

# **A**nalýza obrazu II

**Jan Macháček**

Ústav skla a keramiky  
VŠCHT Praha



**+42- 0- 22044- 4151**

## Reference

- ▶ další doporučená literatura

Microscopical Examination and Interpretation of Portland Cement and Clinker,  
Donald H. Campbell,  
Portland Cement Association  
1999

- ▶ další doporučený web  
[www.stereology.info](http://www.stereology.info)

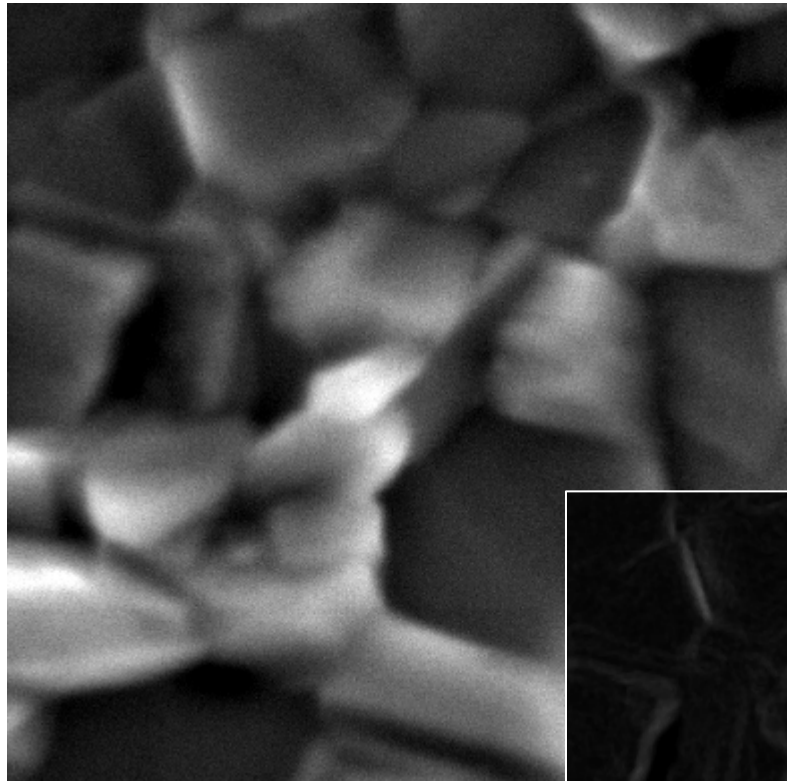


## Úprava obrazu

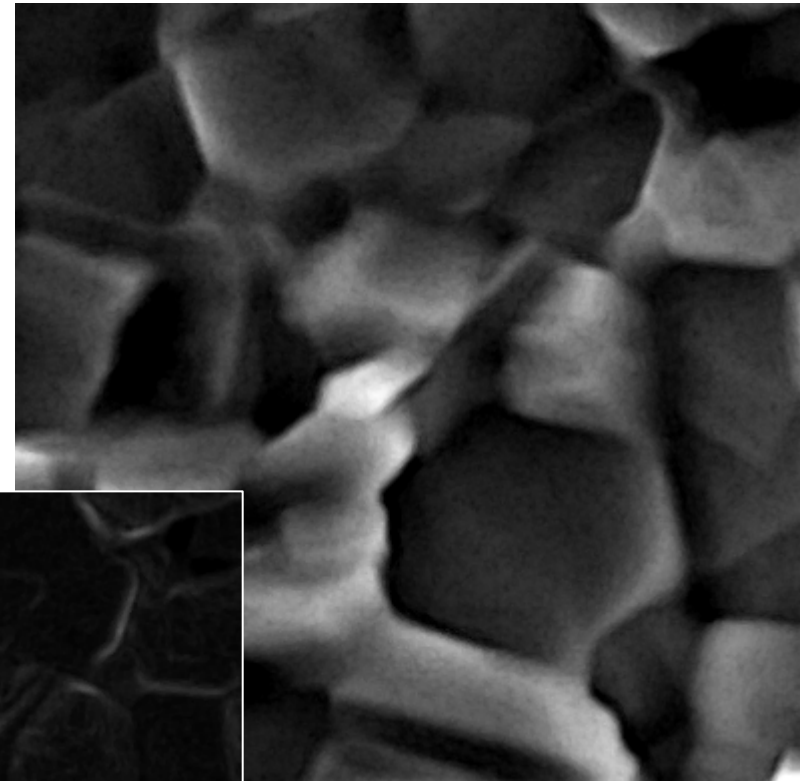
- ▶ Co s rozostřeným digitálním obrazem?
  - detaily jsou v podstatě ztraceny
  - lze vytvořit iluzi ostrého obrazu
- ▶ Jak na to?
  - Např. pomocí (A1) morfologického gradientu nebo (A2) Sobelova operátoru a (A3) Golayova filtru pro vyhledávání hran. (B) dekonvoluční algoritmy
  - Morfologický gradient - dilatovaný obraz v odstínech šedi bez obrazu erodovaného
- ▶ Příklad postupu (A1)
  - 1) odstranit šum (mediánový filtr)
  - 2) morfologický gradient, kernel 3x3 (8), 2 iterace
  - 3) uložit jako referenční obraz
  - 4) původní obraz bez referenčního obrazu je výsledek

## Úprava obrazu

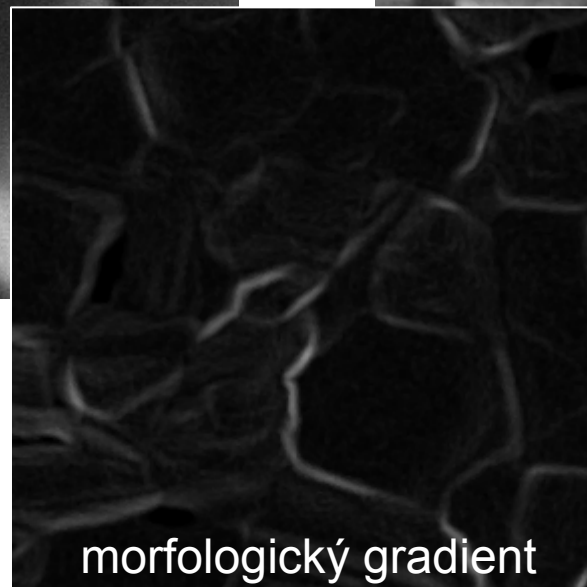
### ▶ Příklad postupu (A) - OBRAZEM



původní obraz



zostřený obraz



morfologický gradient

## Úprava obrazu

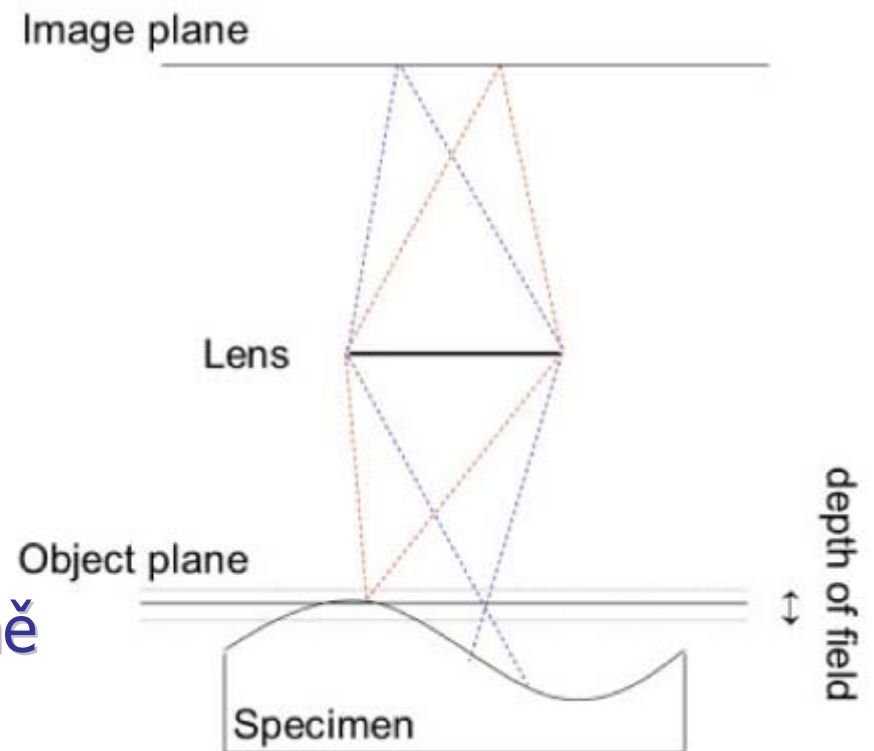
- ▶ Co s rozostřeným obrazem v mikroskopu?
  - reliéfní vzorky (hrboly, dutiny, prost. objekty aj.)
  - v materiálové oblasti - hlavně povrch pozorovaný v odraženém světle
  - část obrazu není zaostřena
  - čím větší zvětšení ( $M$ ), tím menší je zaostřená vrstva ( $d$ )

$$M = \text{konst. NA}$$

$$\text{NA} = n \sin(\alpha)$$

$$d = \lambda / [n \sin^2(\alpha)]$$

- ▶ Řešení
  - nasnímat z-sekvenci postupně všech vrstev a výsledný obraz složit jen ze zaostřených oblastí



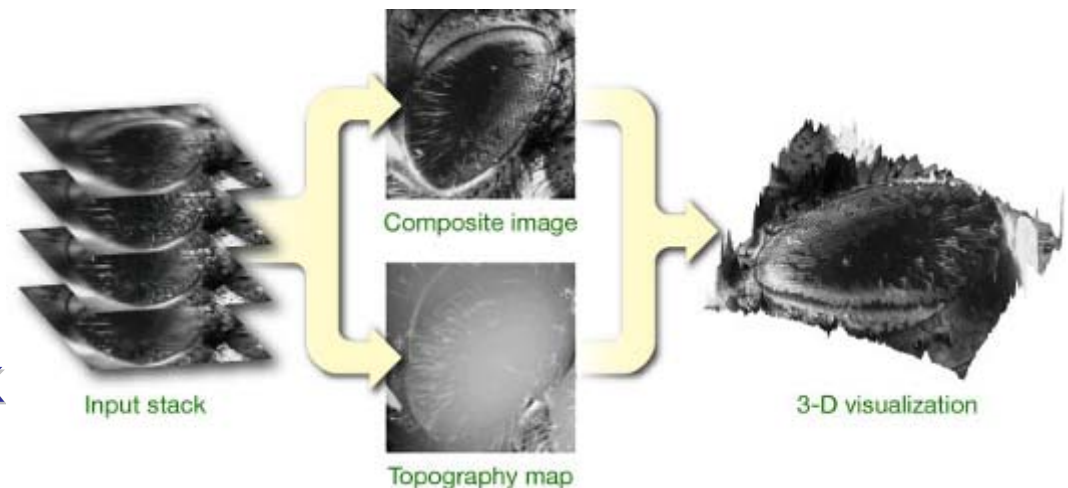
# Úprava obrazu

## ▶ Řešení

- zaostřená oblast má vždy nejvíce detailů
- metoda se jmenuje Extended Depth of Focus (Field)

## ▶ Postup

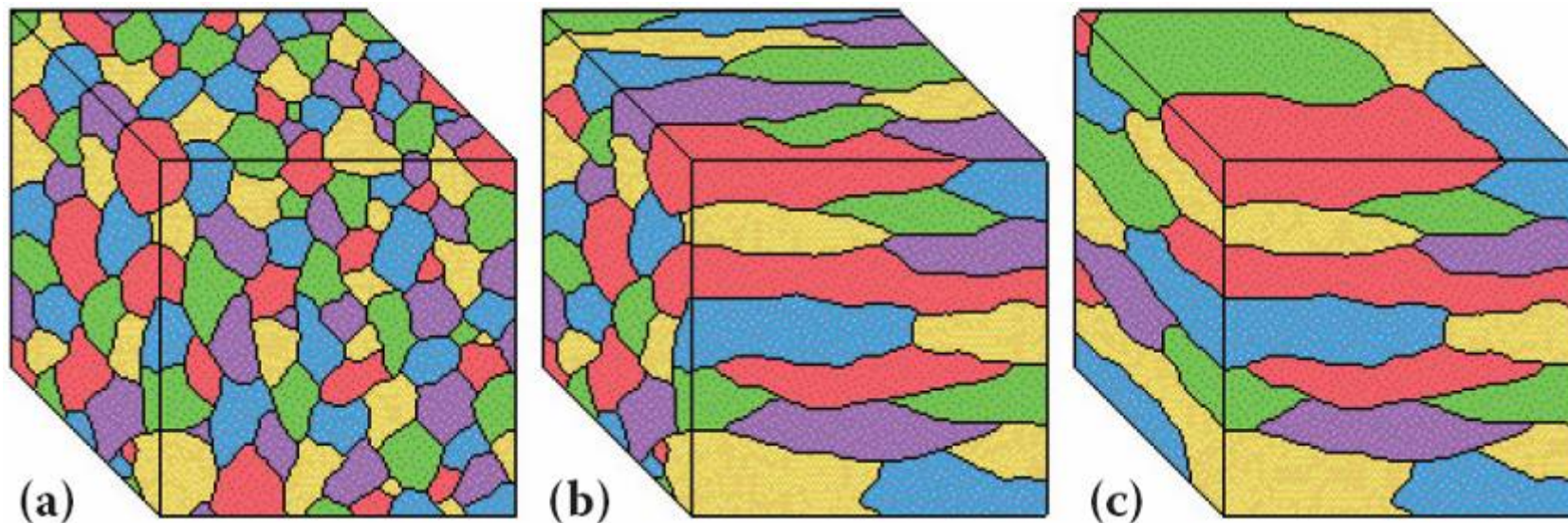
- 1) import z-sekvence (zaostřeno do různých obrazových rovin), krok mezi obrazy ( $\mu\text{m}$ )
- 2) zarovnání obrazů z-série přesně na sebe
- 3) vytvoření zostřeného obrazu (modul EDF)
- 4) zobrazení - zostřený, anaglyf, objem, řezy, 3D povrch
- 5) 3D měření - profily povrchu, aj.



# Stereologie

## ► Stereologie

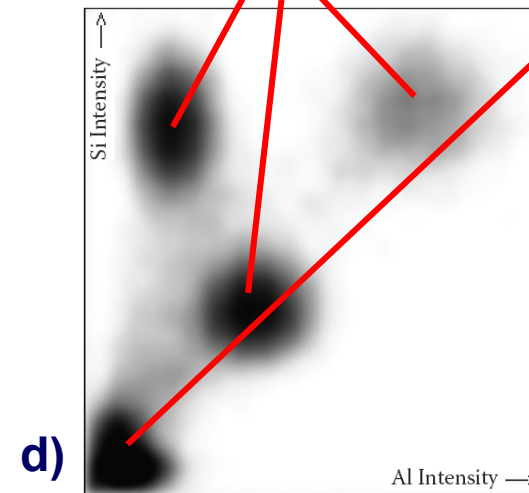
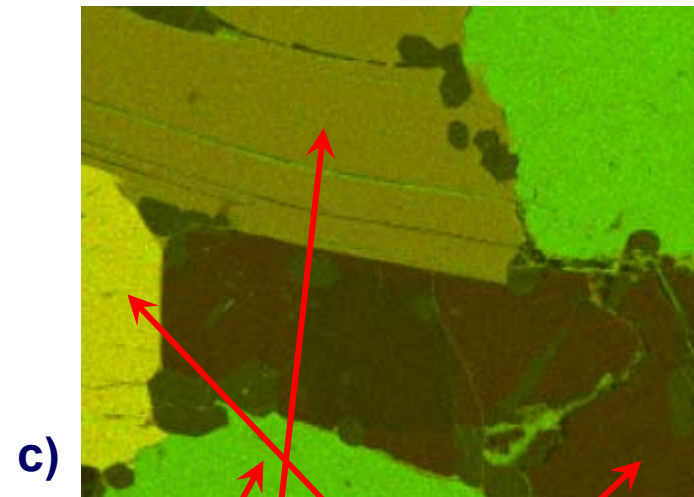
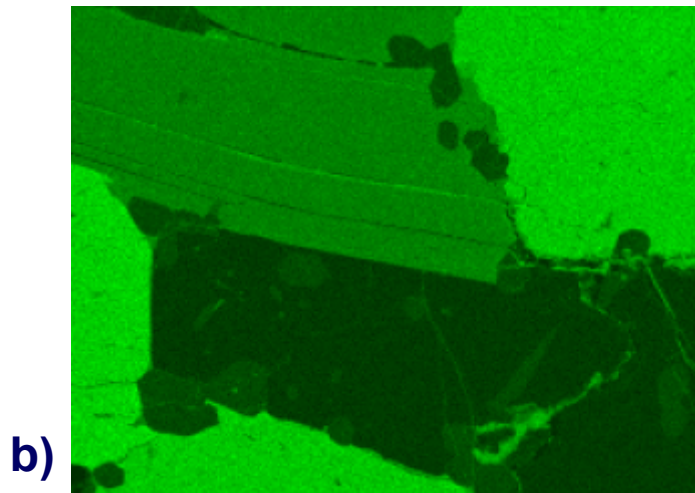
Relativní zastoupení objektu (fáze) v plošném řezu odpovídá objemovému podílu objektu (fáze) ve vzorku (materiálu), pokud je řez izotropní a náhodný



/Russ 2007/

## Příklady

- ▶ Kolokalizace - překryv mezi obraz. kanály a jeho analýza rozložení Al a Si v minerálu (a,b), složený obraz (c) a 2D graf intenzity (d)



## Stereologie

- ▶ Klasifikátor - identifikace, třídění a kvantifikace fází

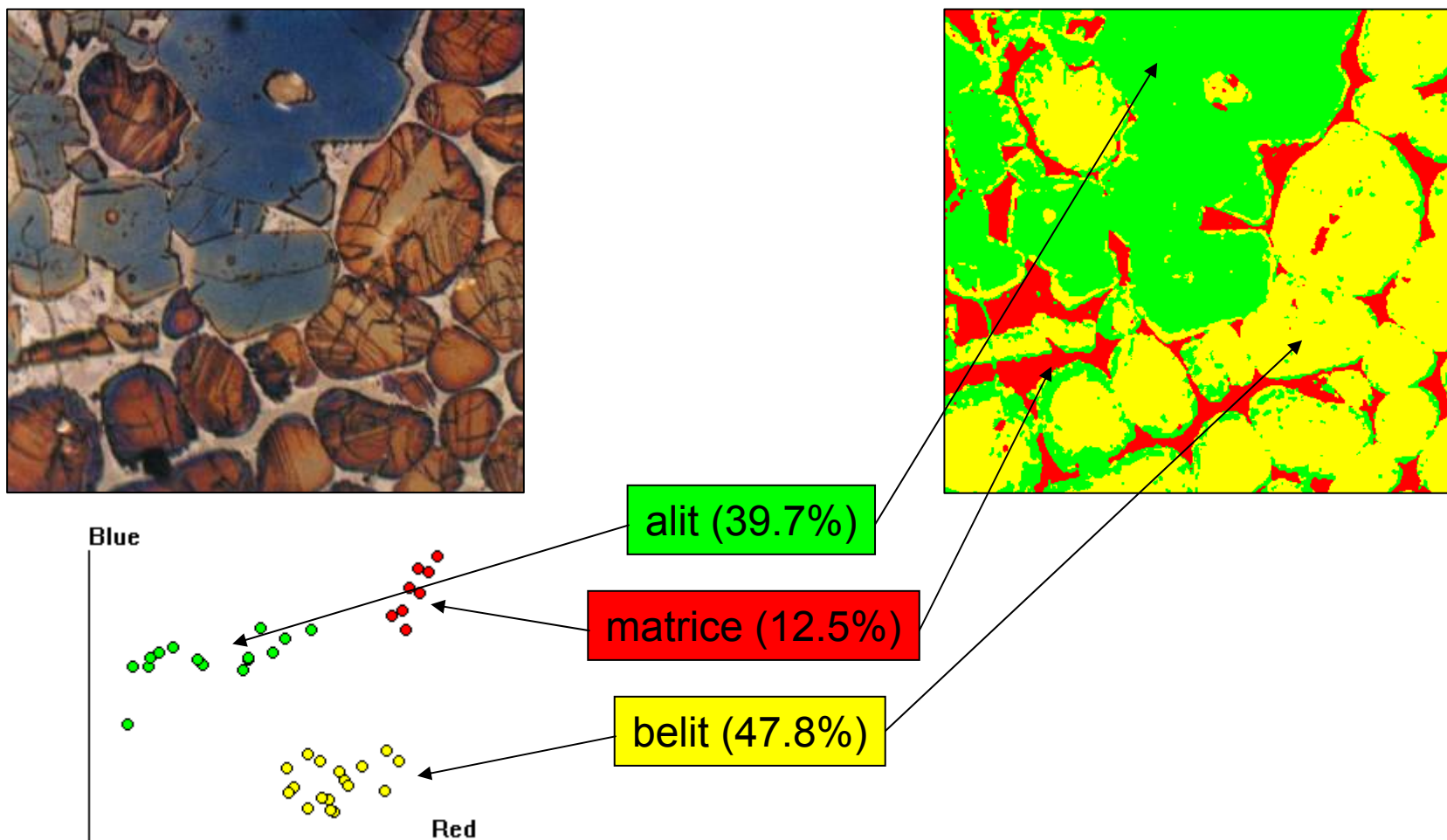
Příklad: fázová analýza cementářského slínku

- 1) počet a typ kanálů (I, RGB, HSI, 4CH, F)
- 2) počet fází a jejich druh (např.  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$ ,  $C_4AF$ )
- 3) UČENÍ - manuální označení bodů typických pro jednotlivé fáze
- 4) ověření správné separace (binární obraz, graf)
- 5) uložení klasifikátoru (pro další vzorky)
- 6) KLASIFIKACE - určení zastoupení jednotlivých fází
- 7) zobrazení a publikace výsledků

# Stereologie

- ▶ Klasifikátor - identifikace, třídění a kvantifikace fází

Příklad: fázová analýza cementářského slínku



## Stereologie

- ▶ Pokročilé měření objemové frakce
- měření s definovanou přesností

$$\varphi_i = \frac{V_i}{V} = \frac{S_i}{S} = \frac{N_i}{N} = p_i$$

### Postup:

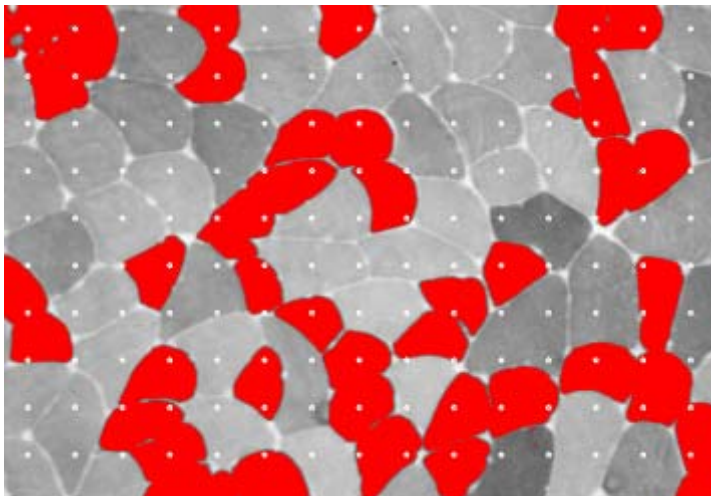
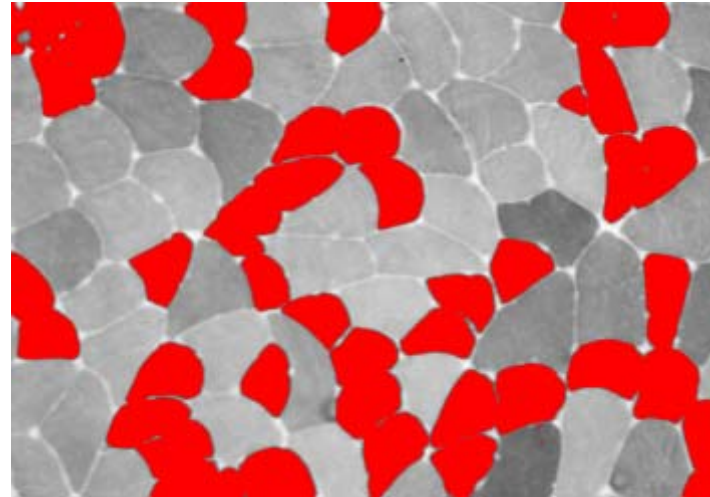
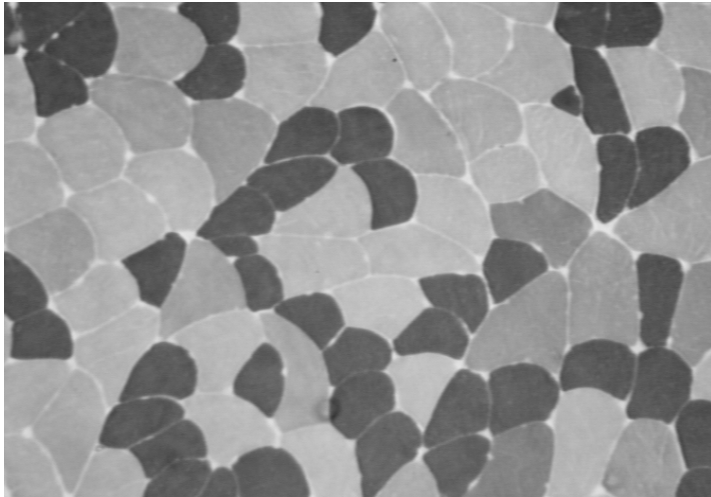
- 1) prahování (segmentace)
- 2) měřicí síť bodů (řídka)
- 3) kolik bodů,  $N_i$ , z celkového počtu,  $N$ , padne do fáze  $i$
- 4) odhad přesnosti měření. Kolik má být  $N_i$ , aby přesnost odpovídala  $\sigma_i$ ?

$$N_i = \frac{1}{\sigma_i^2}$$

- 5) Příklad: Chci přesnost 5%.  $N_i = 1/0.05^2 = 400$  bodů.

# Stereologie

- ▶ Pokročilé měření objemové frakce



$$\phi_i = N_i/N = 54/150 = 0.36$$
$$\sigma_i = 1/\sqrt{N_i} = 1/\sqrt{54} = 14\%$$

## Stereologie

### ► Pokročilé měření povrchu

- měření s definovanou přesností

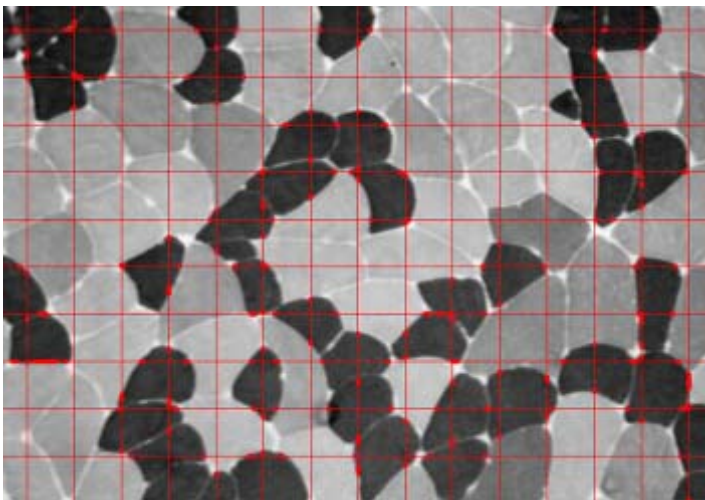
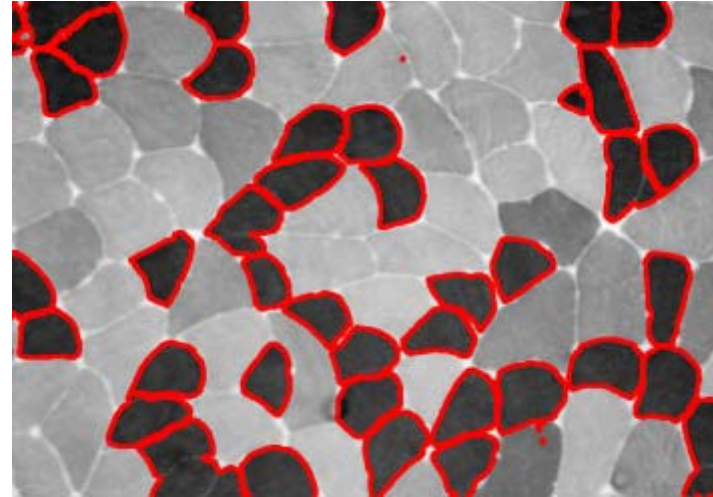
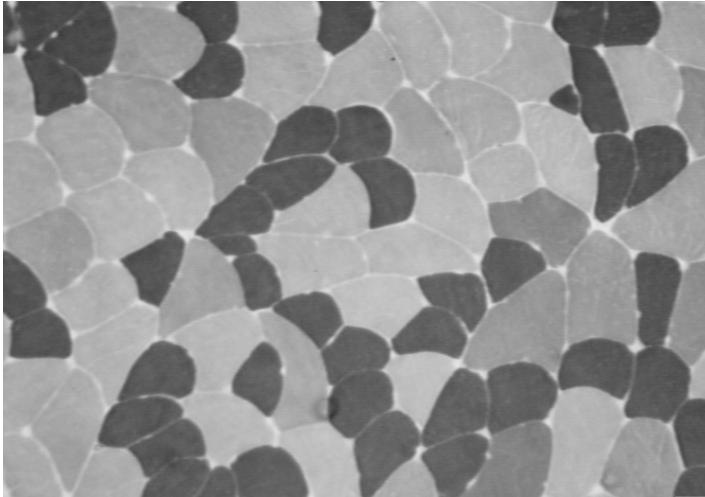
$$v_i = \frac{P_i}{V} = \left(\frac{4}{\pi}\right) \frac{L_i}{S} = 2 \frac{N_i}{L_G} = p_i$$

Postup:

- 1) prahování (segmentace), obrysy, ořezání
- 2) měřicí mřížka (řídká)
- 3) kolik je průsečíků,  $N_i$ , mřížky o celkové délce  $L_G$

# Stereologie

## ► Pokročilé měření povrchu



$$v_i = 2N_i/L_G = 2*186/4306 \\ = 0.086 \mu\text{m}/\mu\text{m}^3$$

# Stereologie

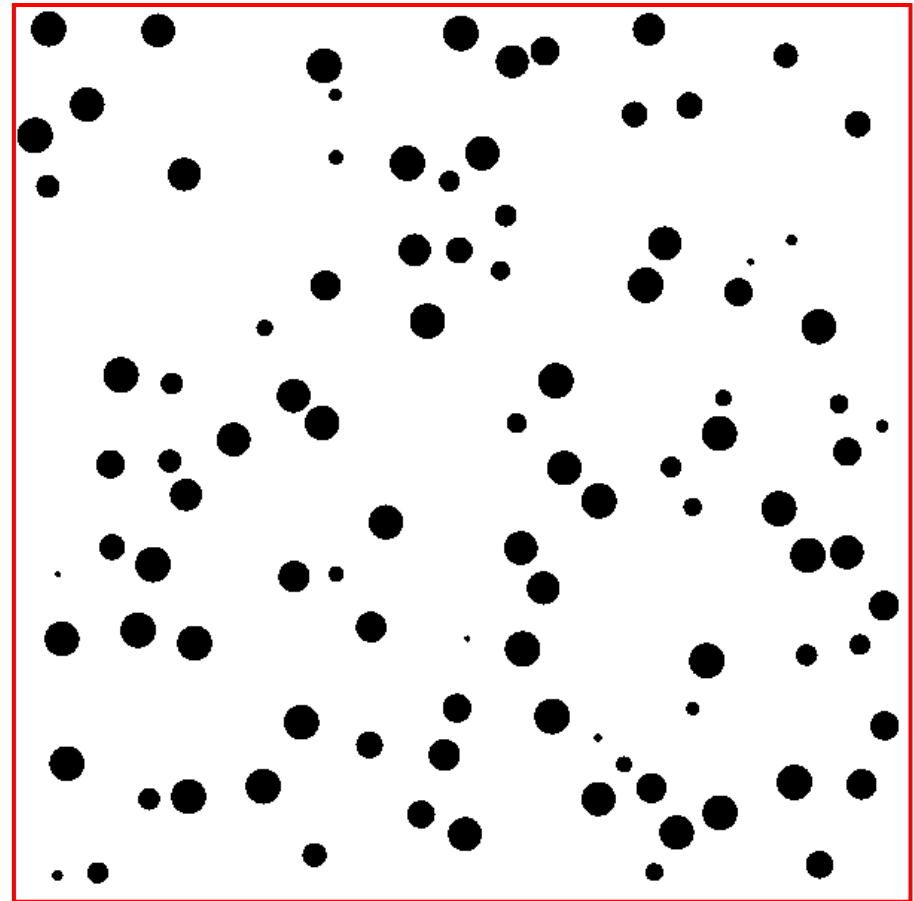
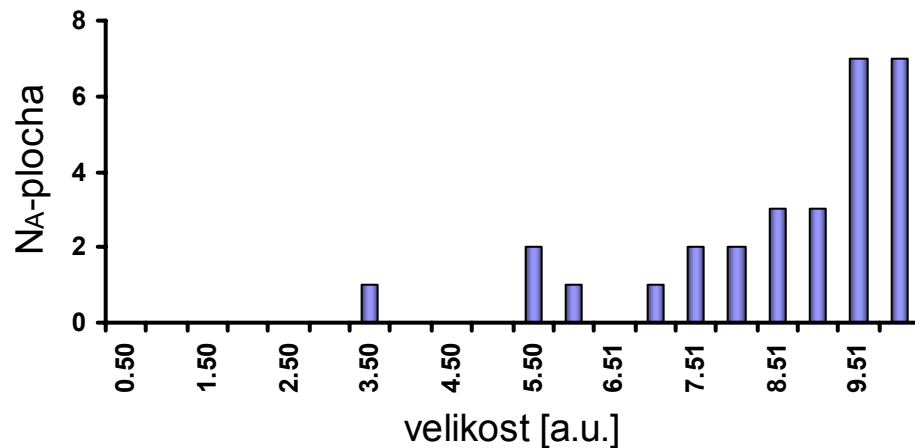
## ▶ 3D rekonstrukce - 3D struktura z 2D řezu

### MODEL - Koule

#### Příklady:

- grafitová zrna v litině
- keramika s řízenou pórovitostí

Otázka: Jaká je distribuce kulových částic v materiálu?



# Stereologie

## ► 3D rekonstrukce - 3D struktura z 2D řezu

### MODEL - Koule

$N_A(i)$  - distribuce disků,  $\{1 \leq i \leq n\}$ ,  $n$  je počet tříd

$N_V(i)$  - distribuce koulí,  $\{1 \leq i \leq n\}$

Základní vztah stereologie:

$$N_A(i) = K_{ij} N_V(j)$$

$K_{ij}$  udává pravděpodobnost, že z částice  $N_V(j)$  vznikne

řezem disk  $N_A(i)$ .

Příklad pro  $n = 4$ :

$$\begin{bmatrix} N_A(1) & - \\ N_A(2) & \bullet \\ N_A(3) & \bullet \\ N_A(4) & \bullet \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ & \bullet & \bullet & \bullet \\ & & \bullet & \bullet \\ & & & \bullet \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_V(1) & \bullet \\ N_V(2) & \bullet \\ N_V(3) & \bullet \\ N_V(4) & \bullet \end{bmatrix}$$

## Stereologie

- ▶ 3D rekonstrukce - 3D struktura z 2D řezu

### MODEL - Koule

Úprava základního vztahu:

$$N_A(i) = d_{\max} K_{ij} N_V(j)$$

$d_{\max}$  je maximální průměr;

pravděpodobnostní matice,  $\mathbf{K}$ , je normalizována:  $\sum_{i=1}^n K_{ij} = j/n$

Matice  $\mathbf{K}$  je regulární, horní trojúhelníková matice.

Pro model koulí lze  $\mathbf{K}$  vypočítat analyticky:

$$K_{ij} = \begin{cases} 1/n \cdot \left( \sqrt{j^2 - (i-1)^2} - \sqrt{j^2 - i^2} \right) & \text{pro } j \geq i \\ 0 & \text{pro } j < i \end{cases}$$

# Stereologie

- ▶ 3D rekonstrukce - 3D struktura z 2D řezu

## MODEL - Koule

Inverzní vztah pro výpočet distribuce částic:

$$N_V = 1/d_{\max} \mathbf{K}^{-1} N_A$$

Nekulové částice: nelze klasifikovat podle  $d/d_{\max}$ .

- alternativa:  $\sqrt{A/A_{\max}}$

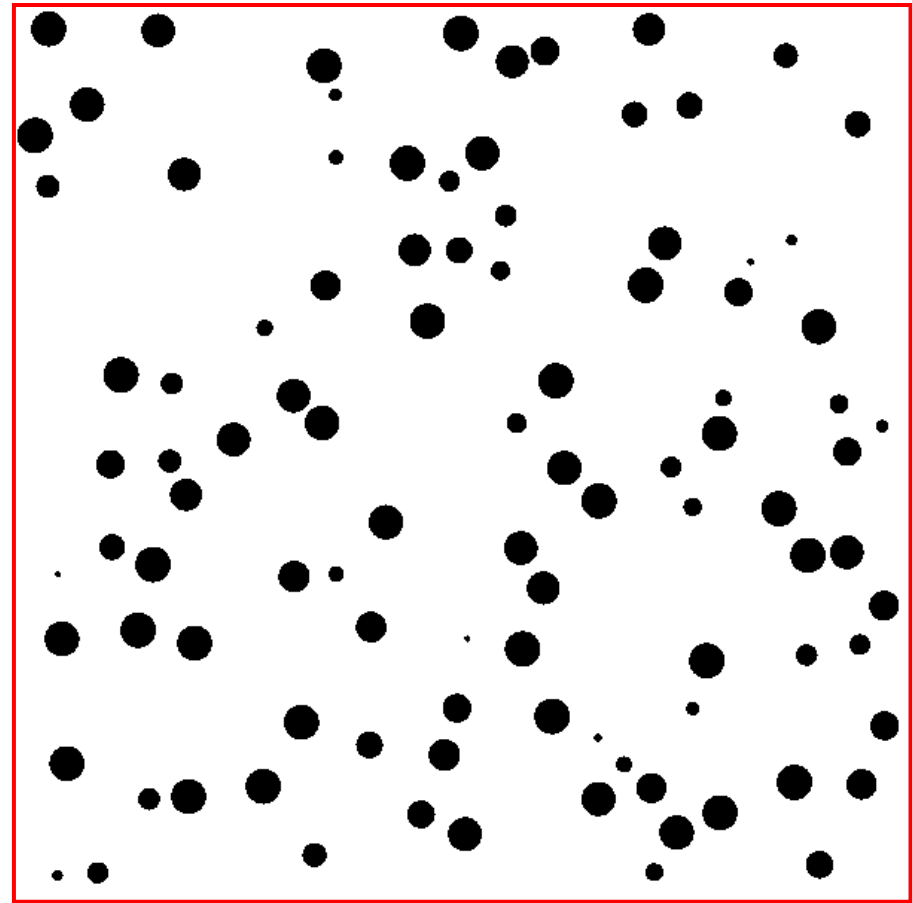
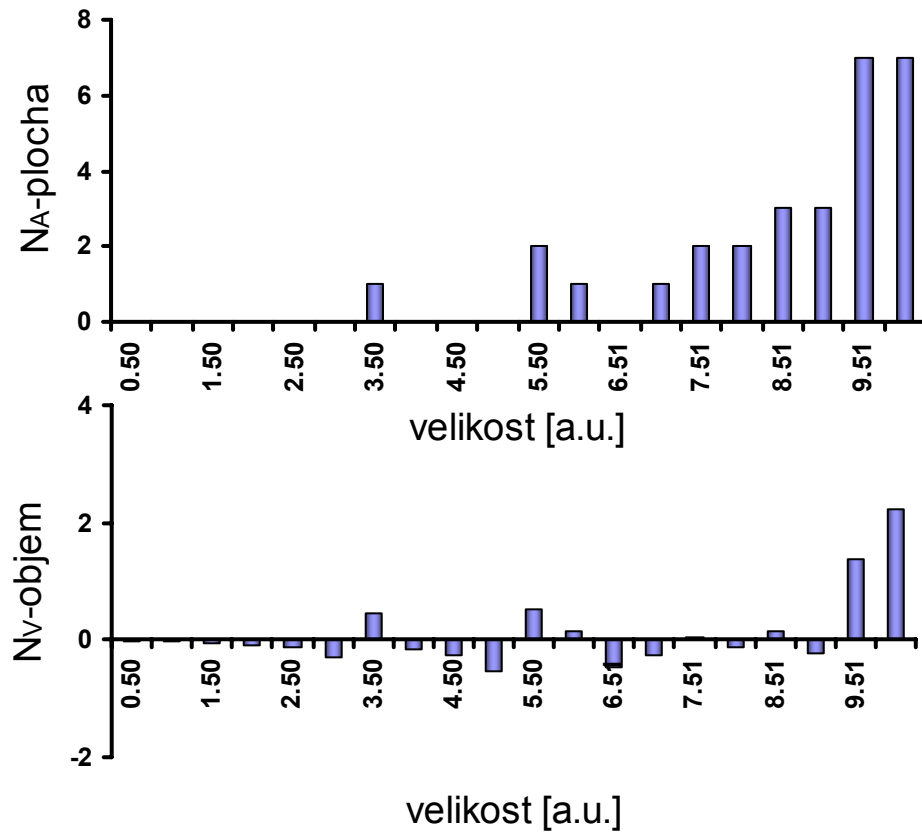


# Stereologie

## ► 3D rekonstrukce - 3D struktura z 2D řezu

### MODEL - Koule

Otázka: Jaká je distribuce kulových částic v materiálu?



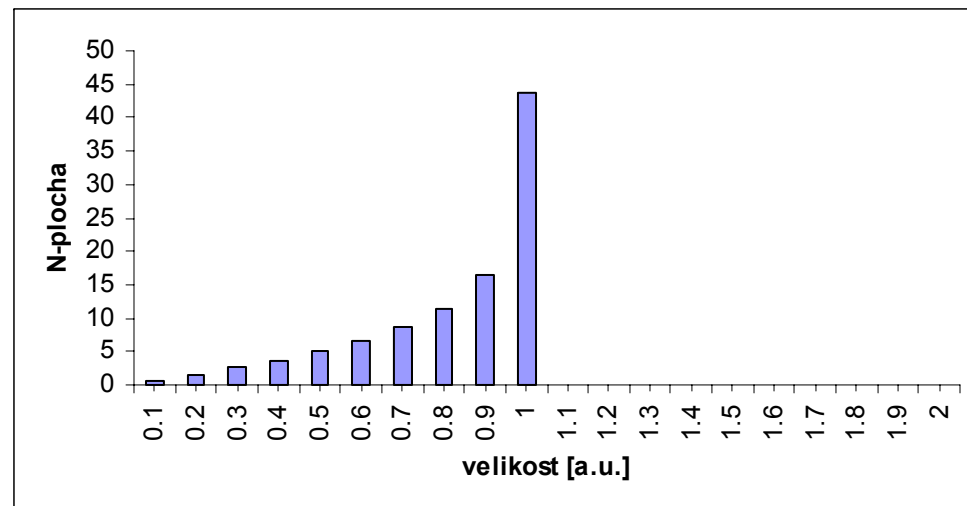
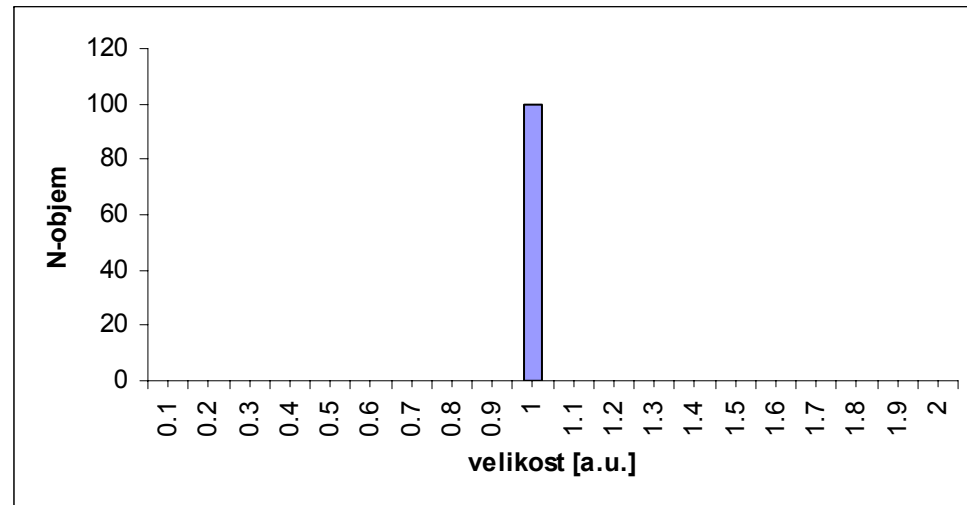
Odpověď: částice jsou monodisperzní.

# Stereologie

- ▶ 3D rekonstrukce - 3D struktura z 2D řezu

## MODEL - Koule

Monodisperzní distribuce:



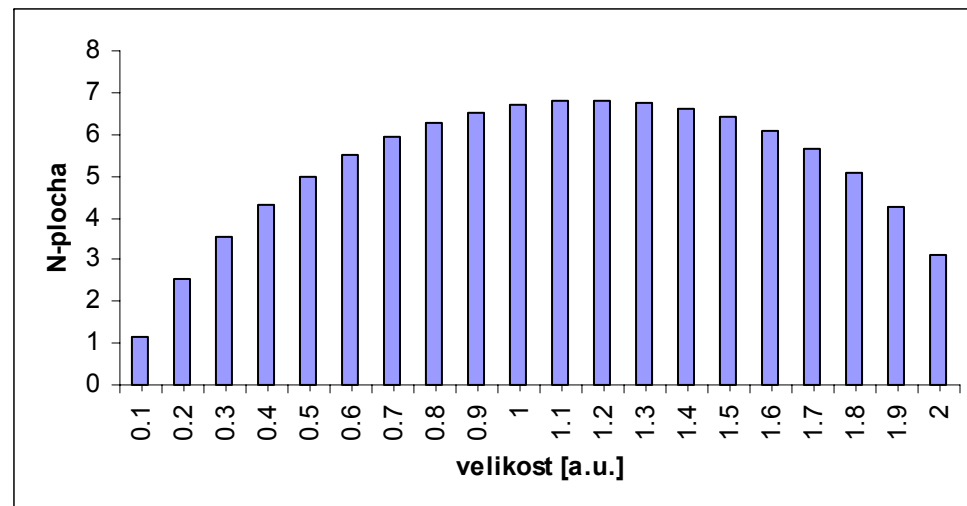
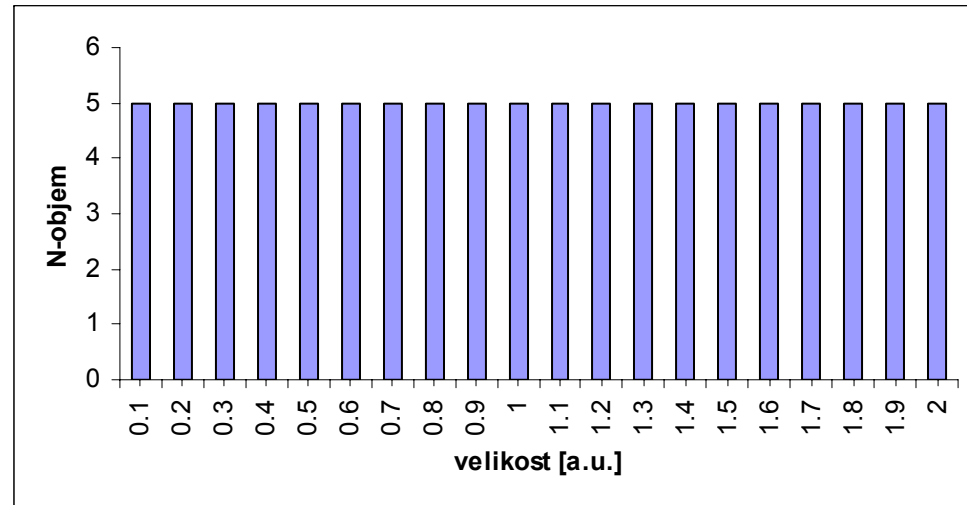
# Stereologie

## ▶ 3D rekonstrukce - 3D struktura z 2D řezu

### MODEL - Koule

Monodisperzní distribuce:

Konstantní distribuce:



# Stereologie

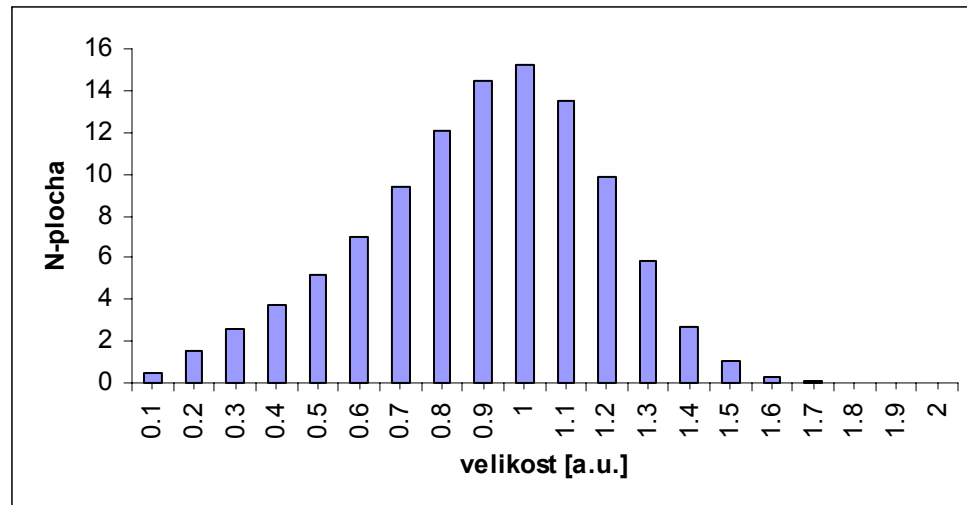
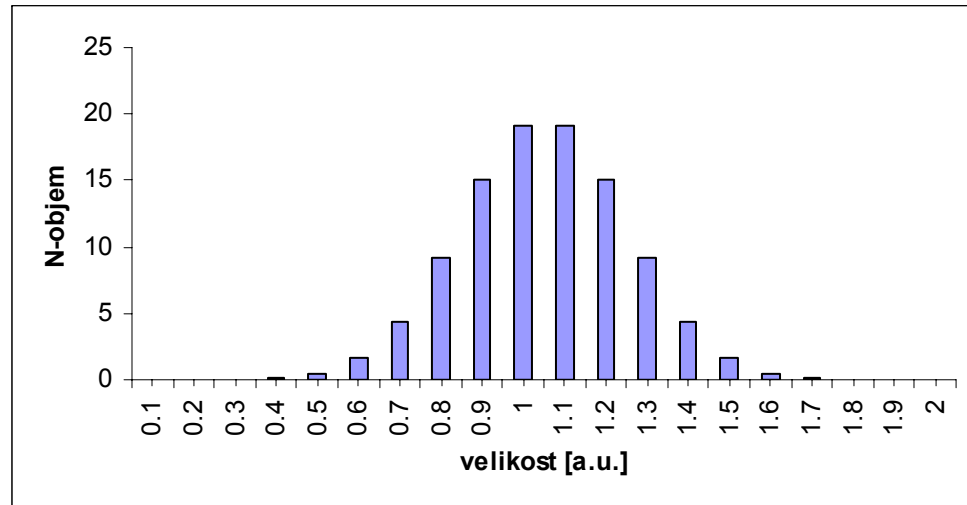
## ► 3D rekonstrukce - 3D struktura z 2D řezu

### MODEL - Koule

Monodisperzní distribuce:

Konstantní distribuce:

Unimodální gaussovská distribuce:



# Stereologie

## ► 3D rekonstrukce - 3D struktura z 2D řezu

### MODEL - Koule

Monodisperzní distribuce:

Konstantní distribuce:

Unimodální gaussovská distribuce:

Bimodální gaussovská distribuce:

