

Visualizace objemových dat

© 1996-2015 Josef Pelikán, CGG MFF UK Praha

<http://cgg.mff.cuni.cz/~pepca/>

pepca@cgg.mff.cuni.cz

„Průmyslové“ aplikace



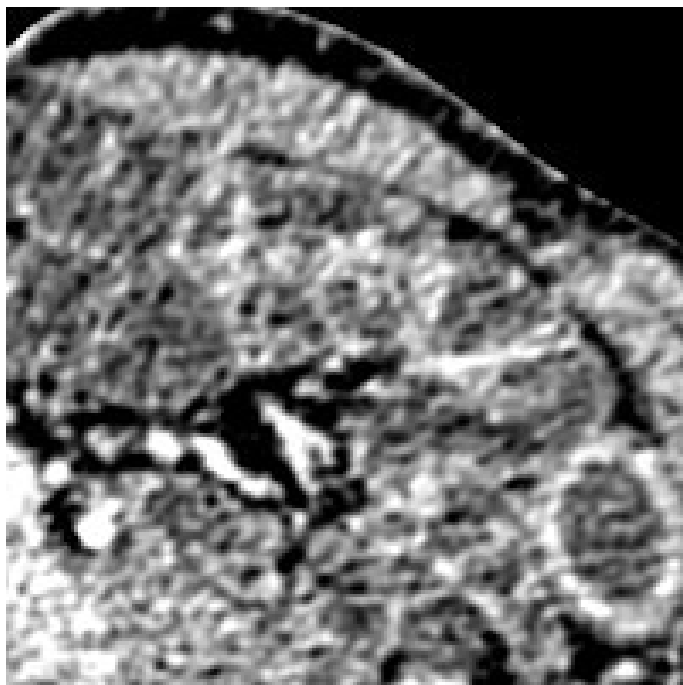
◆ **medicína**

- počítačová tomografie (CT) – rentgen
- nukleární magnetická rezonance (NMR, MRI)
- pozitronová emisní tomografie (PET)
- „Single Photon Emission Computer Tomography“ (SPECT)
- + kombinace různých technologií (např. CT+NMR)

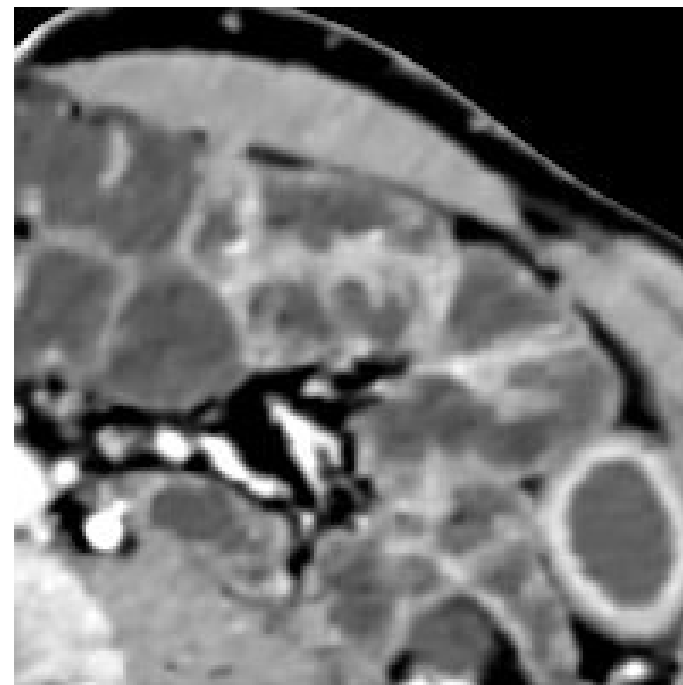
◆ **průmyslová defektoskopie**

- **průmyslová CT**
- sonogramy, rentgenové přístroje, ..

Zdrojová data



CT data s šumem



Po odšumění

CT data



Aplikace

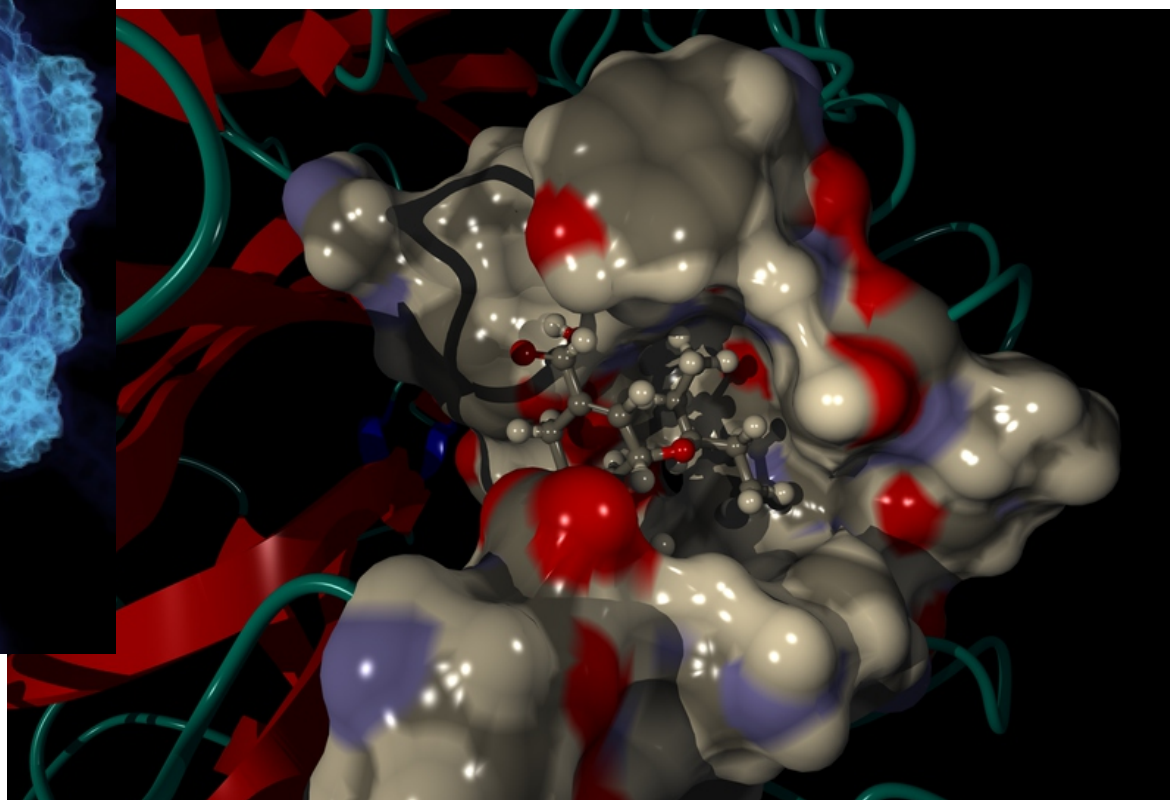
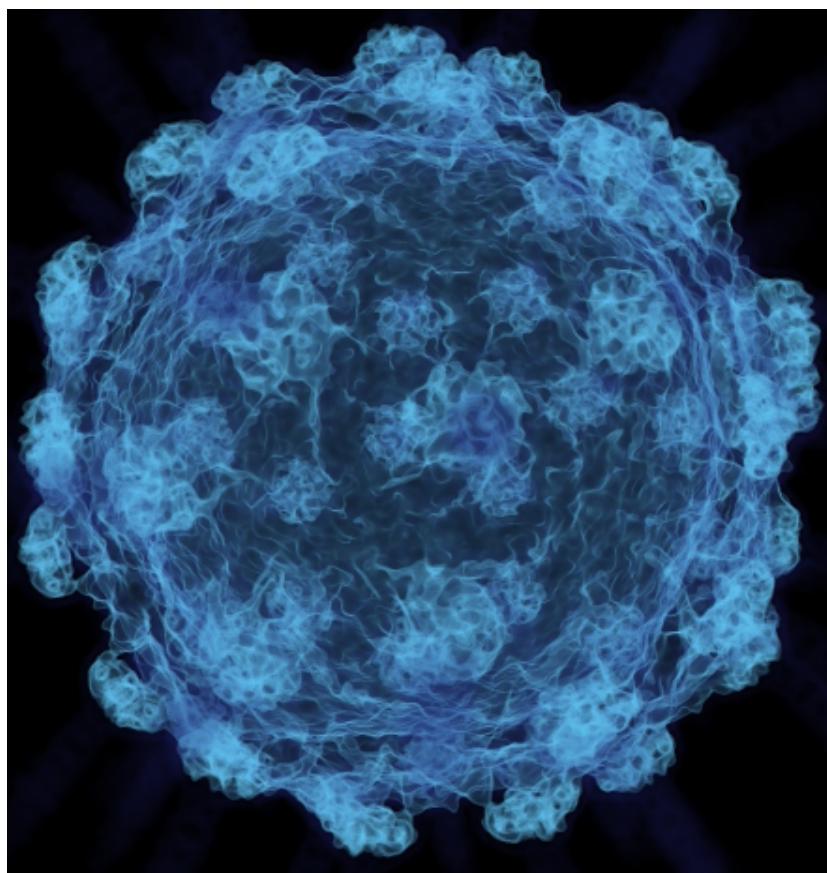


Vědecké aplikace

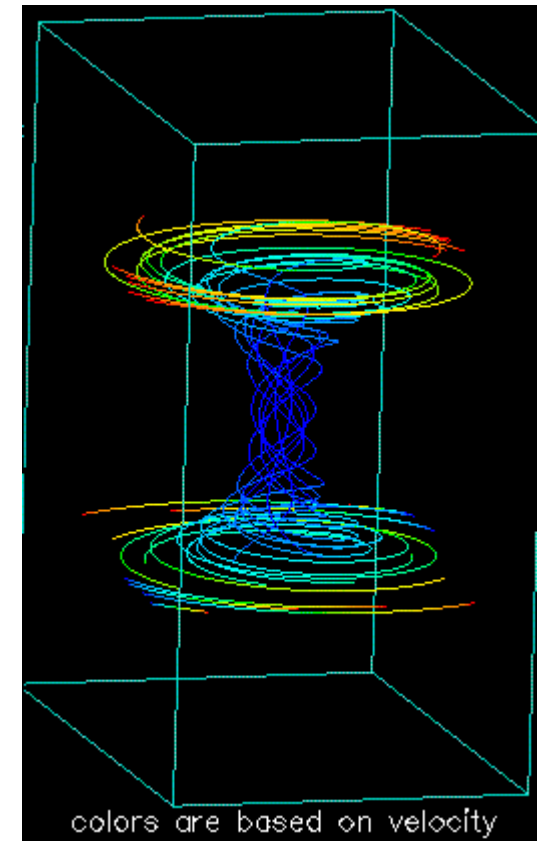
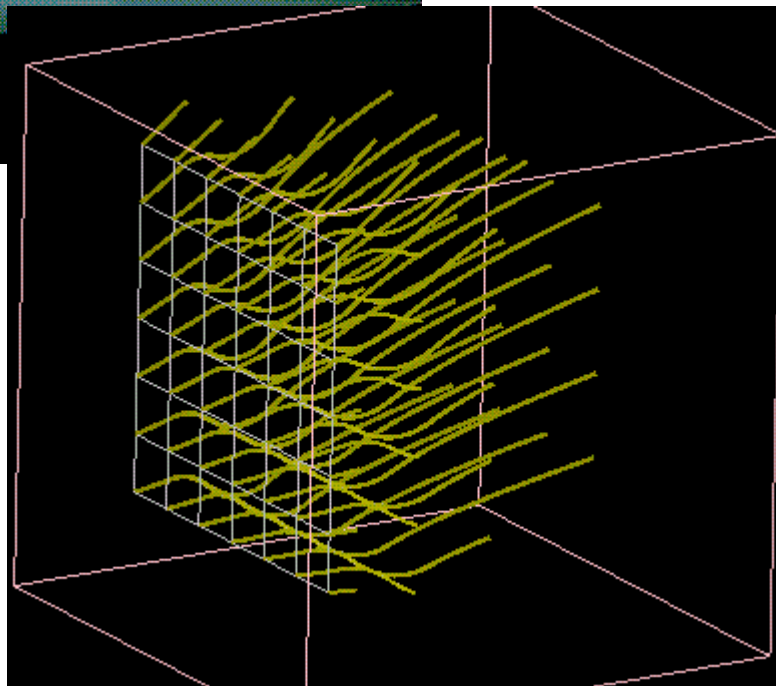
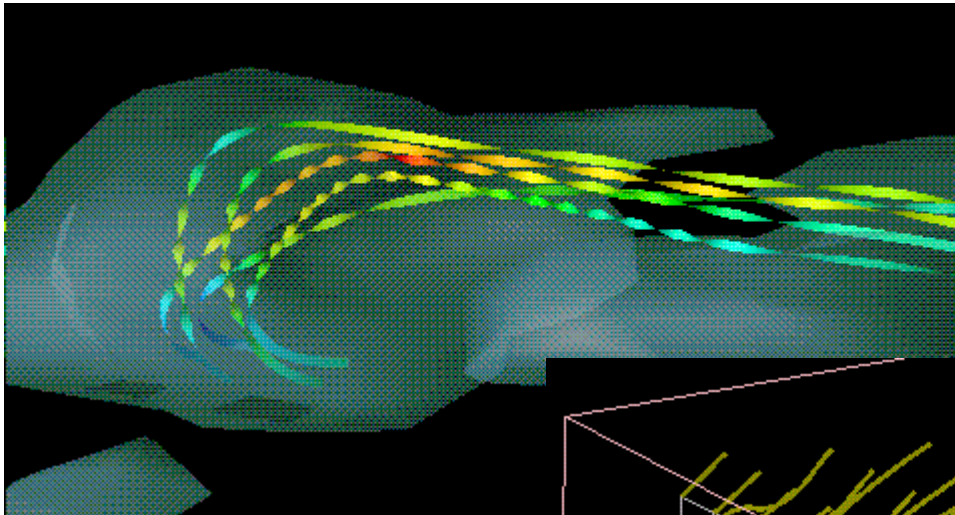


- ◆ **zobrazení naměřených dat**
 - geologie, seismologie
 - meteorologie
 - molekulární chemie a biologie
- ◆ **zobrazení matematické simulace**
 - **(dynamická) vektorová pole:** průmyslová konstrukce, aerodynamika, meteorologie, ..
 - astronomie a astrofyzika
 - zobrazení implicitně definovaných ploch

Aplikace



Aplikace





Předmět vizualizace

- ◆ **statická 3D data**
 - forma zobrazení $f: \mathbf{R}^3 \rightarrow \mathbf{R}^n$
 - uspokojivě lze zatím zobrazovat jen data skalární nebo výjimečně vektorová ($n \leq 3$)
 - ale např. v meteorologii se měří/počítá až 30 veličin v každém bodě!
 - lepší přehled o průběhu veličin dávají animace
- ◆ **dynamická 3D data (animace)**
 - forma zobrazení $f: \mathbf{R}^4 \rightarrow \mathbf{R}^n$ ($[\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}, \mathbf{t}]$)
 - animace je složitější, uživatelem řízená („steering“)

Požadavky

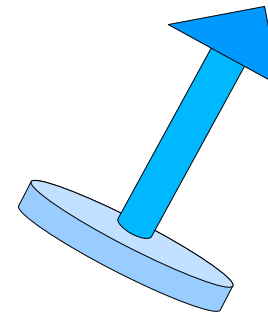


- **názornost** zobrazení
 - pozorovatel by měl získat co nejlepší představu o zobrazované funkci (příp. i jejím časovém průběhu)
 - cílem nejsou bezpodmínečně realistické obrázky
 - **interakce uživatele** („steering“: on-line animace)
- **věrnost, pravdivost**
 - výstup by neměl být příliš zkreslený
- **rychlost výpočtu**
 - pro animace minimálně několik obrázků za sekundu

Visualizace vektorů, tensorů, ..



- **vektorová pole**
 - proudění kapaliny
 - vlákna, stužky, šumová textura
 - „šipky“ nebo jiné 3D ikony
- **tensorová pole**
 - elipsoidy, příp. jiné ikony
- **vícerozměrná data**
 - předzpracování (PCA nebo jiná redukce dimenze)
 - barva, zvuk, ikony, textura, ...





Objemova data – formáty

◆ rovnoběžná mřížka

- reprezentace maticí $\mathbf{K} \times \mathbf{L} \times \mathbf{M}$ a diferenčními vektory \mathbf{dx} , \mathbf{dy} , \mathbf{dz}
- stěny jednotlivých buněk rastru jsou rovnoběžné
- rastr nemusí být uniformní

◆ mřížka s pravidelnou topologií

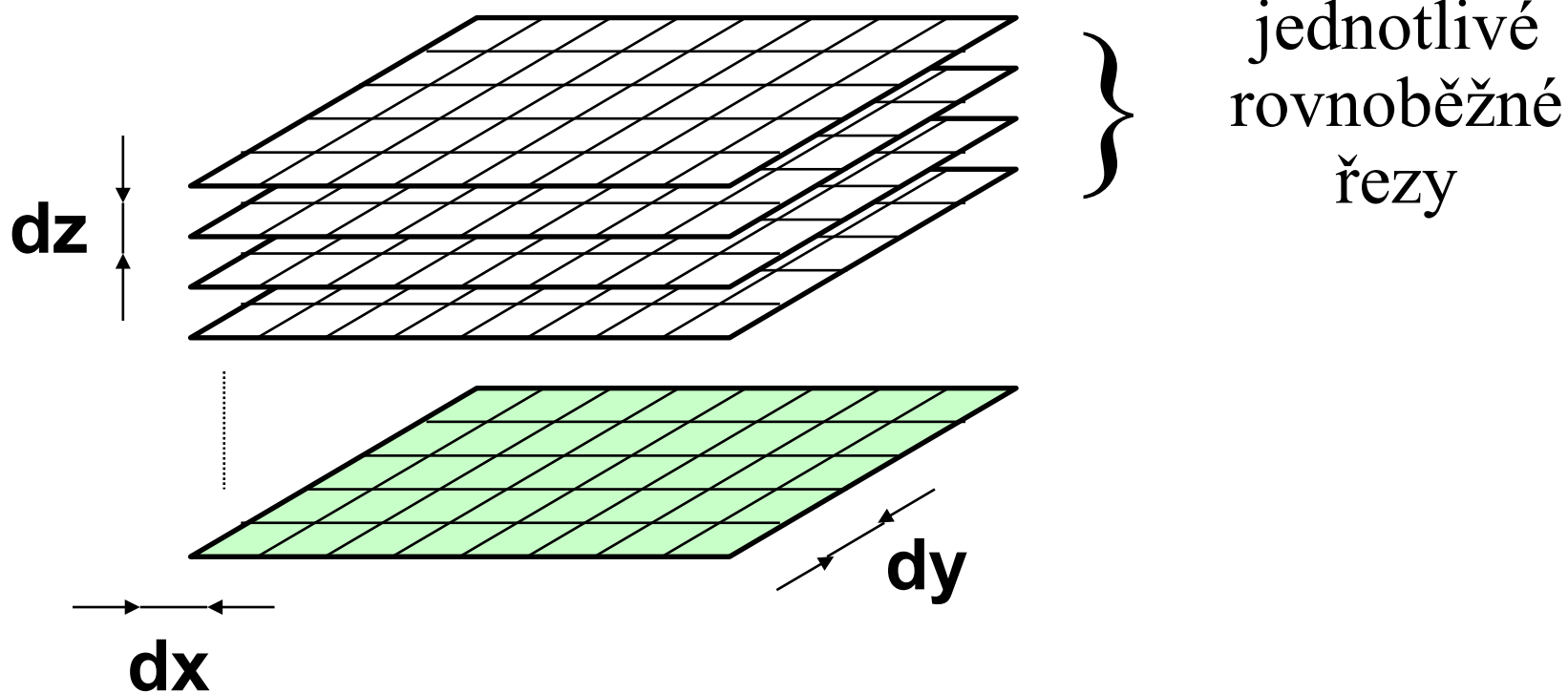
- reprezentace maticí $\mathbf{K} \times \mathbf{L} \times \mathbf{M}$ a sítí parametrických ploch $\mathbf{Pu}[\]$, $\mathbf{Pv}[\]$, $\mathbf{Pw}[\]$
- buňky mají pouze stejnou topologii (např. 6 stěn)



Formáty II

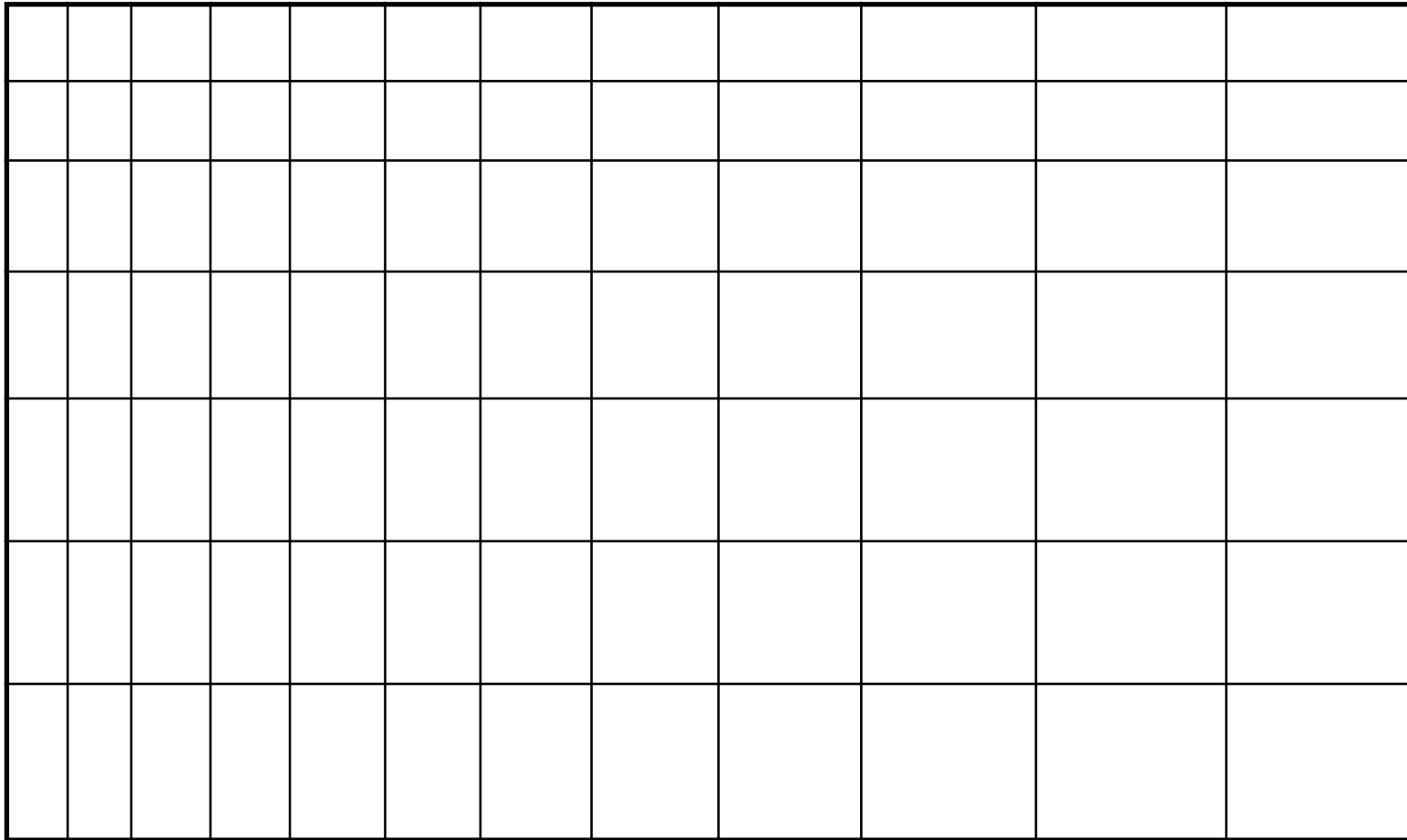
- ◆ **mřížka s nepravidelnou topologií**
 - libovolně rozmístěné uzly hodnot + topologie buněk
 - čtyřstěny, šestistěny (v rovině: trojúhelníky, čtyřúhelníky)
- ◆ **hybridní mřížka**
 - kombinace pravidelné a nepravidelné topologie
 - viz metody konečných prvků (hybridní síť pro radiační metodu)

Pravidelná rovnoběžná mřížka

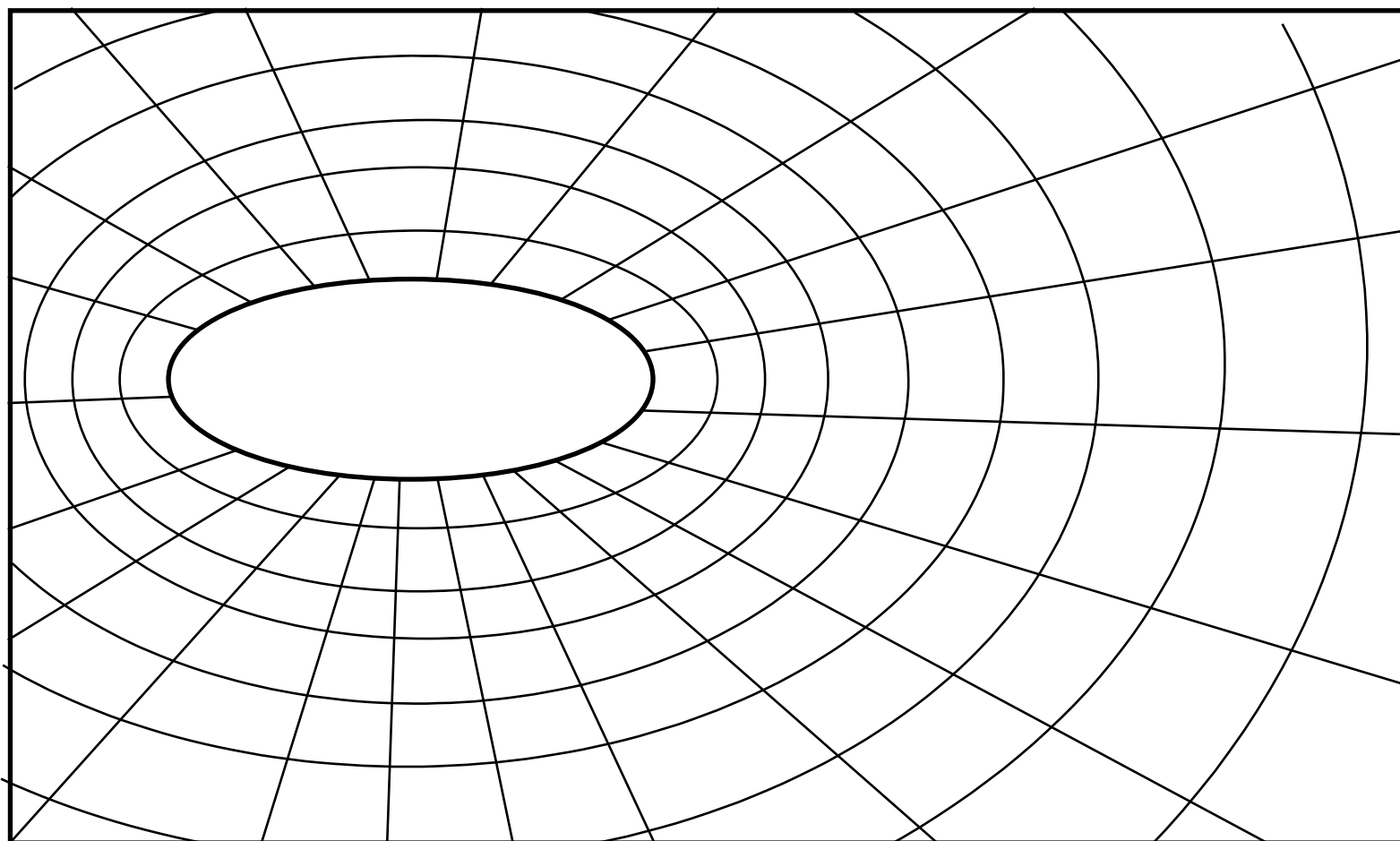


uniformní mřížka ... $dx = dy = dz$

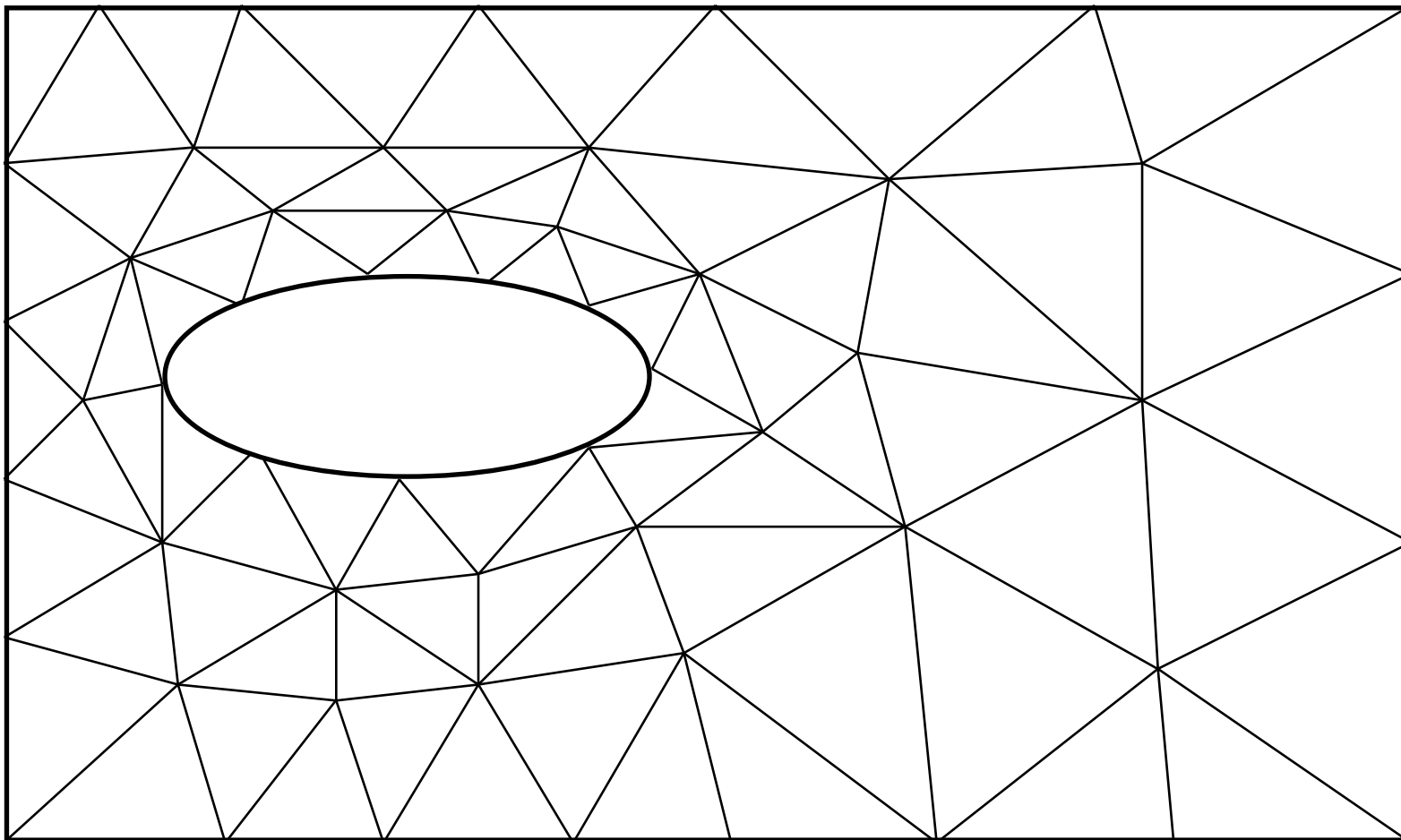
Rovnoběžná mřížka



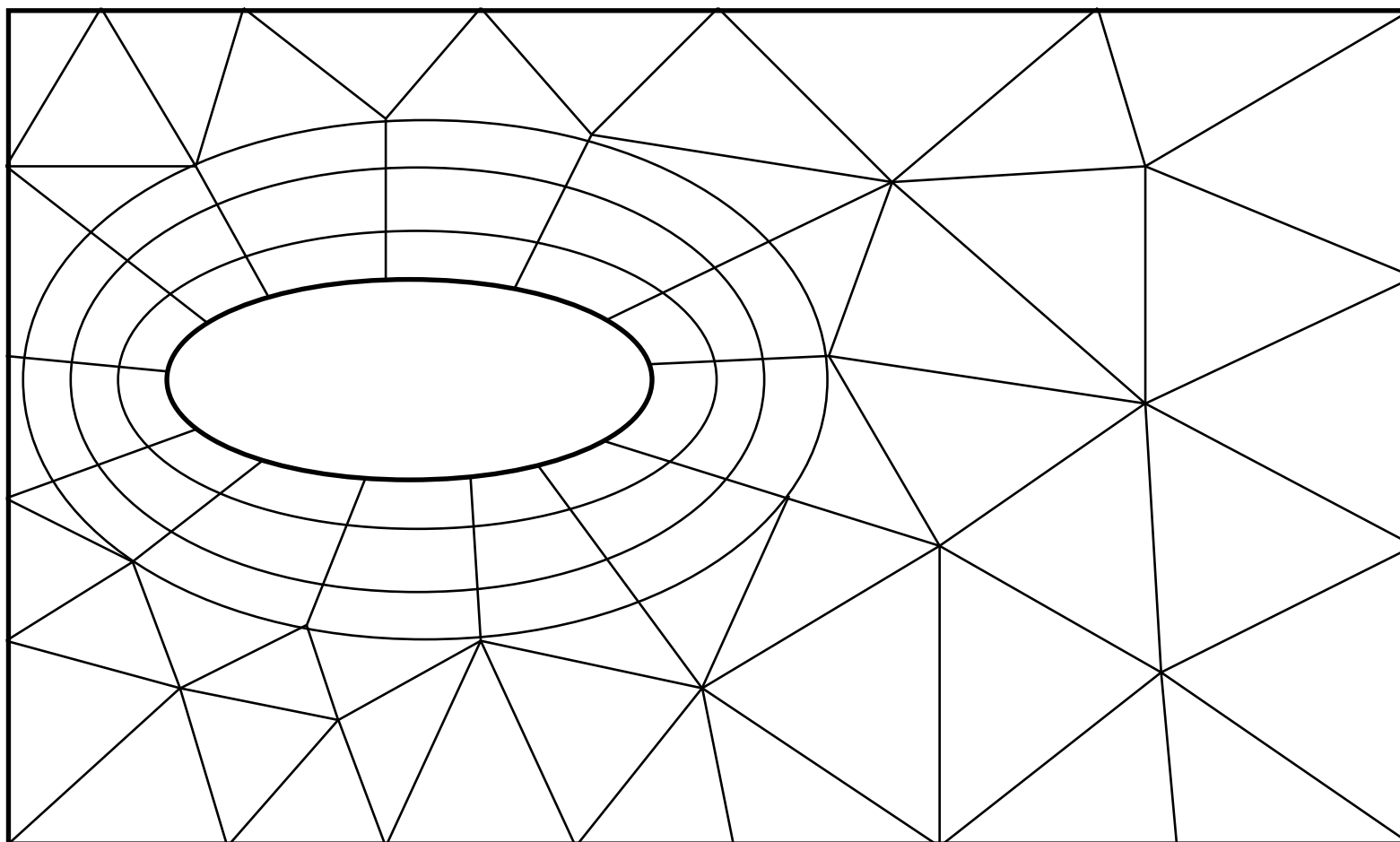
Mřížka s pravidelnou topologií



Mřížka s nepravidelnou topologií

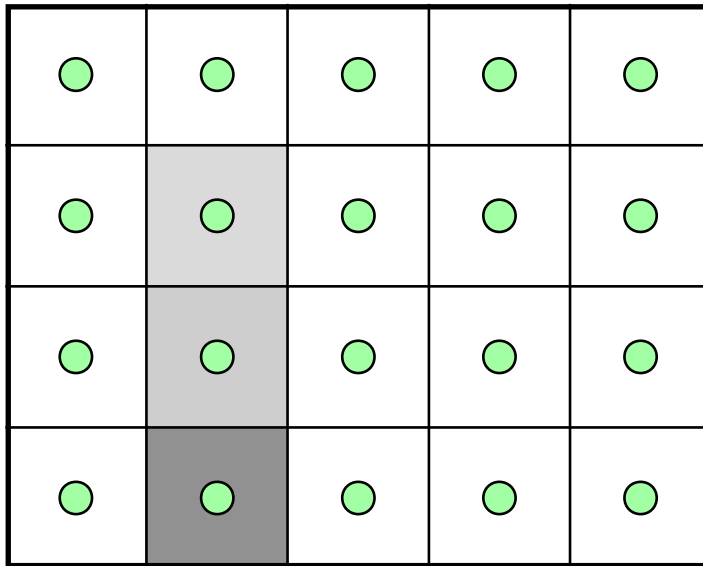


Hybridní mřížka



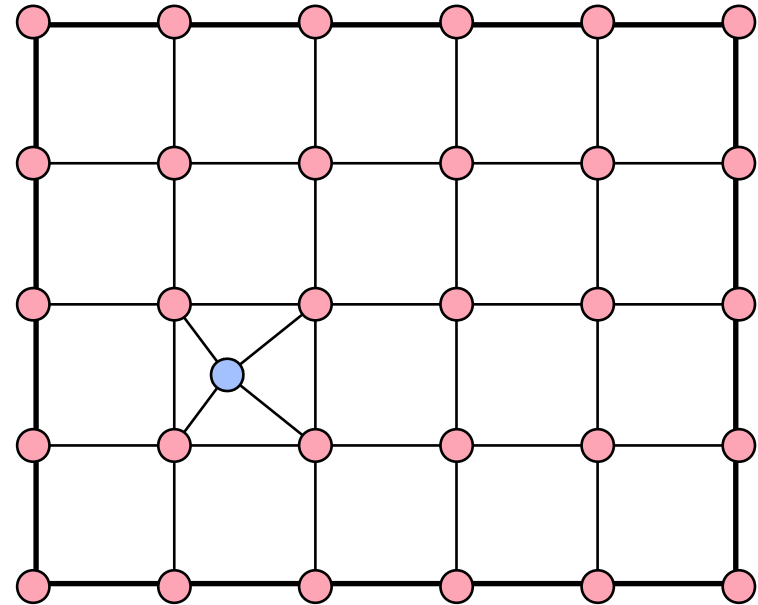


Voxely nebo buňky?



voxely

(naměřené hodnoty jsou
uprostřed – průměr)



buňky

(naměřené hodnoty jsou
ve vrcholech – vzorky)

Fáze zpracování objemových dat

- 1 **pořízení dat** (měření nebo výpočet)
 - uvnitř snímacího zařízení (CAT, MRI) mohou již být použity některé **netriviální algoritmy**:
 - převod několika kumulativních projekčních snímků do jednoho 2D obrazu (dělá firmware)
- 2 **úpravy a vylepšení jednotlivých řezů: 2D op.**
 - filtrace: vyhlazování, zvětšování kontrastu
 - změny kontrastu - např. automatické vyrovnávání histogramu (stejně operace na všech řezech!)

Fáze zpracování objemových dat

3 3D úpravy a vylepšení

- úpravy formátu: přidávání dalších řezů (interpolací), převzorkování (v uniformní mřížce), ..
- 3D filtrace: vyhlazování, zvětšování kontrastu

4 klasifikace dat, segmentace

- medicína: různé typy tkání (kost, mozek, svalstvo, tuk, vzduch)
- ruční nebo automatická (např. analýzou histogramu)

5 zobrazení dat (projekce do 2D)

Zobrazování objemu



- ① **výpočet izoploch** („surface fitting”: SF)
 - aproximace izoplochy sítí n-úhelníků (trojúhelníků), výpočet není závislý na úhlu pohledu
 - zobrazení klasickými metodami (HW podpora)
 - uživatel zadává prahovou hodnotu (i více hodnot)

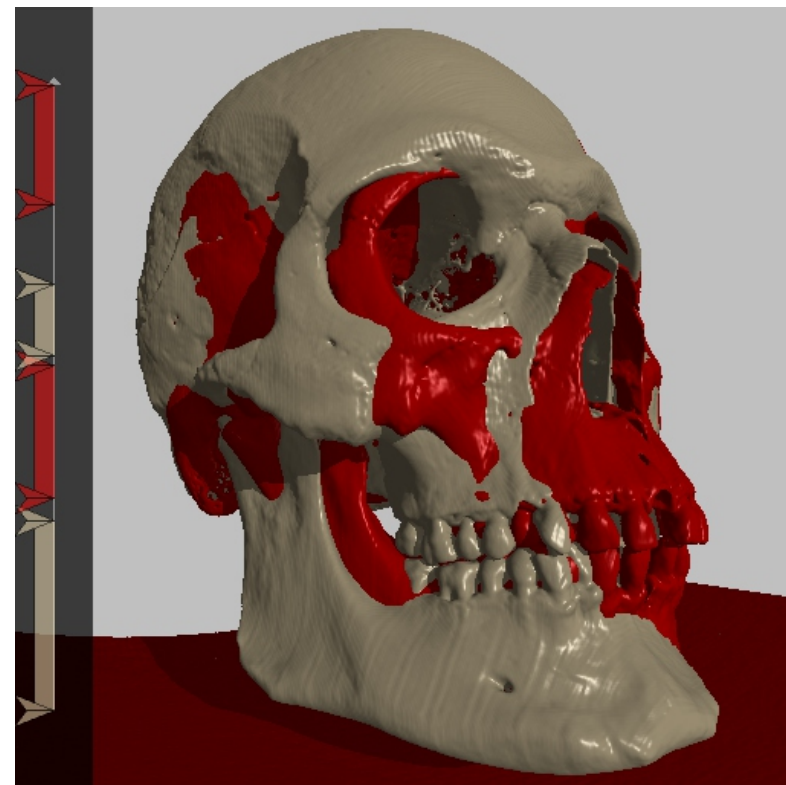
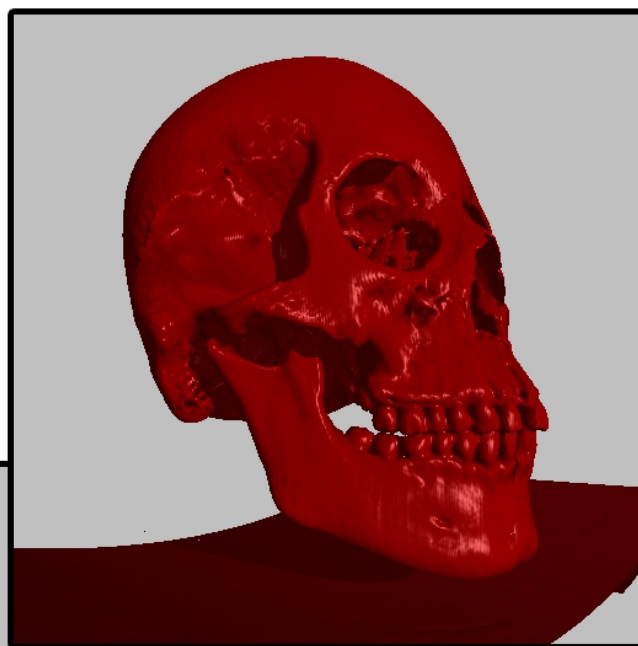
- ② **přímé zobrazovací metody** („Direct Volume Rendering“ = DVR)
 - většinou nepoužívají pomocná grafická primitiva
 - dávají globální představu o průběhu zobrazované fce



Výpočet izoploch

- ♦ tyto metody jsou často rychlejší a po provedení výpočtu dovolují opakované rychlé zobrazení
- ♦ **neprůhledné kostky („cuberille“)**
- ♦ **napojování izočar**
 - topologické problémy ([vícenásobné] větvení)
- ♦ **pochodující kostky („marching cubes“)**
 - konstrukce izoploch při průchodu buňkami
 - dělení kostek (podle rozlišení displeje), pochodující čtyřstěny

Ukázky zobrazení izoploch

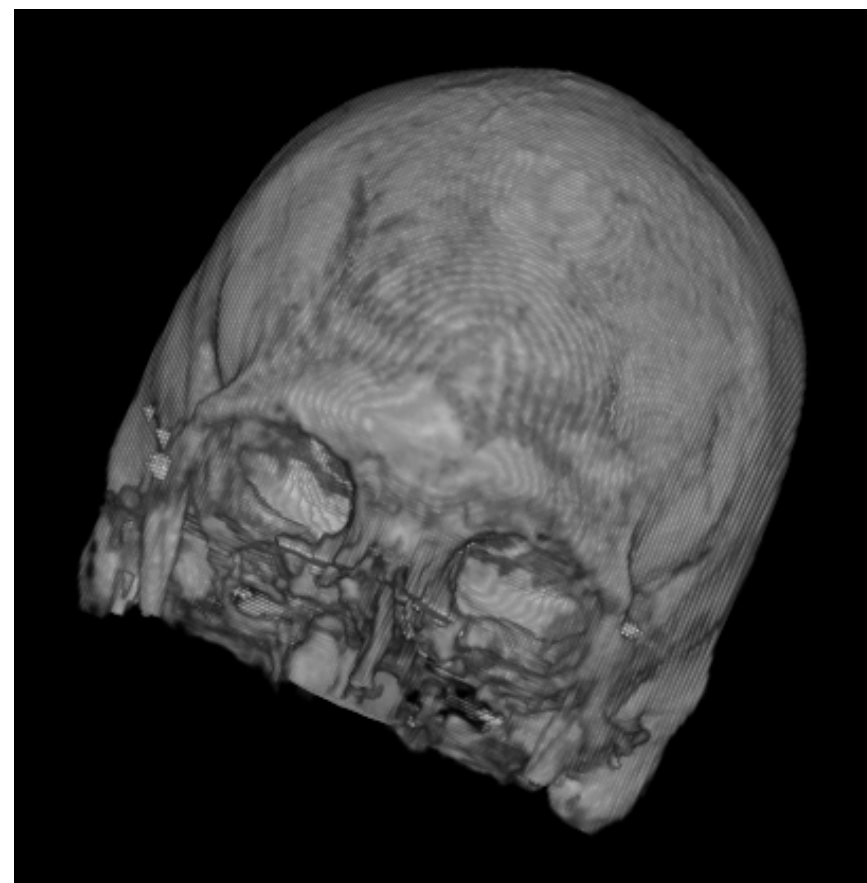
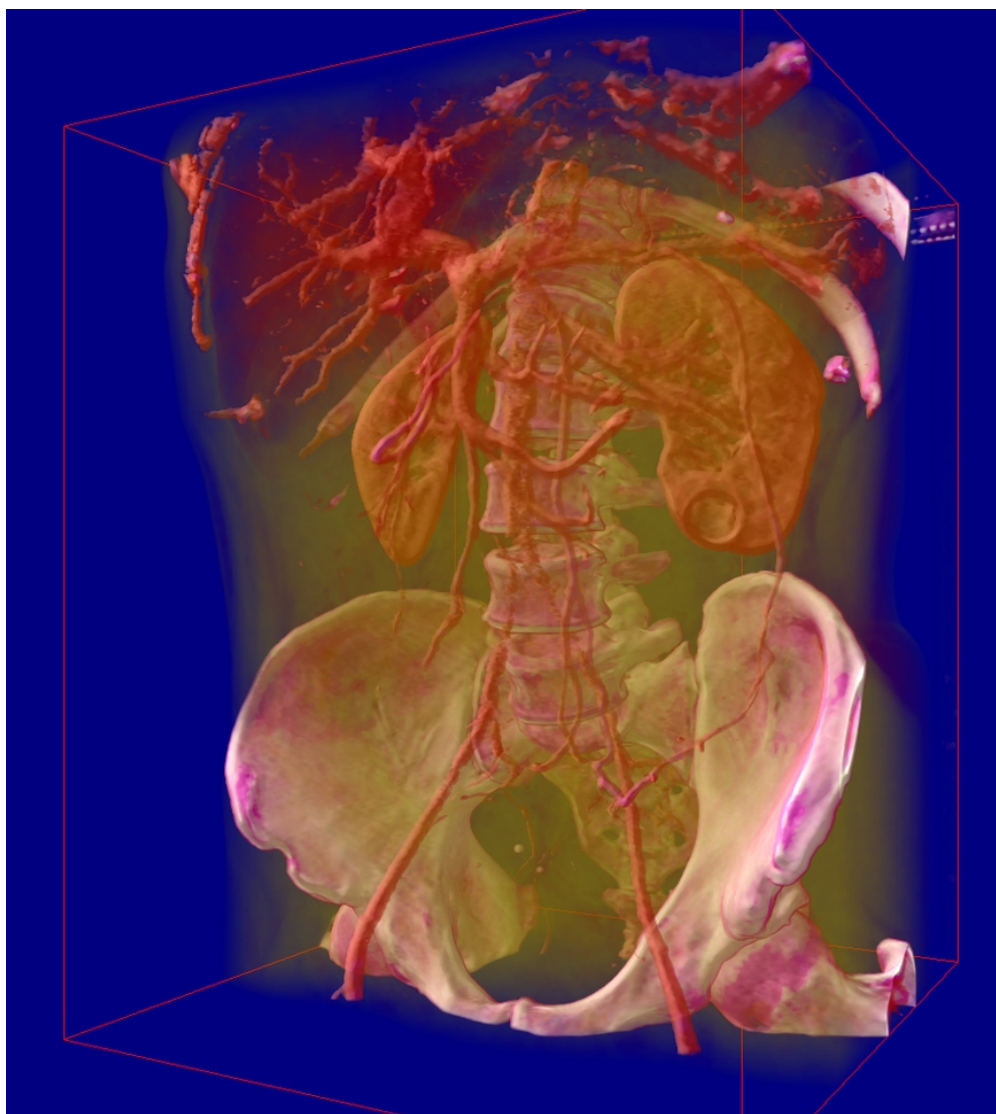


Přímé zobrazovací metody

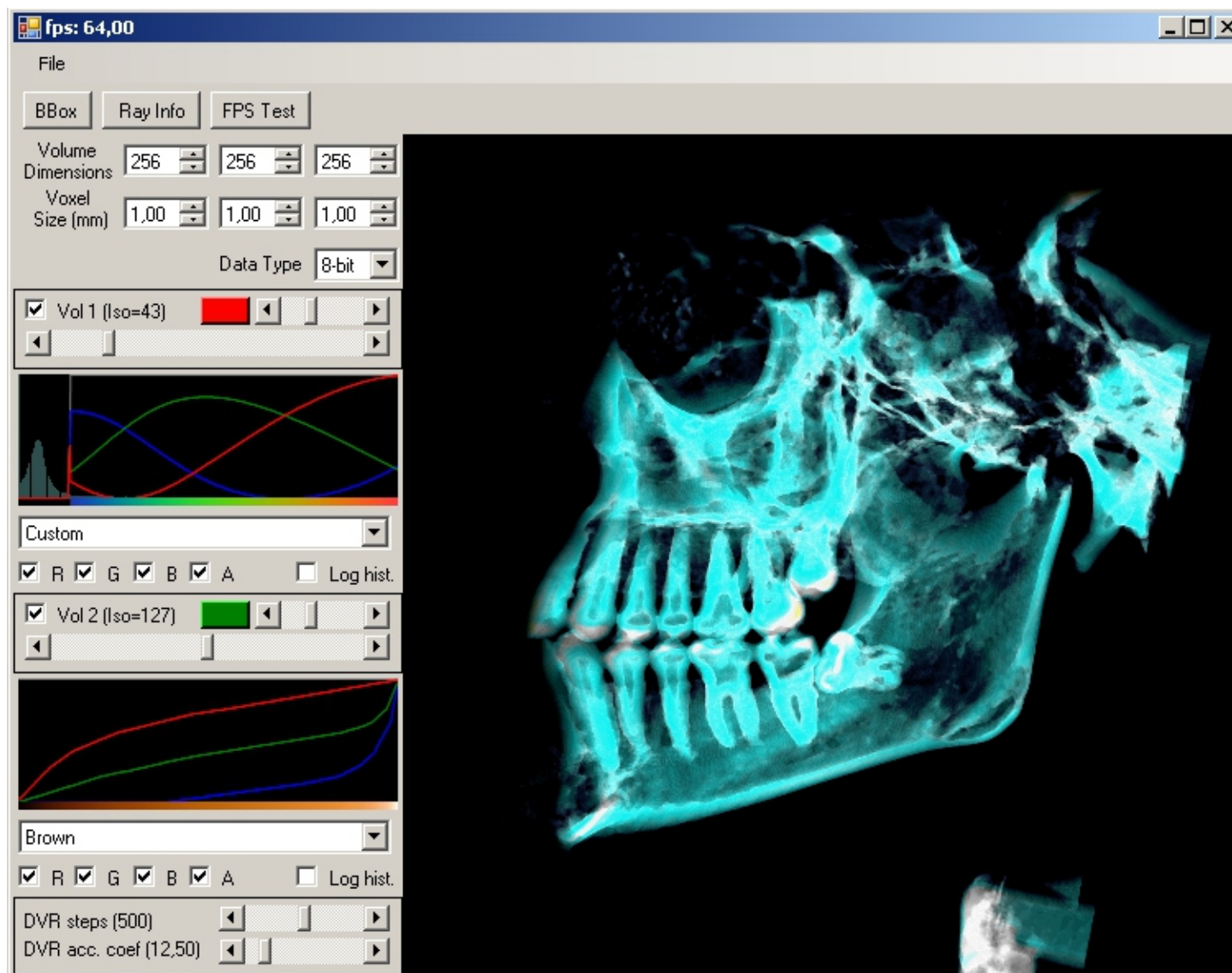


- ♦ obrázek může obsahovat více informací, ale je závislý na úhlu pohledu
- ♦ **V-buffer, „Splatting“**
 - konstrukce poloprůhledného zobrazení průchodem scény zepředu dozadu
- ♦ **„Texture slicing“ (GPU)**
 - rozklad objemu na mnoho rovnoběžných destiček, GPU textury
- ♦ **metody vrhání paprsku**
 - simulace rozptylu světla v poloprůhledném prostředí
 - Integrace apod. podél dráhy paprsku

Ukázky přímé vizualizace



Přímá vizualizace – přechodové fce



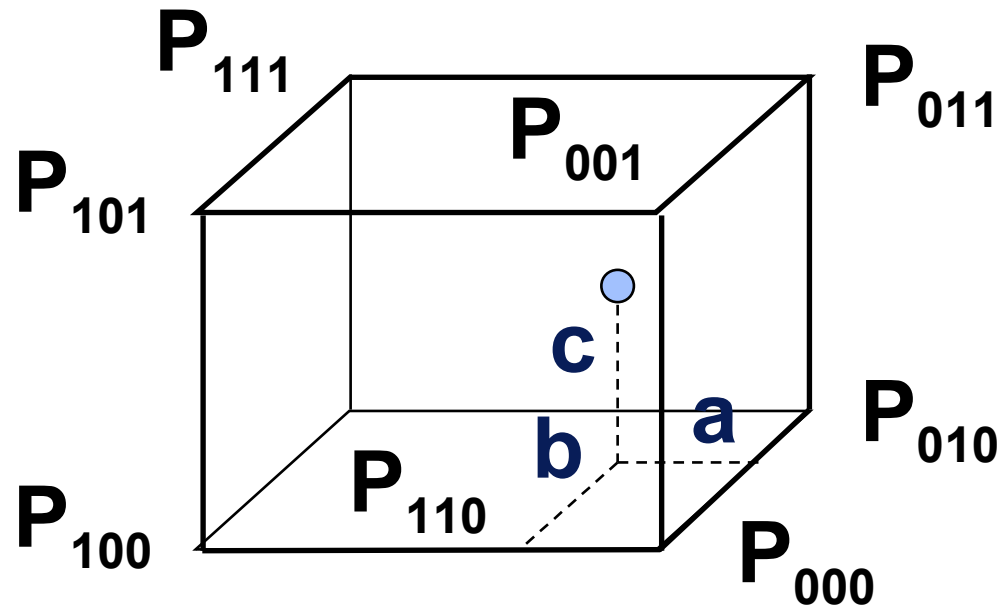


Interpolace v buňkách

- ◆ **polynomiální interpolace a aproximace**
 - pro topologicky pravidelné mřížky
- **trilineární interpolace**
 - jednoduchý výpočet, není hladká
- **trikvadratická nebo trikubická aproximace**
 - hladké, ale vyžadují topologickou pravidelnost
- ◆ **radiální aproximace**
 - vhodná i pro topologicky nepravidelná data



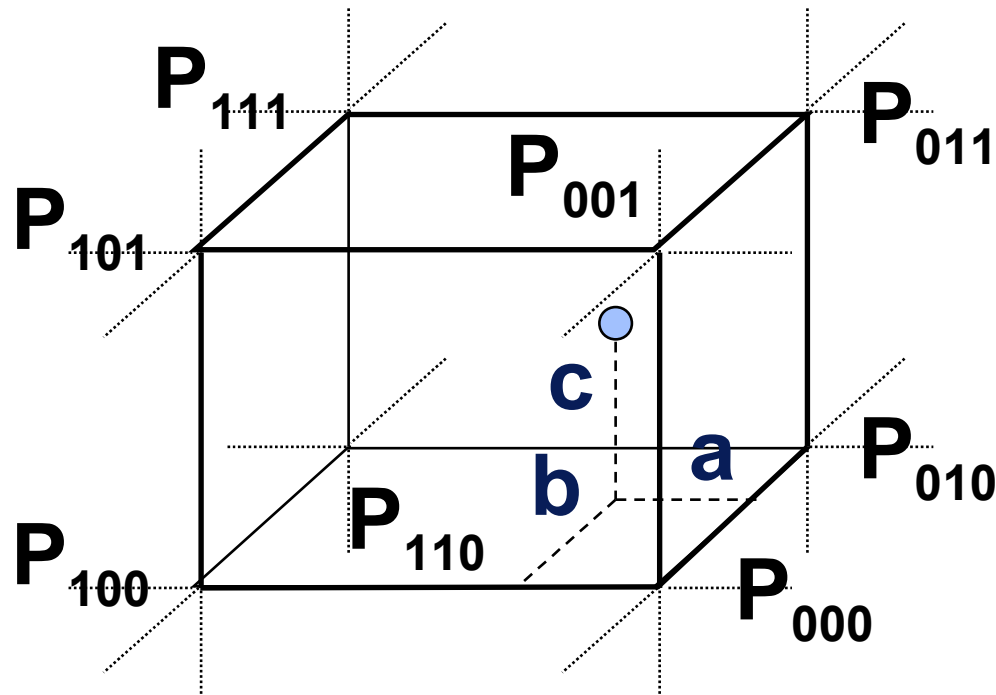
Trilineární interpolace



$$\begin{aligned} P(a, b, c) = & (1-a) \left\{ \left((1-b) \left[(1-c) P_{000} + c P_{001} \right] + \right) \right. \\ & \left. + b \left[(1-c) P_{010} + c P_{011} \right] \right\} + \\ & + a \left\{ \left((1-b) \left[(1-c) P_{100} + c P_{101} \right] + \right) \right. \\ & \left. + b \left[(1-c) P_{110} + c P_{111} \right] \right\} \end{aligned}$$



Trikubická aproximace

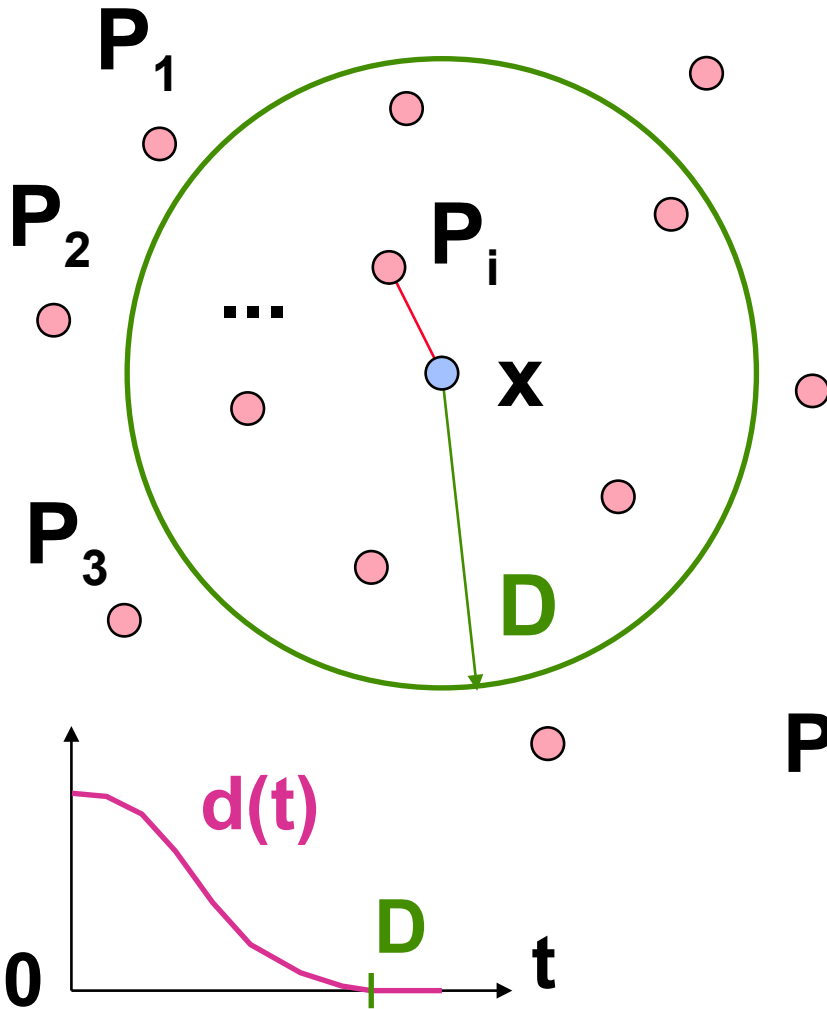


kubické
váhové
funkce

$$P(a, b, c) = \sum_{i,j,k=-1}^2 B_{i+1}(a) B_{j+1}(b) B_{k+1}(c) \cdot P_{ijk}$$



Radiální aproximace



váhová funkce
(nulová pro $t > D$)

$$P(\mathbf{x}) = \frac{\sum_{i=1}^N \underline{d(\|\mathbf{x} - P_i\|)} \cdot f(P_i)}{\sum_{i=1}^N \underline{d(\|\mathbf{x} - P_i\|)}}$$



Typy průchodu

- ◆ **průchod daty (scénou):**
 - jednodušší implementace
 - průmět některých elementů může být zanedbatelný
- ◆ **zezadu-dopředu**
 - uživatel si během výpočtu může prohlížet vzdálenější partie datového pole
- ◆ **zepředu-dozadu**
 - nemusí být nutné procházet celé datové pole (zadní elementy již nemají vliv na výsledný obrázek)



Typy průchodu

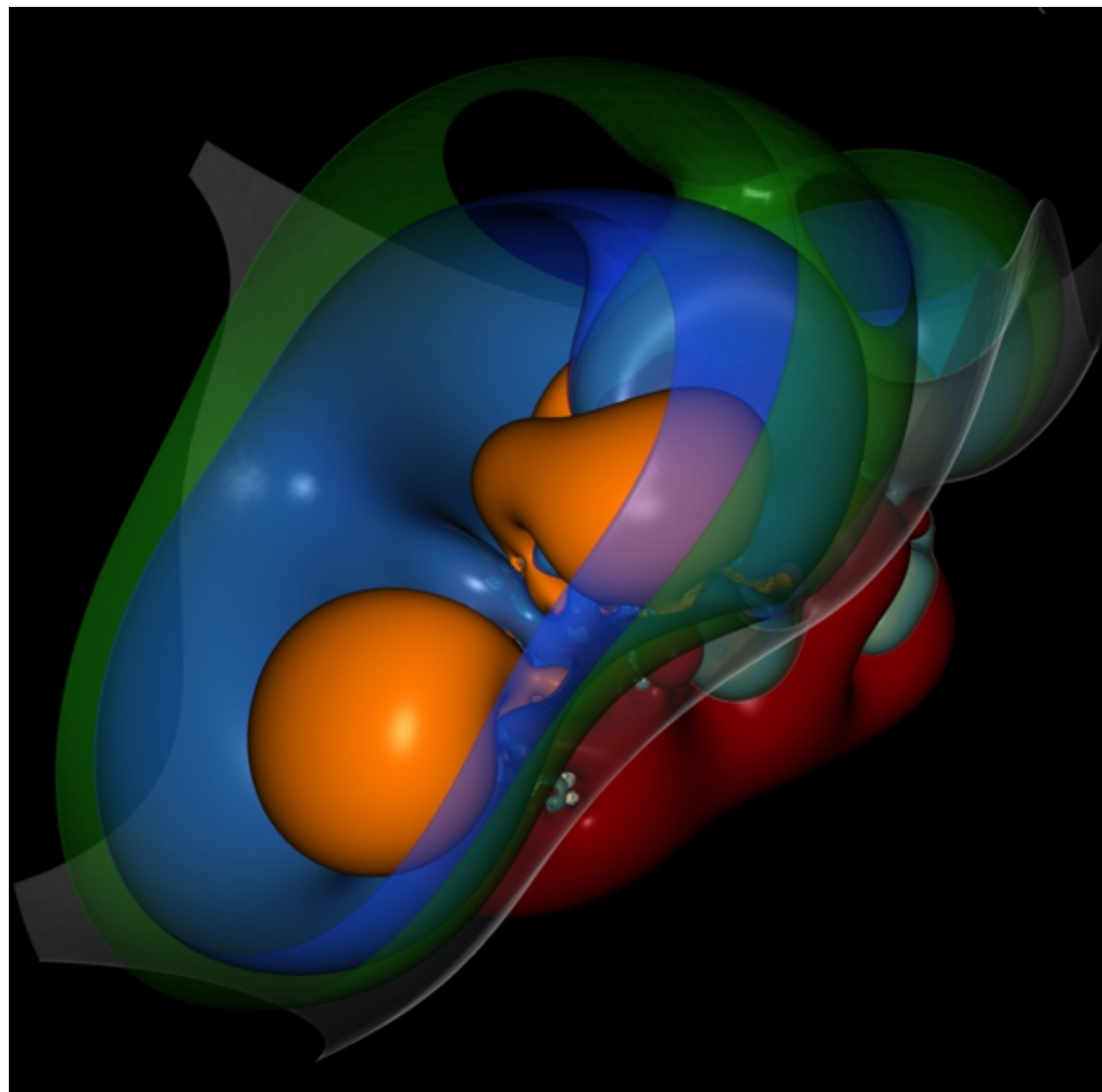
- ◆ **průchod průmětnou:**
 - buňky procházím mnohokrát (pomalejší výpočet)
 - důležité části vzorkuji hustě
- **zezadu-dopředu**
 - jednodušší implementace integrálního výpočtu
- **zepředu-dozadu**
 - nemusím počítat celý paprsek (zastavím se na podprahové hodnotě důležitosti)

Fotorealismus



- ◆ nemusí být nejdůležitější, hlavní je **názornost zobrazení**
 - člověk je však zvyklý na některé fyzikální vlastnosti látek
- „zářící mlha”
 - poloprůhledná neizotropní látka, která světelné paprsky vyzařuje a zároveň pohlcuje
- **stínování ploch**
 - jednoduchý světelný model; gradientní výpočet **N**

Názornost, ilustrace





Gradientní stínování

- ♦ výpočet fiktivního **normálového vektoru** jako gradientu zobrazované funkce
- ➔ aproximace gradientu pomocí **konečných diferencí**:

$$\nabla P_{ijk} \cong \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \left(P_{i+1,j,k} - P_{i-1,j,k} \right), \\ \frac{1}{2} \left(P_{i,j+1,k} - P_{i,j-1,k} \right), \\ \frac{1}{2} \left(P_{i,j,k+1} - P_{i,j,k-1} \right) \end{bmatrix}$$

Literatura



- ◆ T. Elvins: *A Survey of Algorithms for Volume Visualization*, Computer Graphics, vol.26, #3, August 1992, 194-201
- ◆ Hansen C. D., Johnson, C. R.: *Visualization Handbook*, Academic Press, 2005