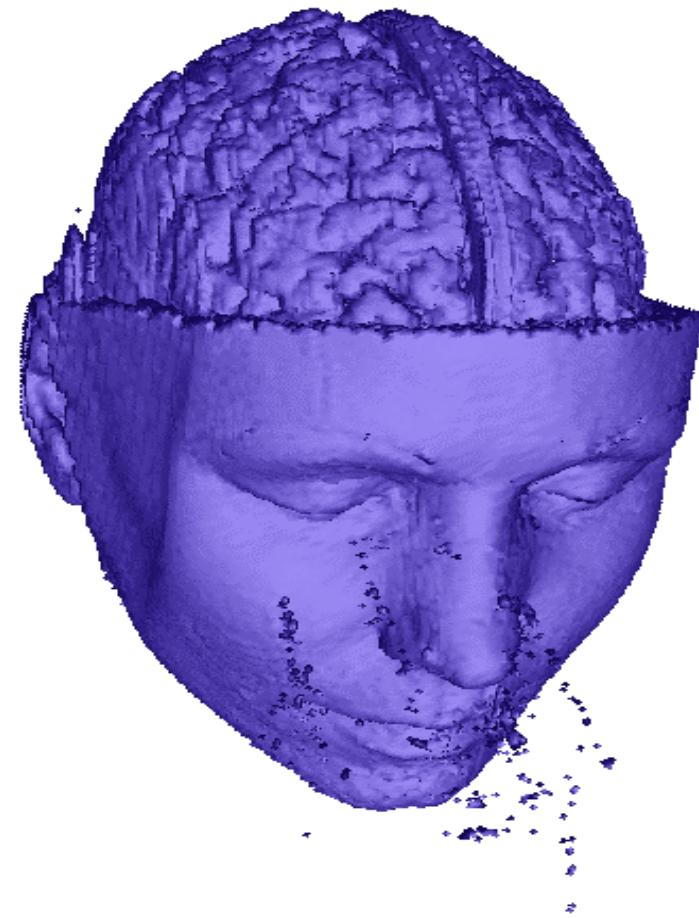
$$G_y(i, j, k) = \frac{sl(i, j+1, k) - sl(i, j-1, k)}{\Delta y}$$

$$G_z(i, j, k) = \frac{sl(i, j, k+1) - sl(i, j, k-1)}{\Delta z}$$

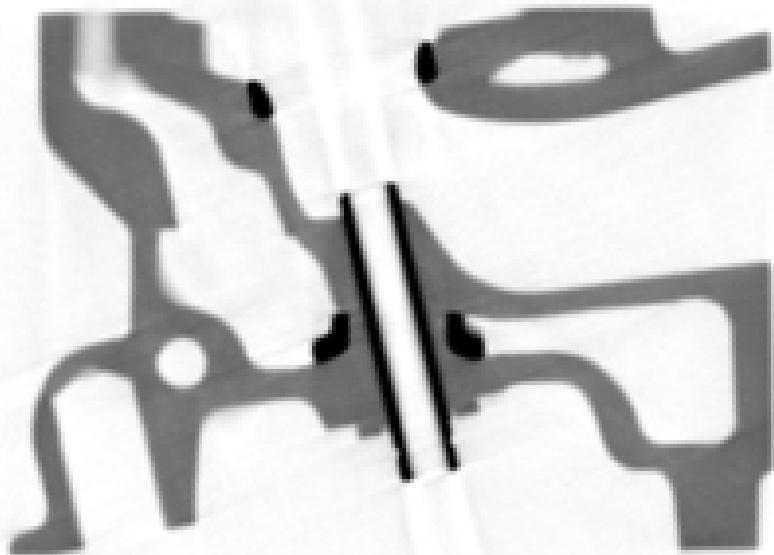
$$g(x, y, z) = \nabla f(x, y, z)$$



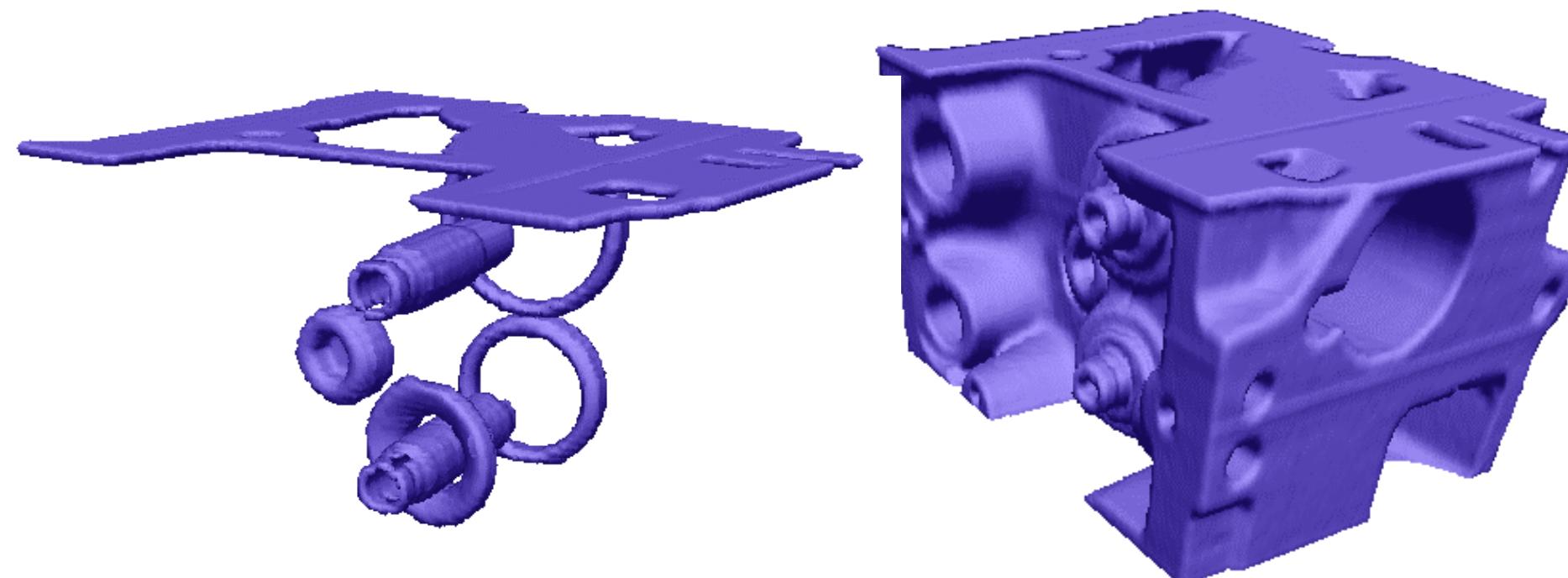
poprečni presjek



rekonstrukcija (pokretne kocke)



poprečni presjek stroja



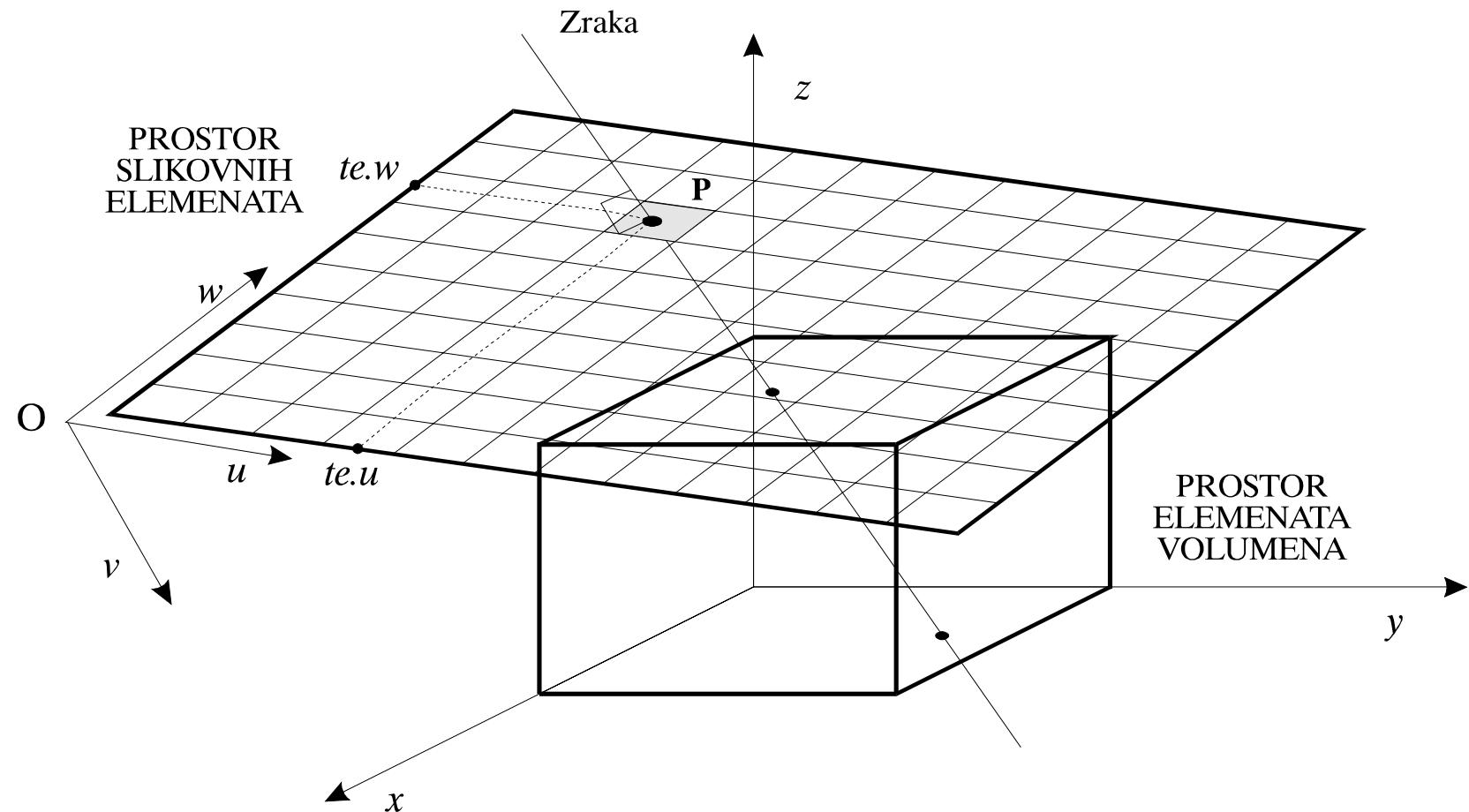
rekonstrukcija (pokretne kocke) uz različitu vrijednost praga

## 8.2.2.b Postpci temeljeni na prostoru projekcije

- prikaz volumena (eng. volume rendering)
  - vizualizacija podataka direktno, bez formiranja geometrijskih primitiva
  - omogućava vizualizaciju raspršenih podataka (geofizičkih, meteoroloških i sl.)
  - omogućava (zbog redoslijeda iscrtavanja) skrivanje nevidljivih dijelova

# PRAĆENJE ZRAKE U POSTUPKU PRIKAZA VOLUMENA

- propuštanje niza zraka kroz ravninu prostora slikovnih elemenata
  - 1) određivanje pojedine zrake
  - 2) određivanje probodišta zrake i prostora elemenata volumena
  - 3) određivanje optičke dubine zrake na putu između dva probodišta



zraka koju određuje slikovni element u prostoru  
elemenata volumena

## MODELI PRORAČUNA INTENZITETA ZRAKE

- linearna transportna teorija za prijenos čestica u nehomogenom amorfnom mediju
- propuštaju se "virtualne" čestice kroz prostor elemenata volumena
  - fizikalni ili heuristički zakoni (u računarskoj grafici npr. optički zakoni u postupku praćenja zrake)
  - međudjelovanje ->
  - intenzitet u točki, sa smjerom i energijom (bojom)
- proračun intenziteta podešavanjem gustoće emiterskog snopa

- aproksimacija fizikalnog modela

- model simulacije propagacije svjetlosti kroz prostor elemenata volumena
- jednadžba stacionarne transportne teorije

$$\vec{\omega} \cdot \nabla L(r, \vec{\omega}) = -\phi_t(r)L(r, \vec{\omega}) + g(r, \vec{\omega}) + \int_{S^2} k(r, \vec{\omega}' \rightarrow \vec{\omega})L(r, \vec{\omega}')d\omega'$$

$$L(r, \vec{\omega}) = e^{-\tau(r, r_B)}L_B(r_B, \vec{\omega}) + \int_{\Gamma(r, r_B)} e^{-\tau(r, r')} \left[ g(r', \vec{\omega}) + \int_{S^2} k(r', \vec{\omega}' \rightarrow \vec{\omega})L(r', \vec{\omega}')d\omega' \right] dr'$$

$L(r, \vec{\omega})$  • gustoća snage fotona za

- točku  $r$
- smjer toka fotona  $\omega$

$\phi_t(r)$  • koeficijent gašenja, vjerojatnost da će foton biti apsorbiran ili raspršen u drugom smjeru

$g(r, \vec{\omega})$  • emitiranja energije volumnog elementa ovisno o kutu gledanja

- $k$  (vjerojatnost da foton koji se giba u smjeru  $\omega'$  bude raspršen u smjer  $\omega$ )

$L_B(r_B, \vec{\omega})$  • određuje rubne uvjete, a točka  $r_B$  sjecište zrake s površinom

$$L(x) = \int_x^{x_B} e^{-\int_{x''}^{x'} \phi_t(x'') dx''} g(x') dx'$$

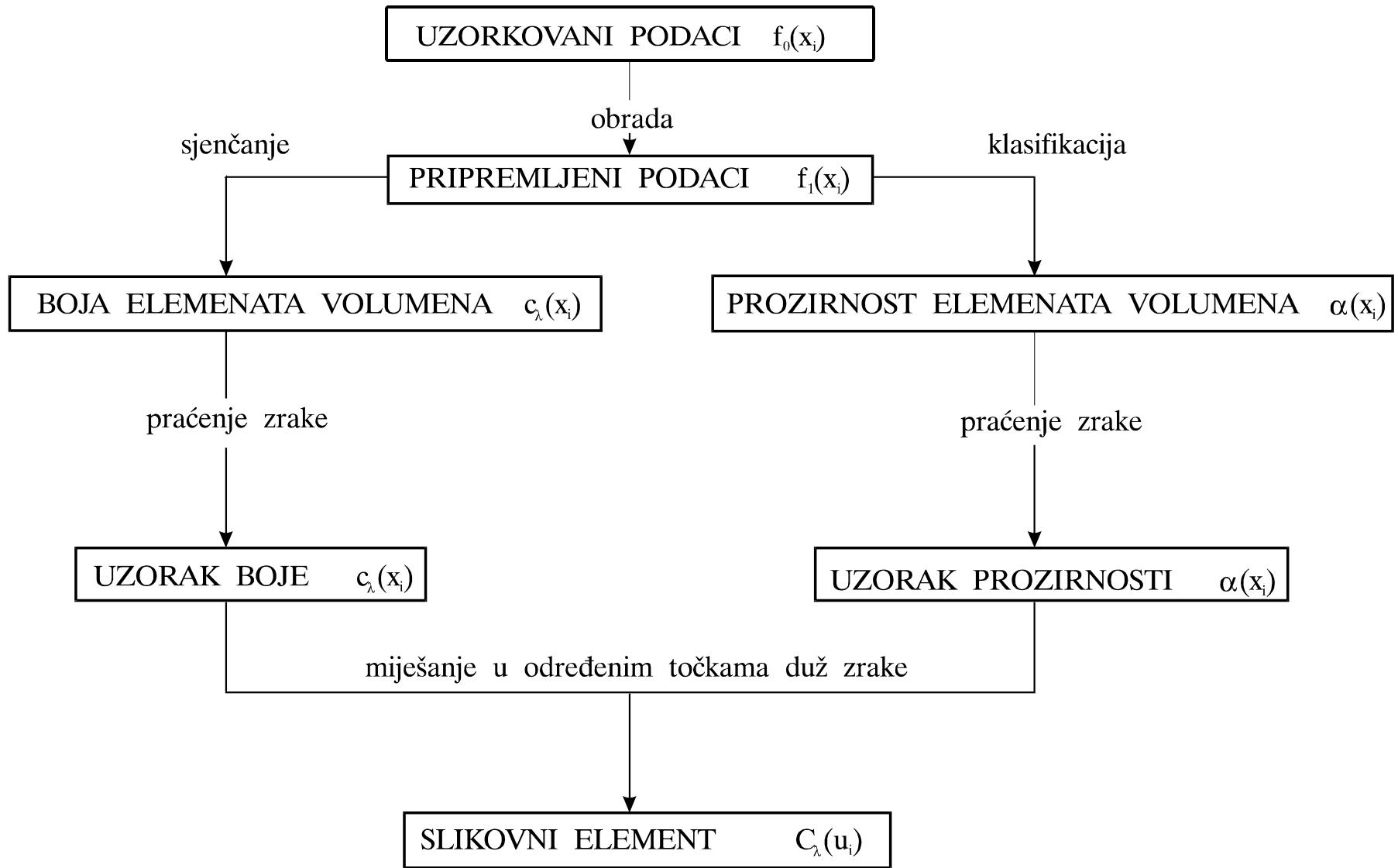
$$L(x) = \sum_{i=0}^{n-1} e^{-\sum_{j=0}^{i-1} \phi_j \Delta x} g_i \Delta x = \sum_{j=0}^{n-1} g_i \Delta x \prod_{j=0}^{i-1} e^{-\phi_j \Delta x}$$

$\alpha_i \equiv 1 - e^{-\phi_i \Delta x}$  neprozirnost,

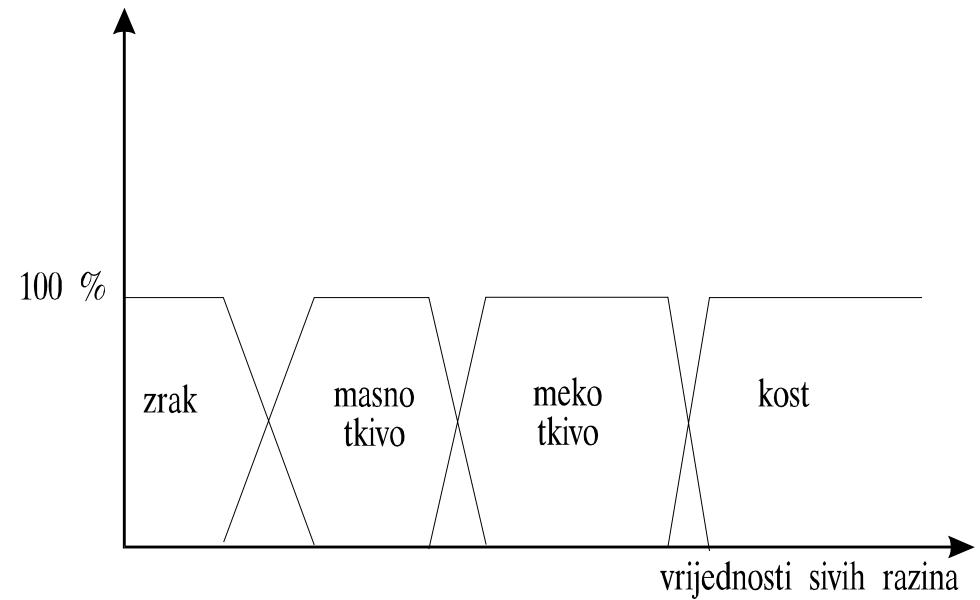
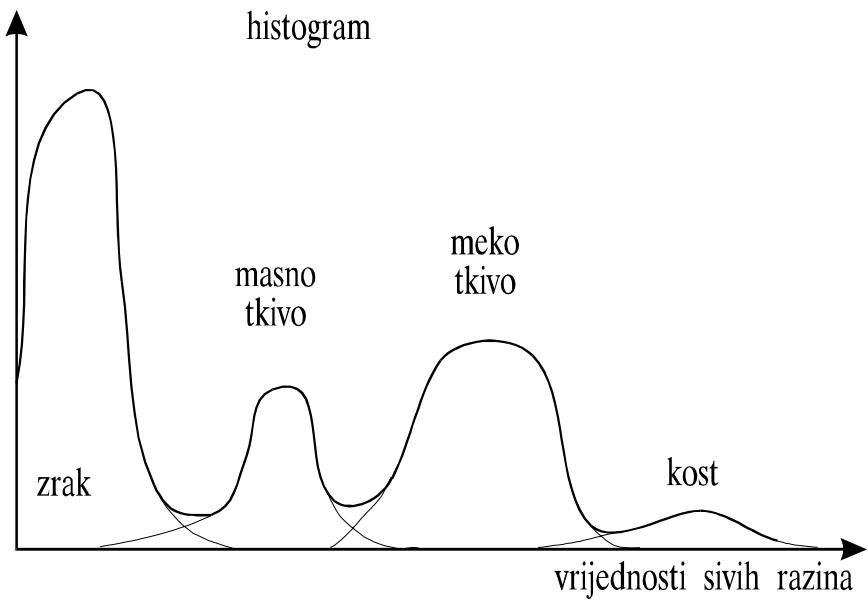
$C_i \equiv (g_i / \alpha_i) \Delta x$  boja uzorka,

$c_i \equiv C_i \alpha_i$  umnožak boje i neprozirnosti.

$$\begin{aligned} L(x) &= \sum_{i=0}^{n-1} c_i \prod_{j=0}^{i-1} (1 - \alpha_j) \\ &= c_0 + c_1(1 - \alpha_0) + c_2(1 - \alpha_0)(1 - \alpha_1) + \dots + c_{n-1}(1 - \alpha_0)\dots(1 - \alpha_{n-2}) \end{aligned}$$

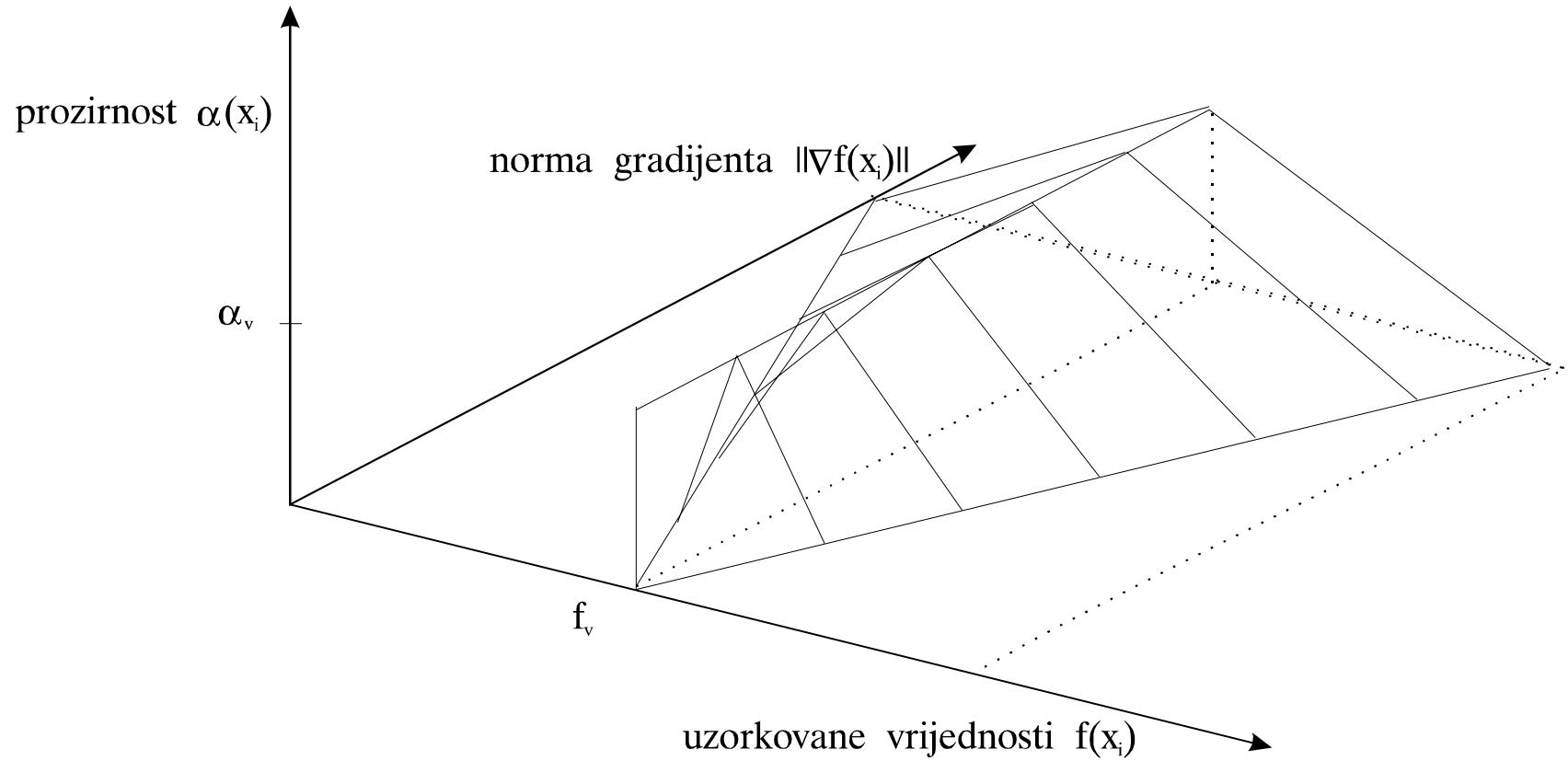


## klasifikacija vrijednosti volumnih elemenata

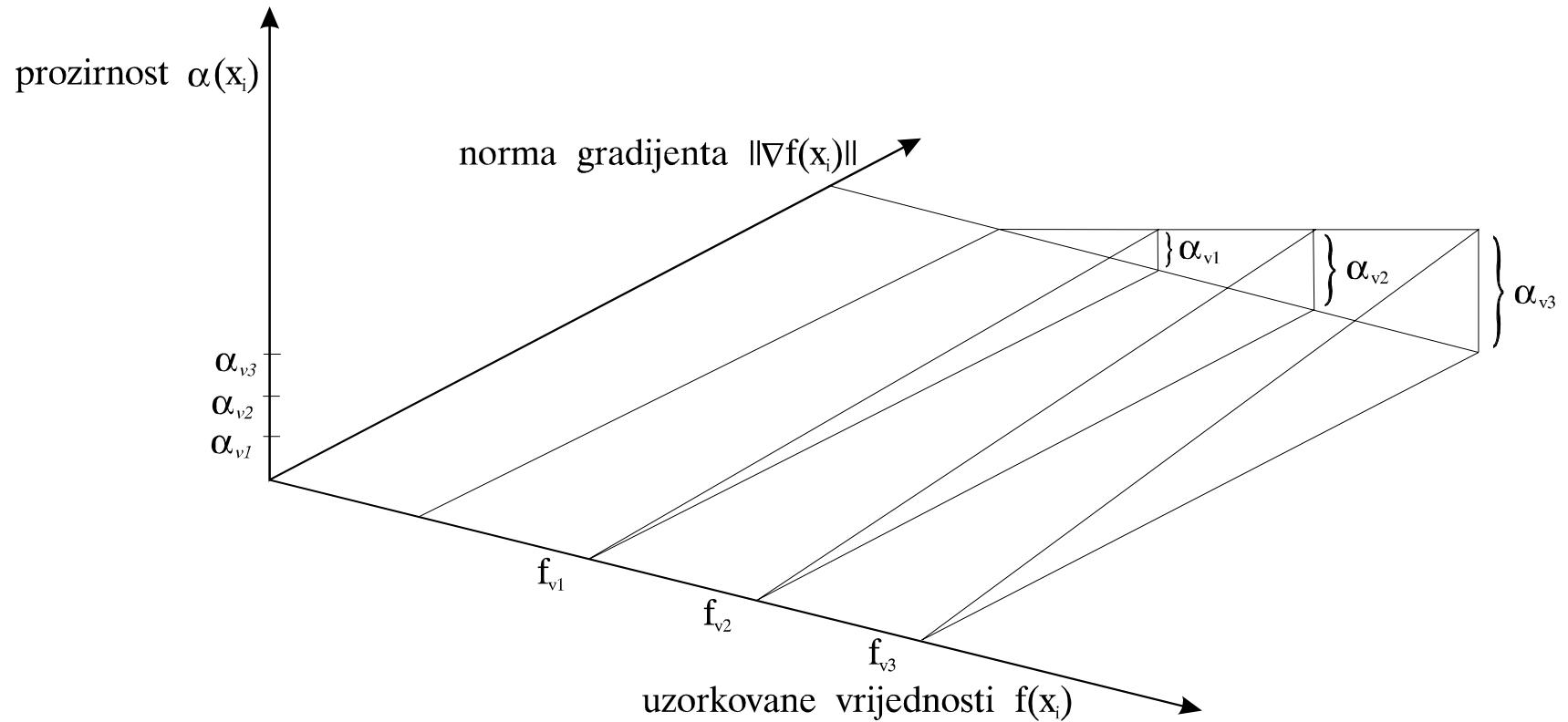


- ODREĐIVANJE BOJE
  - Phong-ov model sjenčanja uz upotrebu lokalnog gradijenta
- ODREĐIVANJE PROZIRNOSTI
  - naglašavanje graničnog sloja
  - ovisnost o iznosu lokalnog gradijenta

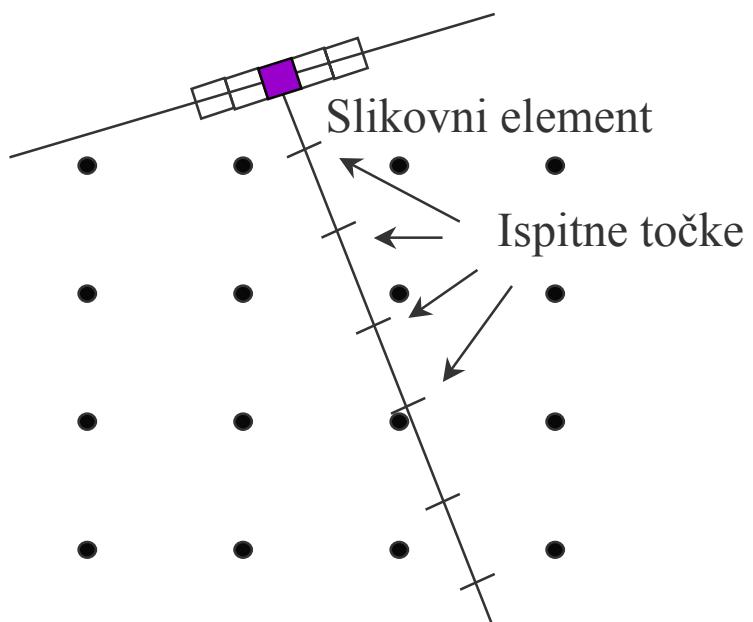
$$\alpha_{uk}(x_i) = 1 - \prod_{n=1}^N (1 - \alpha_n(x_i))$$



Pridruživanje koeficijenata prozirnosti ovisno o veličini diskontinuiteta i vrijednosti elemenata volumena  $f(x_i)$



Određivanje koeficijenata  $\alpha(x_i)$  na osnovu tri  
sloja određena s  $f_{v1}, f_{v2}, f_{v3}$ .



- rekonstrukcija

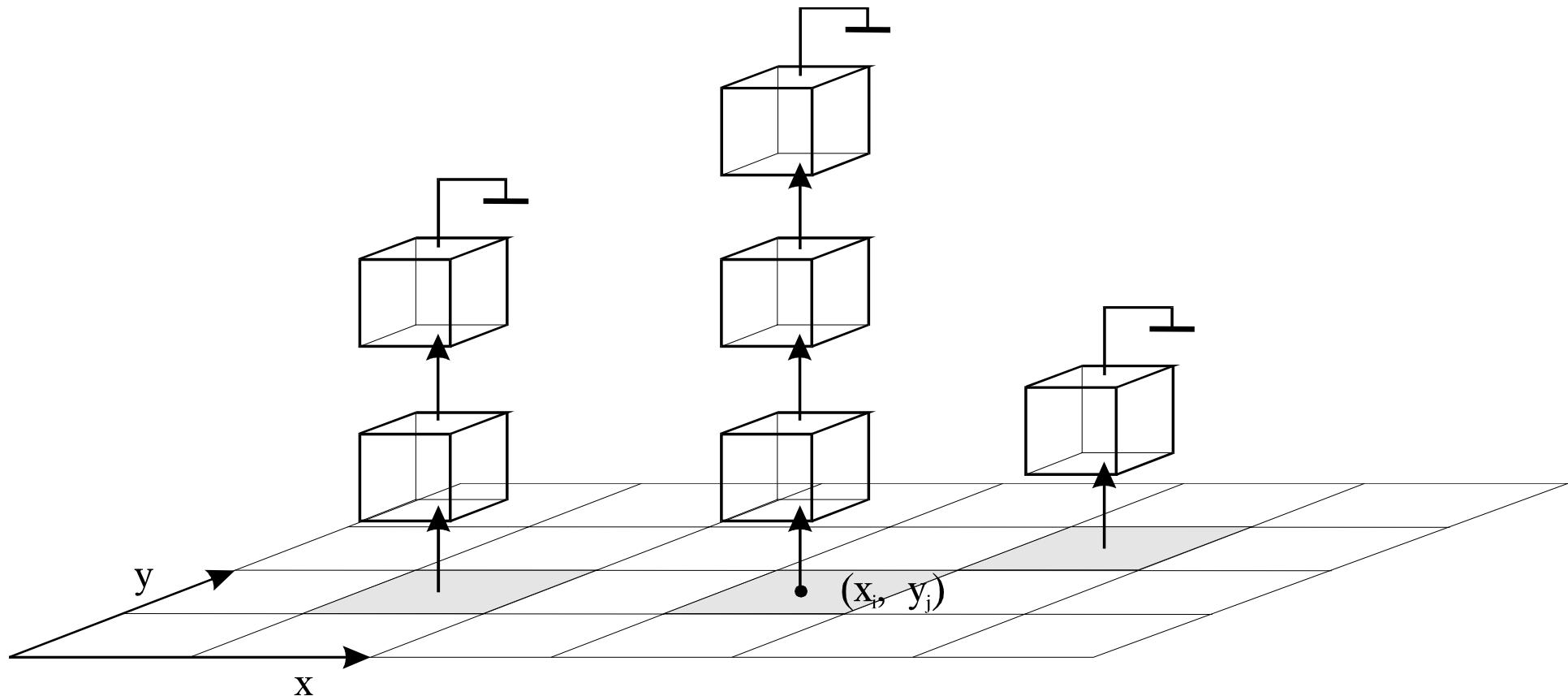
- zraka kroz prostor elemenata volumena
- u ispitnim točkama potrebno je načiniti rekonstrukciju
- rezultat doprinosa pojedinih ispitnih točaka određuje slikovni element

## • ODREĐIVANJE INTENZITETA ZRAKE

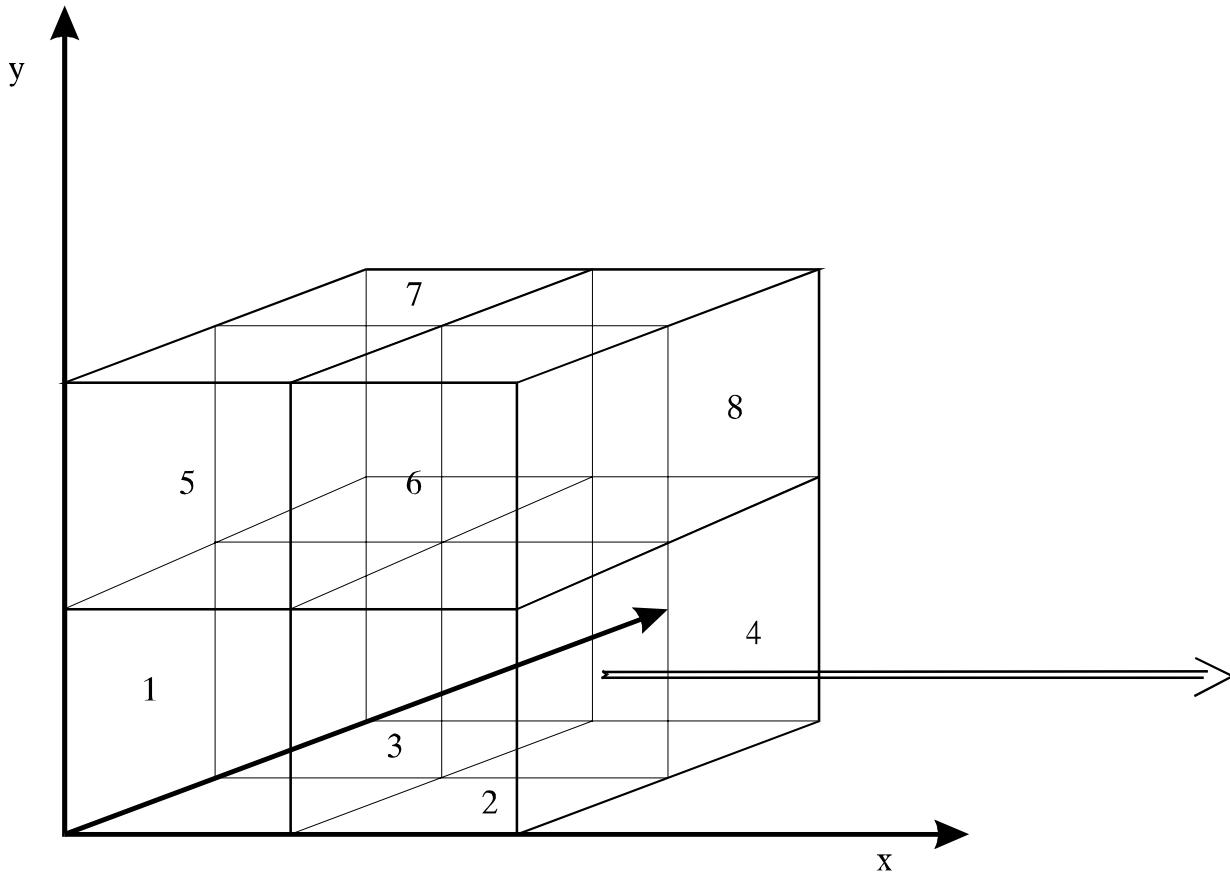
- određivanje ispitnih točaka na zraci
- jednoliko raspoređene točke na osnovi Bresenham-ovog algoritma
- trilinearna interpolacija između osam vrhova (elemenata volumena) koji okružuju ispitnu točku  
(posebno za intenzitet i prozitnost)
- gustoća ispitnih točaka
- intenzitet zrake - iterativni postupak za određivanje  $I_{out}$  na osnovi  $I_{in}$  i prozirnosti  $\alpha_{out}$  na osnovi  $\alpha_{in}$ .
- kada  $\alpha_{out}$  dosegne vrijednost jedan postupak se zaustavlja

## ORGANIZACIJA PODATAKA

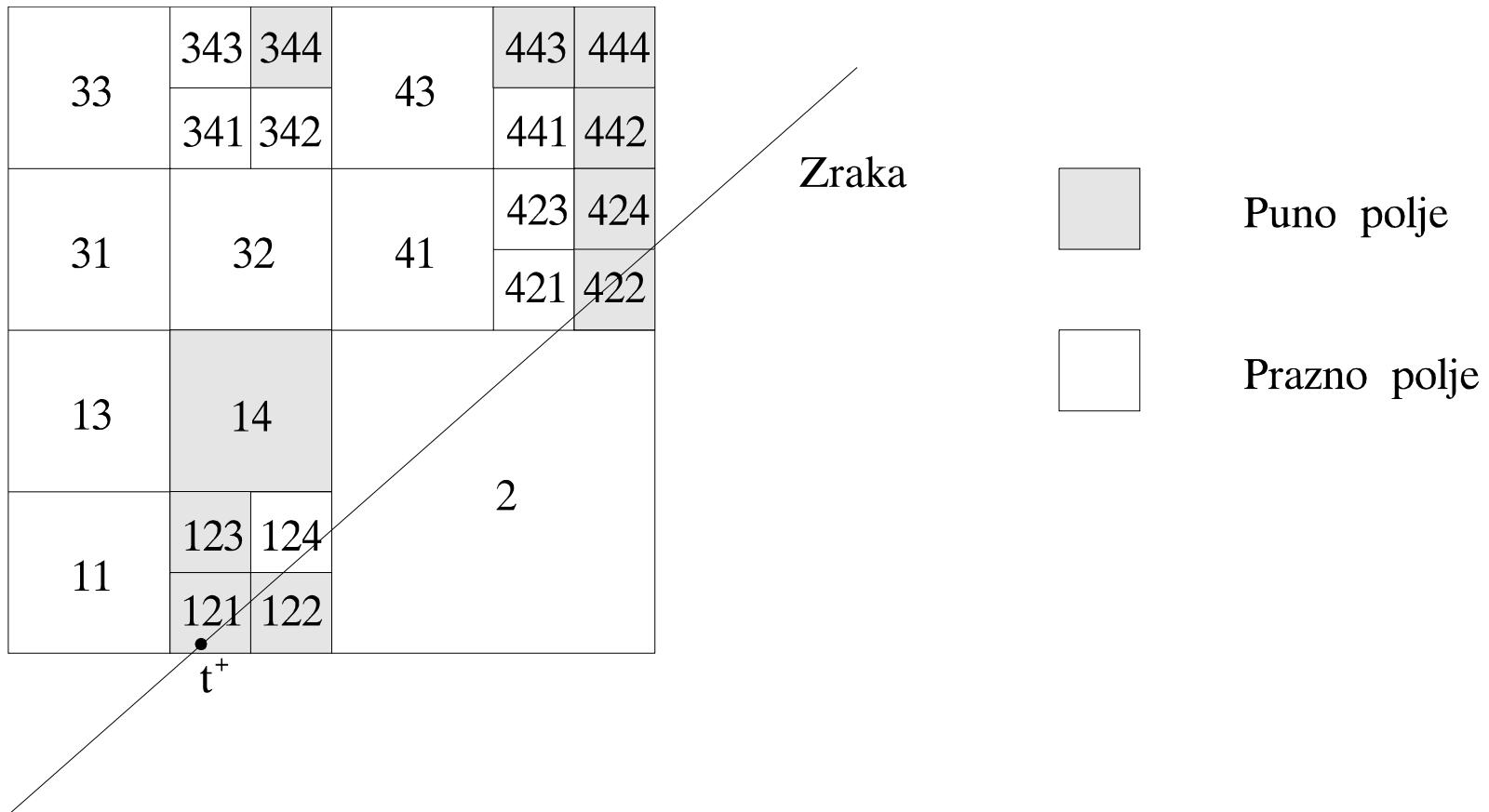
- često slabo popunjena prostor
  - zasebno se pohranjuju podaci o lokalnom gradijentu
- 
- ŠTAPIĆASTA REPREZENTACIJA
  - OKTALNO STABLO



štapićasta reprezentacija slabo popunjene prostora  
elemenata volumena



podjela prostora u organizaciji oktalnim stablom.



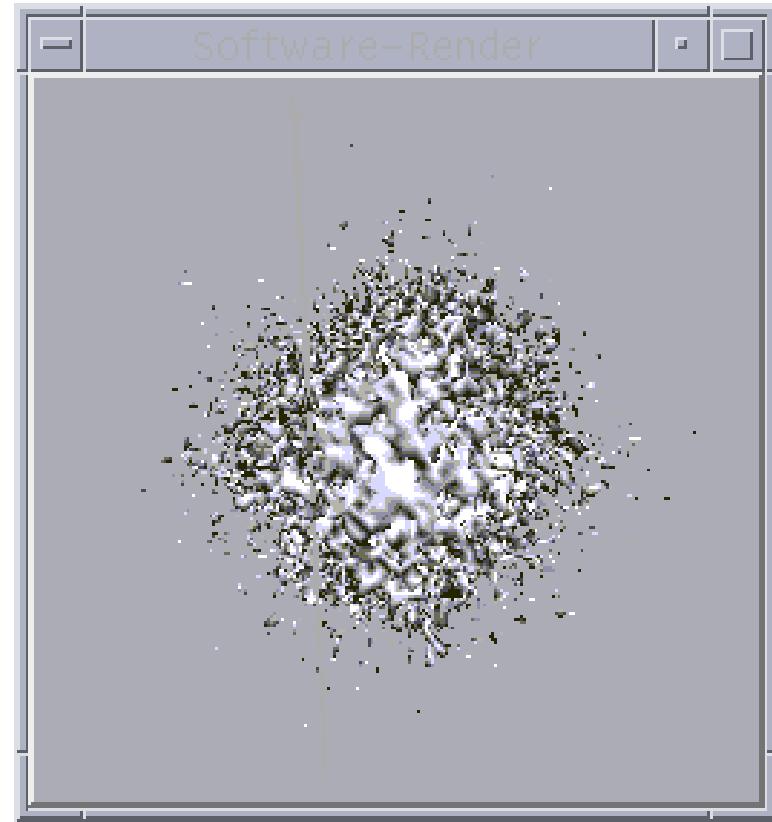
probodište zrake kroz hijerarhijsku strukturu  
oktalnog stabla

## 8.2.2.c Postupci temeljeni na transformiranom prostoru objekta

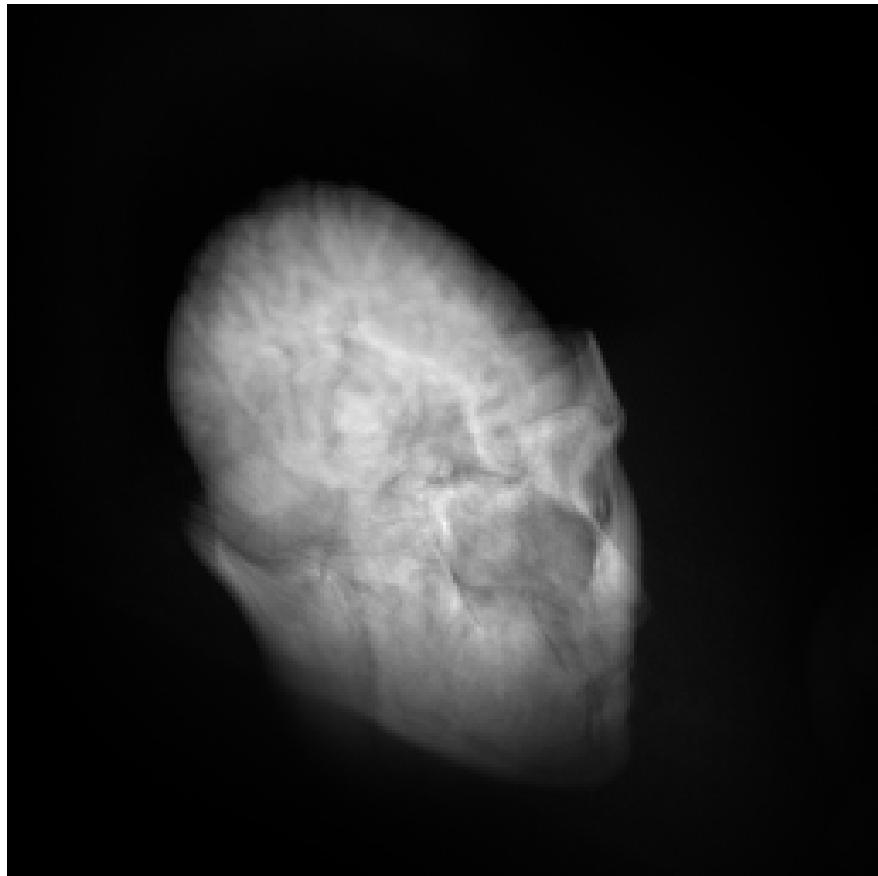
- korištenje frekvencijske domene
  - načinimo Fourierovu transformaciju volumena
  - u frekvencijskom području presiječemo volumen ravninom koja prolazi ishodištem
  - inverznom Fourierovom transformacijom vratimo rezultat u prostorno područje
- korištenje domene valića (eng. wavelet)



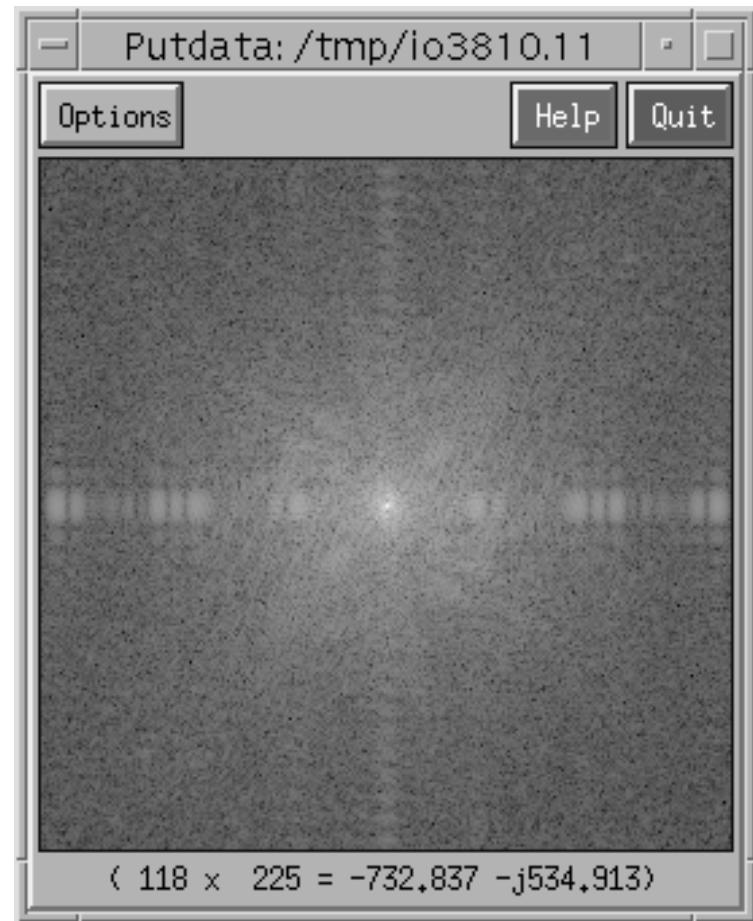
prostorno područje (3D)



frekvencijsko područje (3D)

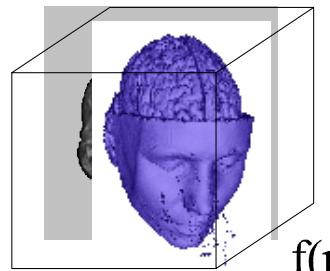


projekcija



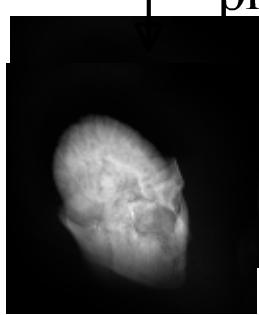
frekvencijsko područje (2D)

Prostorna domena



$f(p)$

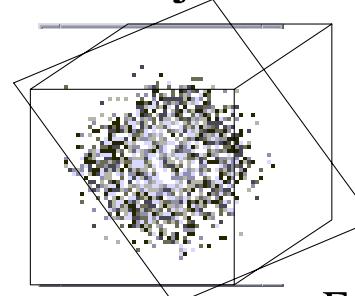
projekcija



FT

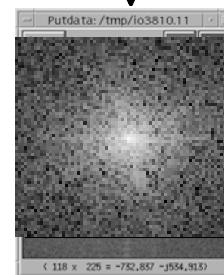
IFT

Frekvencijska domena



$F(s)$

presjek ravninom



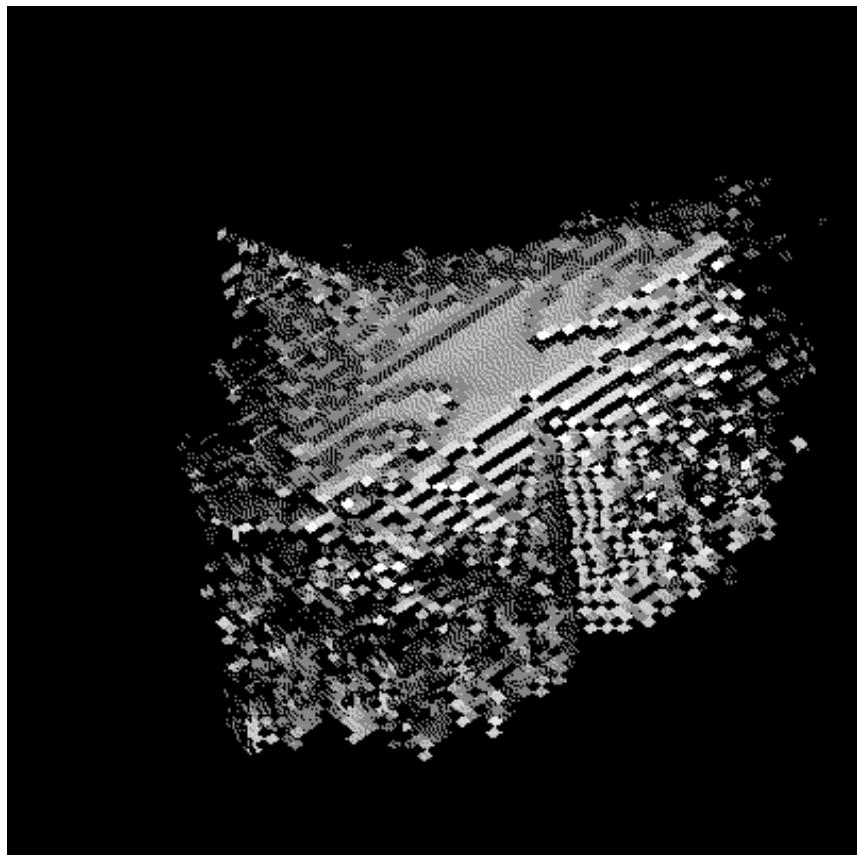
## 2.3 Rekonstrukcija

- potrebno je načiniti rekonstrukciju u
  - proizvoljnoj točci duž zrake
  - frekvencijskoj domeni
  - metodi pokretne kocke

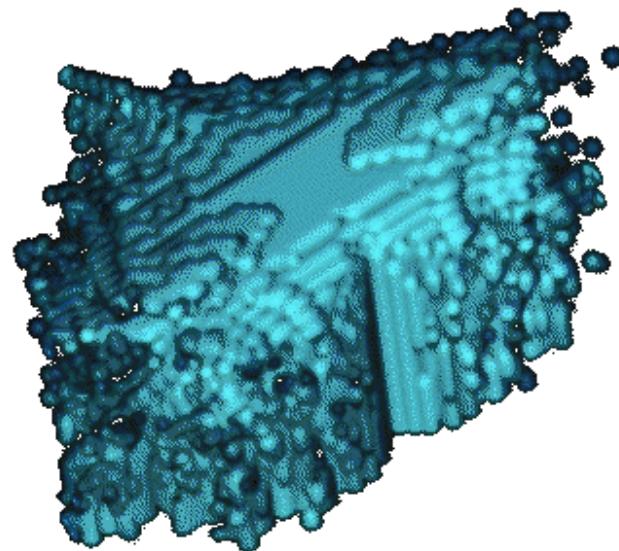
na osnovi poznatih vrijednosti osnovne mreže

- postupak ponovljenog uzorkovanja

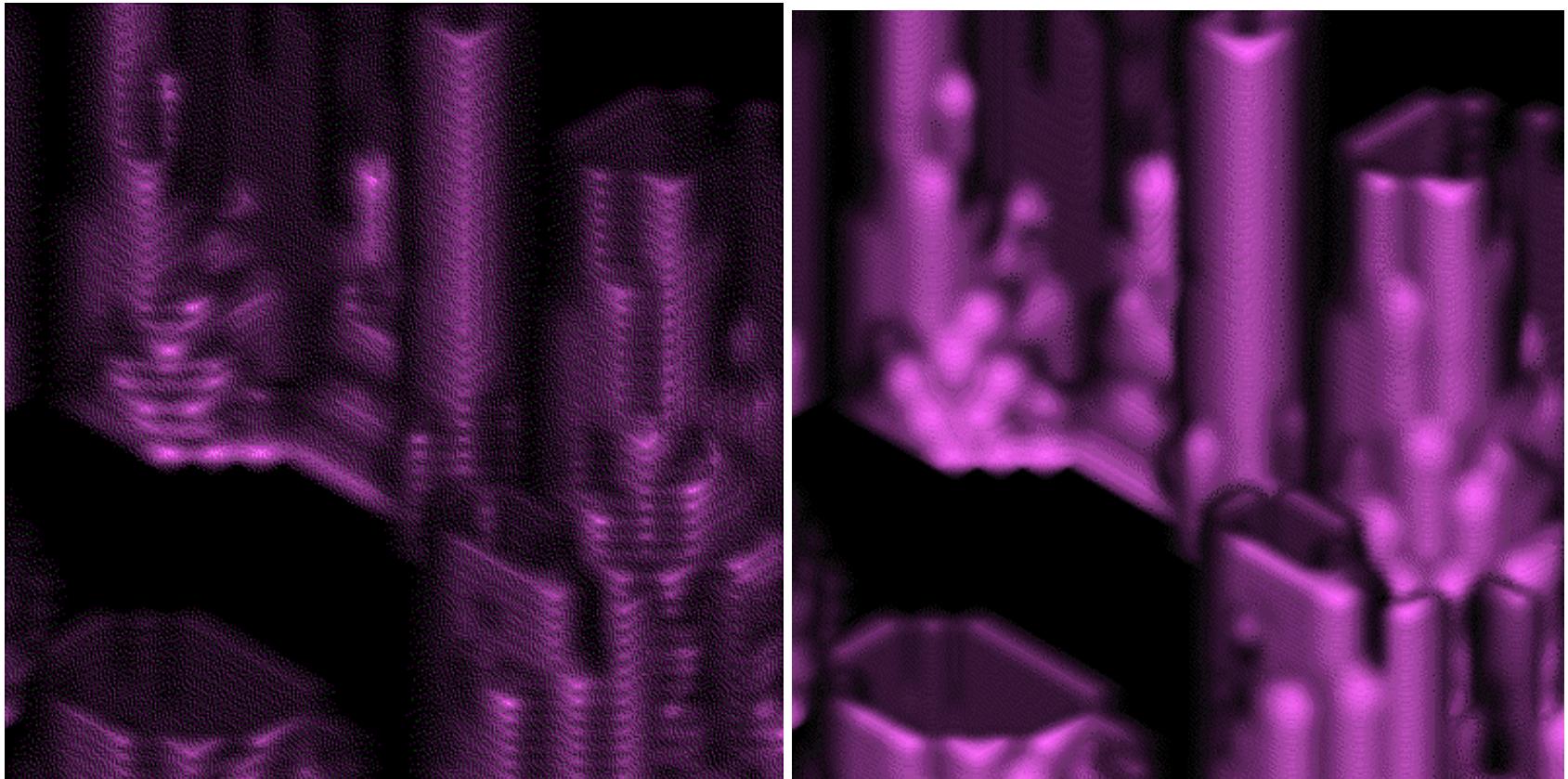
- rekonstrukcija
  - korištenje najbližeg susjeda (0-tog reda)
  - linearna interpolacija (1-vog reda)
    - na osnovi 8 susjeda -> trilinearna interpolacija
  - kvadratna, kubna (viši stupanj)



korištenje najbližeg susjeda



bilinearna interpolacija



pojava pruga kada su uzorci duž zrake prerijetki

- neželjeni učinci

- gubitak detalja (oštrine)
- stepeničasta (terasasta) područja
- šupljine u rekonstuiranim objektima
- mreškanje
- ovisnost o kutu objekta (anizotropni učinak)