

## Automatické generování hexa sítí

Marie Sadowská & Kristina Motyčková

KAM, IT4I

IT4I

motivace:

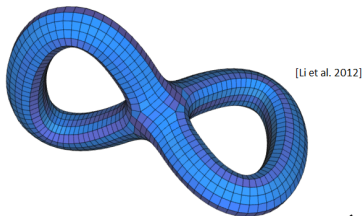
(plně) automatické a robustní vygenerování hexa sítě je stále open problem, navzdory 30-letému úsilí vědecké komunity

Hexa(hedrální) síť = objemová síť z hexahedronů (obecně nekonvexních)

- méně elementů než tetra síť (tj. kratší solution time)
- dobrá přesnost
- vhodné zejména pro jednodušší geometrie

Hexa(hedrální) síť = objemová síť z hexahedronů (obecně nekonvexních)

- méně elementů než tetra síť (tj. kratší solution time)
- dobrá přesnost
- vhodné zejména pro jednodušší geometrie



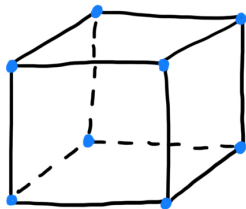
### **Hexahedral Elements**

#### *Pros*

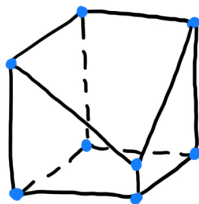
- Very good accuracy.
- The mesh looks aesthetically pleasing to the eye.
- Reduced solver time.
- Less demanding on hardware. Ideal for lower specification workstations.

Hexa(hedrální) síť = objemová síť z hexahedronů (obecně nekonvexních)

- méně elementů než tetra síť (tj. kratší solution time)
- dobrá přesnost
- vhodné zejména pro jednodušší geometrie
- metrika kvality: Scaled Jacobian  $SJ \in \langle 0.5, 1 \rangle$



krychle:  $SJ = 1$



$SJ \ll 1$

## Metoda: deformace na PolyCube

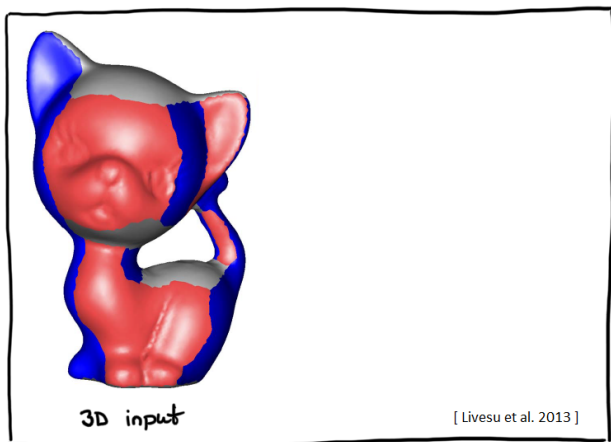
J. Gregson, A. Sheffer, E. Zhang: *All-Hex Mesh Generation via Volumetric PolyCube Deformation*, Computer Graphics Forum (2011)

**PolyCube** = jednoduchá reprezentace 3D objektu pomocí sjednocení kvádrů

## Metoda: deformace na PolyCube

J. Gregson, A. Sheffer, E. Zhang: *All-Hex Mesh Generation via Volumetric PolyCube Deformation*, Computer Graphics Forum (2011)

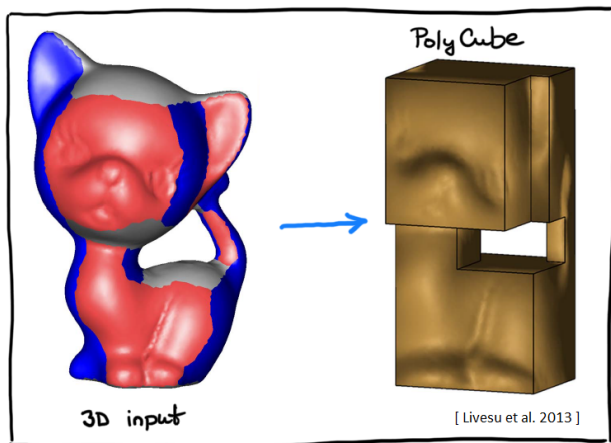
**PolyCube** = jednoduchá reprezentace 3D objektu pomocí sjednocení kvádrů



## Metoda: deformace na PolyCube

J. Gregson, A. Sheffer, E. Zhang: *All-Hex Mesh Generation via Volumetric PolyCube Deformation*, Computer Graphics Forum (2011)

**PolyCube** = jednoduchá reprezentace 3D objektu pomocí sjednocení kvádrů

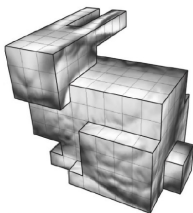


## Bunny ear dilemma

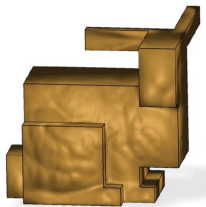


"The necessary & sufficient set of topological conditions on PolyCube validity remains unknown".

[Eppstein+Mumford 2010]



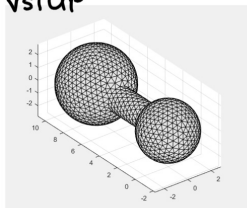
[Tanni et al. 2004]



[Livesu et al. 2013]

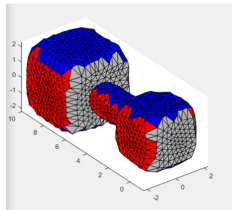
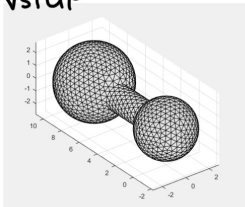


vstup



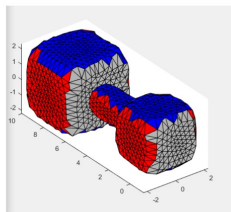
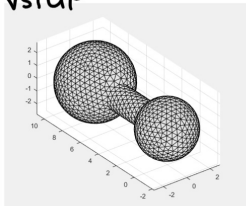
izotropní tet-mesh

vstup

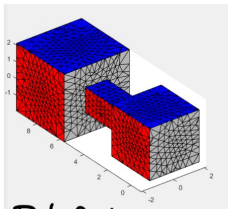


izotropní tet-mesh

vstup

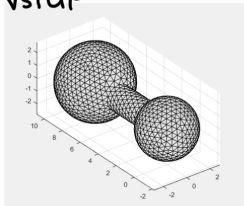


izotropní tet-mesh

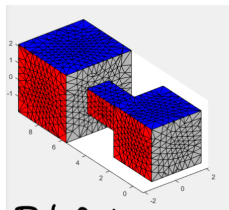
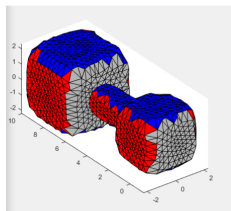


PolyCube

VSTUP

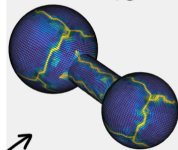


izotropní tet-mesh



PolyCube

VÝSTUP



mesh improvement!

## Rotace hran

① chceme zarovnat normály  
povrchových uzlů ← kvaterniony

$s \pm x, \pm y, \pm z$

## Rotace hran

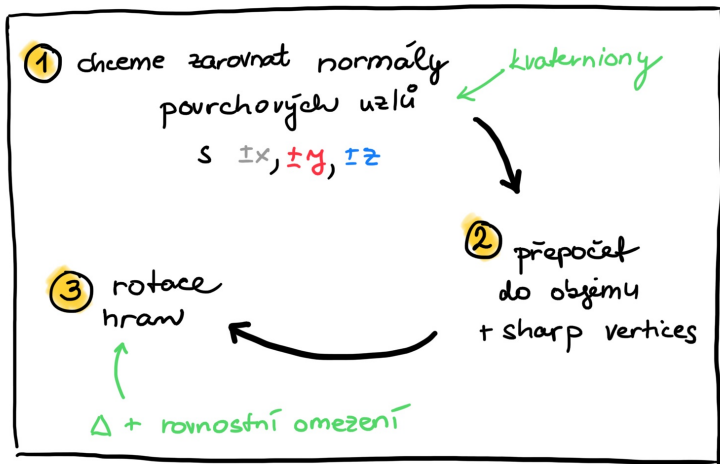
① chceme zarovnat normály  
povrchových uzlů

$s \pm x, \pm y, \pm z$

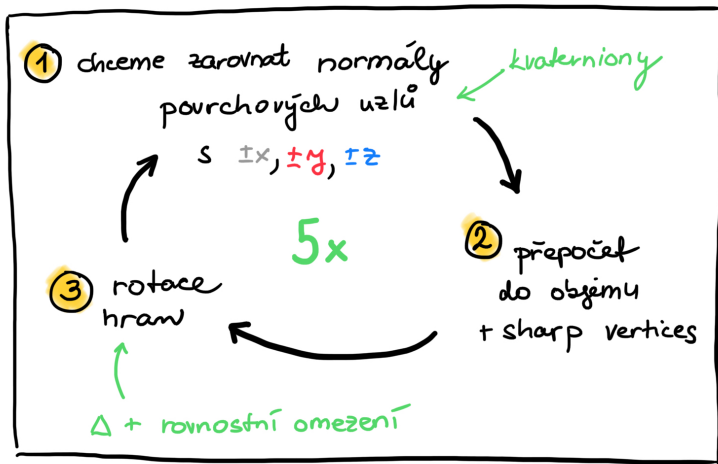
kvaterniony

② přepočít  
do objemu  
+ sharp vertices

## Rotace hran



## Rotace hran





3D rotace

|||

sendvičové násobení jednotkovým kvaternionem

## 3D rotace

III

sendvičové násobení jednotkovým kvaternionem

$$q = (s, \vec{v})$$

$\mathbb{R}$   
 $\mathbb{R}^3$

číselná část      vektorová část

## 3D rotace

III

sendvičové násobení jednotkovým kvaternionem

$$q = \left( \overset{\mathbb{R}}{\underset{\mathbb{U}}{s}}, \overset{\mathbb{R}^3}{\underset{\mathbb{U}}{v}} \right)$$

číselná část      vektorová část

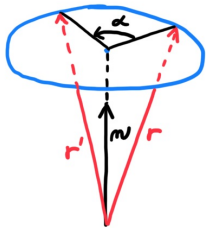
**SOUČIN:**  $(s_1, v_1) * (s_2, v_2) = (s_1 s_2 - v_1 v_2, v_1 \times v_2 + s_1 v_2 + s_2 v_1)$

**KONJUGOVANÝ KVATERNION:**  $\bar{q} = (s_1, -v)$

## 3D rotace

III

sendvičové násobení jednotkovým kvaternionem

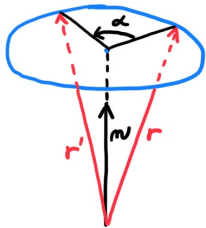


## 3D rotace

|||

sendvičové násobení jednotkovým kvaternionem

$$q = \left( \cos \frac{\alpha}{2}, n \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right), \quad \|n\|=1, \quad \alpha \in \langle 0, \pi \rangle$$

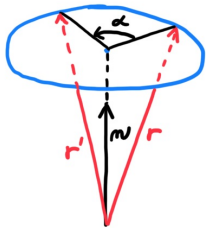


## 3D rotace

|||

sendvičové násobení jednotkovým kvaternionem

$$q = \left( \cos \frac{\alpha}{2}, n \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \right), \quad \|n\|=1, \quad \alpha \in \langle 0, \pi \rangle$$



$$(0, r') = q * (0, r) * \bar{q}$$

Kvaterniony  $\left\{ \begin{array}{l} \text{uzli na povrchu} \checkmark \\ \text{objemových uzli} ? \end{array} \right.$

Kvaterniony  $\left\{ \begin{array}{l} \text{uzli na povrchu} \checkmark \\ \text{objemových uzli} ? \end{array} \right.$

LERP:

$$q_i = \sum_{j \in N_i} w_j q_j$$

$$w_j = \frac{1}{L_{ij}}$$



Kvaterniony  $\left\{ \begin{array}{l} \text{uzlů na povrchu} \checkmark \\ \text{objemových uzlů} \text{ ?} \end{array} \right.$

LERP:

$$q_i = \frac{1}{\sum_{k \in N_i} w_k} \sum_{j \in N_i} w_j q_j$$

$$) w_j = \frac{1}{e_{ij}}$$

Kvaterniony  $\left\{ \begin{array}{l} \text{uzlu na povrchu} \checkmark \\ \text{objemových uzlu} ? \end{array} \right.$

LERP:

$$q_i - \frac{1}{\sum_{k \in N_i} w_k} \sum_{j \in N_i} w_j q_j = 0 \quad , \quad w_j = \frac{1}{\epsilon_{ij}}$$

Kvaterniony  $\left\{ \begin{array}{l} \text{uzlů na povrchu} \checkmark \\ \text{objemových uzlů} \text{ ?} \end{array} \right.$

$$AQ = 0 \text{ s omezením } BQ = S$$

$$A \cdot \begin{array}{|c|} \hline \text{ } \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline \sigma & \sigma & \sigma \\ \hline \end{array}$$

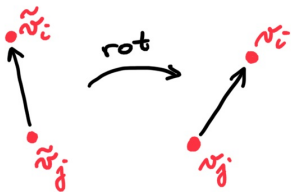
povrchové kvaterniony

Kvaterniony  $\left\{ \begin{array}{l} \text{uzli na povrchu} \checkmark \\ \text{objemových uzli} \checkmark \end{array} \right.$

rotace ?

Kvaterniony  $\left\{ \begin{array}{l} \text{uzli na povrchu} \checkmark \\ \text{objemovych uzli} \checkmark \end{array} \right.$

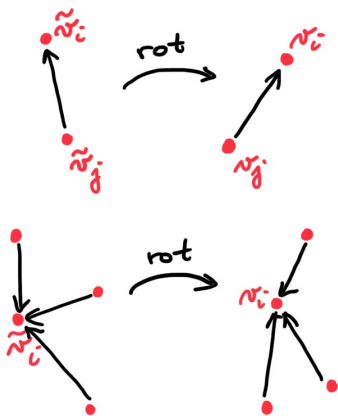
rotace ?



$$r_i - r_j = \frac{\nabla_i + \nabla_j}{2} (\tilde{r}_i - \tilde{r}_j)$$

Kvaterniony  $\left\{ \begin{array}{l} \text{uzlů na povrchu} \checkmark \\ \text{objemových uzlů} \checkmark \end{array} \right.$

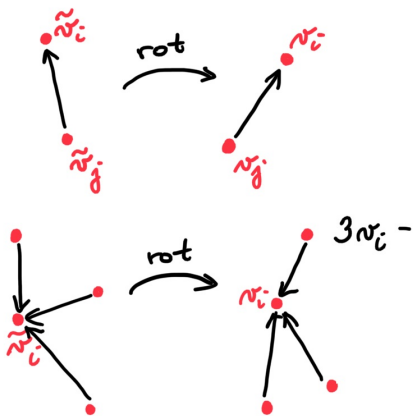
rotace ?



$$r_i - r_j = \frac{\nabla_i + \nabla_j}{2} (\tilde{r}_i - \tilde{r}_j)$$

Kvaterniony  $\left\{ \begin{array}{l} \text{uzlů na povrchu} \checkmark \\ \text{objemových uzlů} \checkmark \end{array} \right.$

rotace ?

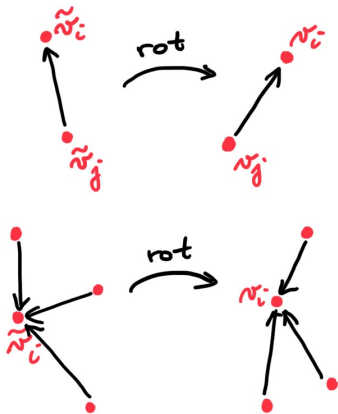


$$n_i - n_j = \frac{\nabla_i + \nabla_j}{2} (\tilde{n}_i - \tilde{n}_j)$$

$$\sum_{j \in N_i} n_j = \sum_{j \in N_i} \frac{\nabla_i + \nabla_j}{2} (\tilde{n}_i - \tilde{n}_j)$$

Kvaterniony  $\left\{ \begin{array}{l} \text{uzlů na povrchu} \checkmark \\ \text{objemových uzlů} \checkmark \end{array} \right.$

rotace ?



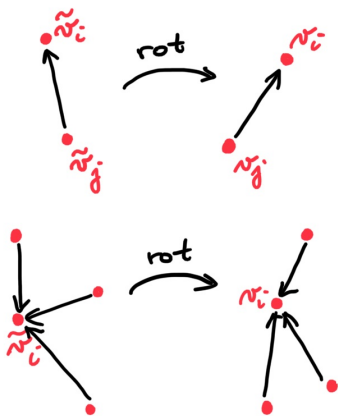
$$r_i - r_j = \frac{\nabla_i + \nabla_j}{2} (\tilde{r}_i - \tilde{r}_j)$$

$$r_i - \frac{1}{3} \sum_{j \in N_i} r_j = \frac{1}{3} \sum_{j \in N_i} \frac{\nabla_i + \nabla_j}{2} (\tilde{r}_i - \tilde{r}_j)$$



Kvaterniony  $\left\{ \begin{array}{l} \text{uzlů na povrchu} \checkmark \\ \text{objemových uzlů} \checkmark \end{array} \right.$

rotace ?



$$r_i - r_j = \frac{\nabla_i + \nabla_j}{2} (\tilde{r}_i - \tilde{r}_j)$$

$$r_i - \frac{1}{|N_i|} \sum_{j \in N_i} r_j = \frac{1}{|N_i|} \sum_{j \in N_i} \frac{\nabla_i + \nabla_j}{2} (\tilde{r}_i - \tilde{r}_j)$$

Kvaterniony  $\left\{ \begin{array}{l} \text{uzlů na povrchu} \checkmark \\ \text{objemových uzlů} \checkmark \end{array} \right.$

rotace ?

$RV = C$  s omezením: stačí ukotvit  
1 vrchol, aby byla  
soustava řešitelná

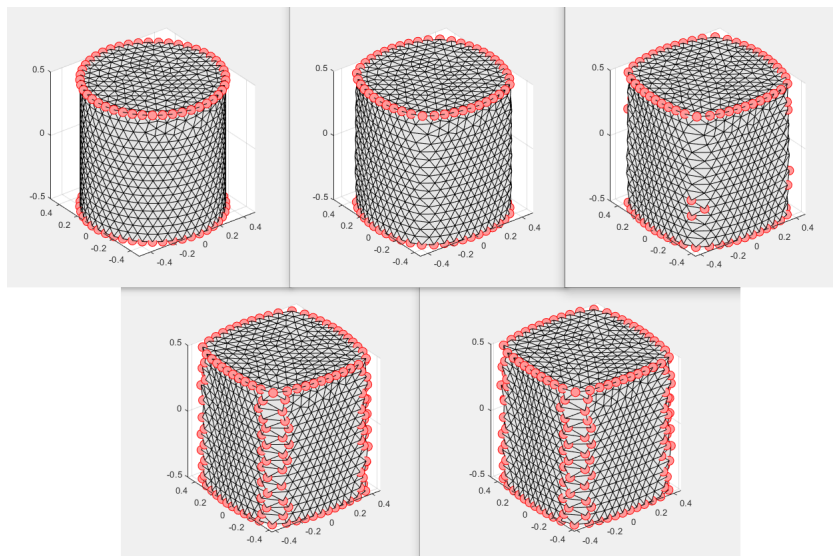
$$\boxed{R} \cdot \begin{array}{|c|} \hline \text{ } \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{ } \\ \hline \end{array}$$

↑ souřadnice zrotovaných  
vrcholů

Kvaterniony  $\left\{ \begin{array}{l} \text{uzli na povrchu} \checkmark \\ \text{objemových uzli} \checkmark \end{array} \right.$

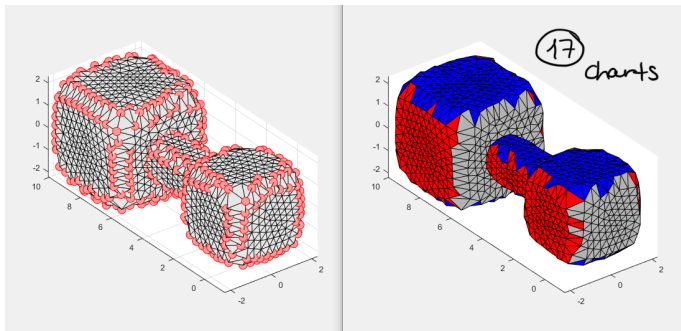
rotace  $\checkmark$

# Rotace hran



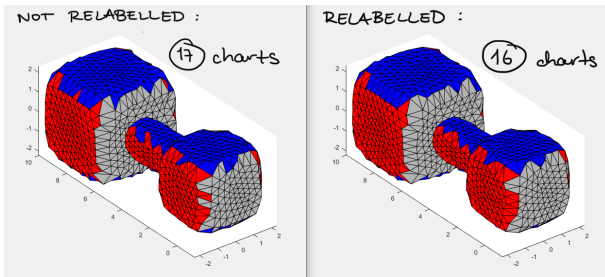
# Labelling povrchových dílků

1) labels → charts

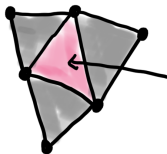


# Labelling povrchových dílků

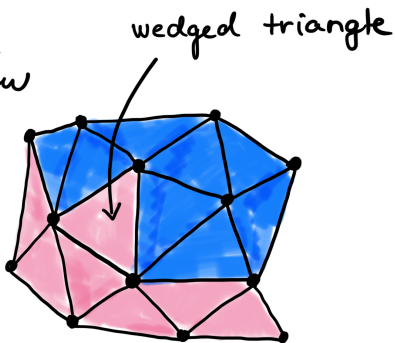
- 1) labels  $\rightarrow$  charts
- 2) relabelling: vyhlazení a redukce počtu charts
  - zmenšení zubatosti charts
  - odstranění falešných charts



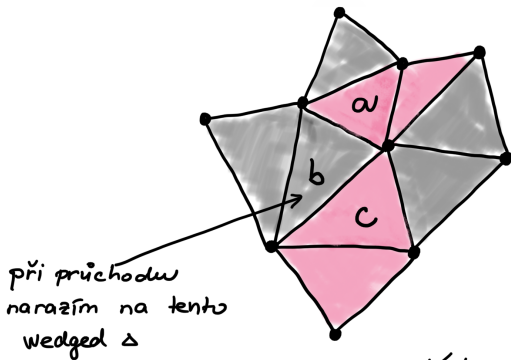
## zmenšení zubatosti hran charts



přebarvíme  
na šedou



## zmenšení zubatosti hran charts

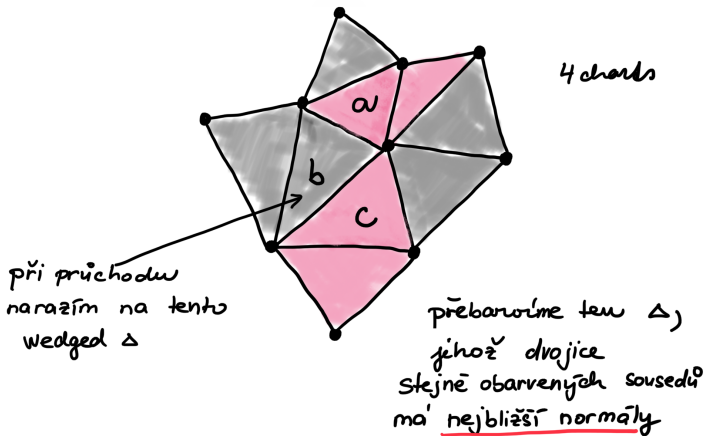


4 chords

otázka : přebarvit a?  
b?  
c?



## zmenšení zubatosti hran charts



## falešné charts

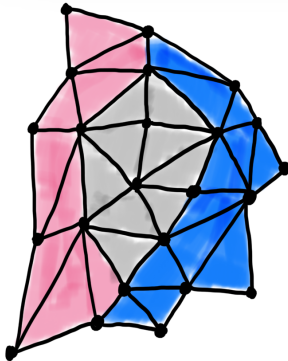
- jsou obklopeny jedinou chart



tuto chart  
sledujeme s obklopující

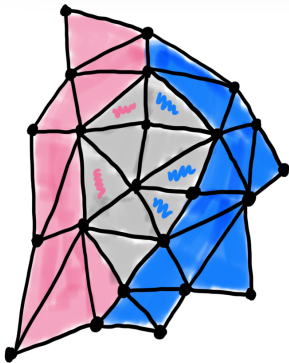
## falešné charts

- jsou obklopeny jedinou chart
- jsou obklopeny dvěma charts



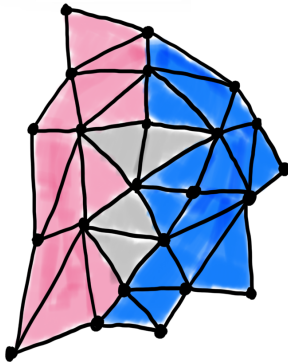
## falešné charts

- jsou obklopeny jedinou chart
- jsou obklopeny dvěma charts



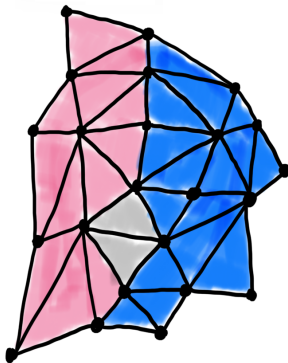
## falešné charts

- jsou obklopeny jedinou chart
- jsou obklopeny dvěma charts



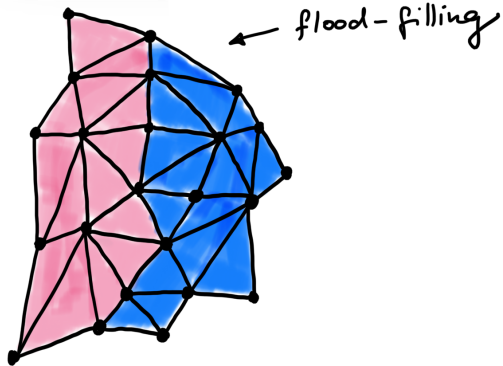
## falešné charts

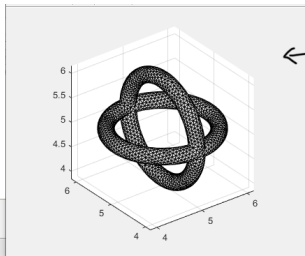
- jsou obklopeny jedinou chart
- jsou obklopeny dvěma charts



## falešné charts

- jsou obklopeny jedinou chart
- jsou obklopeny dvěma charts





← vstupní  
objekt

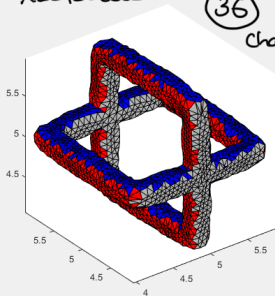
Figure 2

File Edit View Insert Tools Desktop Window



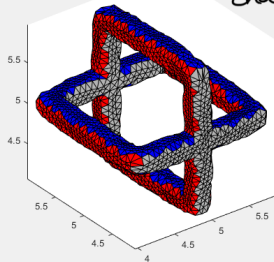
NOT RELABELLED:

(36)  
charts



RELABELLED:

(20)  
charts





## Planar charts

① narovnáni charts

↑  
rotace hran s  $\ominus$  omezením

## Planar charts

① narovnáni charts

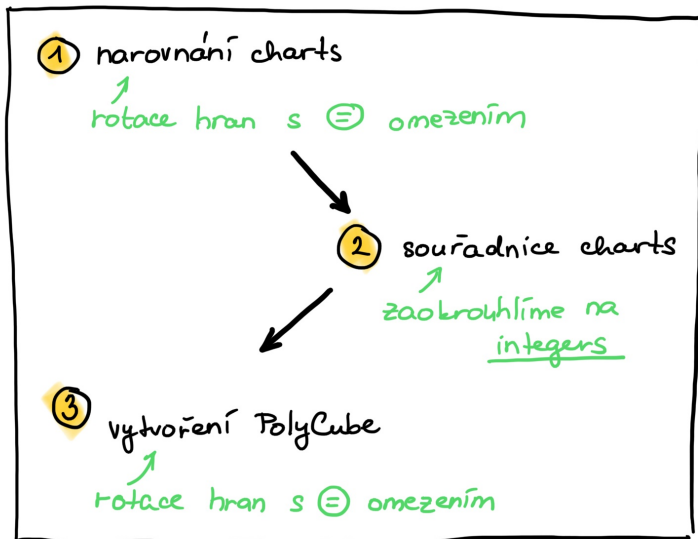
↑  
rotace hran s  $\epsilon$  omezením



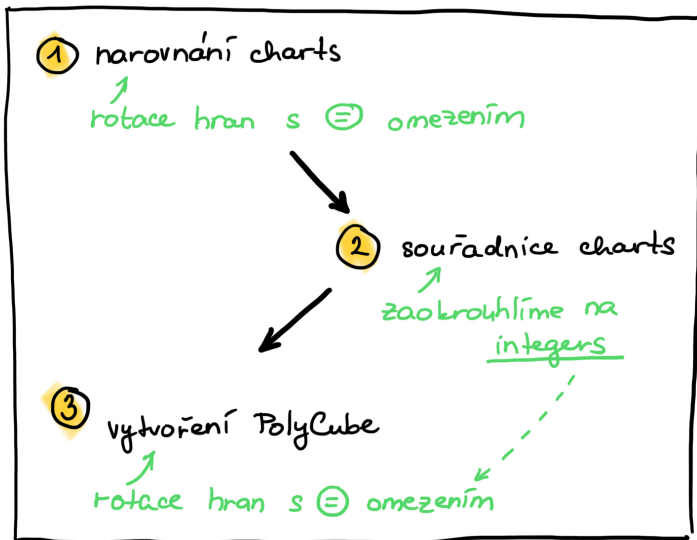
② souřadnice charts

↑  
zaokrouhlíme na  
integers

## Planar charts



# Planar charts



## Planar charts

výpočet kvaternionů  
+  
rotation step

## Planar charts

výpočet kvaternionů  
+  
rotation step

$$R \cdot \begin{matrix} P_x P_y P_z \\ | \\ | \\ | \end{matrix} = \begin{matrix} C_x C_y C_z \\ | \\ | \\ | \end{matrix}$$

## Planar charts

výpočet kvaternionů  
+  
rotation step

$$\begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_x \\ c_y \\ c_z \end{bmatrix}$$

## Planar charts

výpočet kvaternionů  
+  
rotation step

$$\begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_x \\ c_y \\ c_z \end{bmatrix}$$

s omezením

$$\begin{bmatrix} B_{\text{charts}} \\ \hline B_{\text{Dirichlet}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma \\ \hline d_{\text{Dirichlet}} \end{bmatrix}$$



## Planar charts

výpočet kvaternionů  
+  
rotation step

$$\begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_x \\ c_y \\ c_z \end{bmatrix}$$

s omezením

$$\begin{bmatrix} B_{\text{charts}} \\ \hline B_{\text{Dirichlet}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma \\ \hline d_{\text{Dirichlet}} \end{bmatrix}$$

úchycení v 1 ose

## Planar charts

výpočet kvaternionů  
+  
rotation step

$$\begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_x \\ c_y \\ c_z \end{bmatrix}$$

s omezením

$$\begin{bmatrix} \rightarrow B_{charts} \\ \hline B_{dirichlet} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma \\ \hline d_{dirichlet} \end{bmatrix}$$

- pro každou chart zafixuje daný souřadný směr

## Planar charts

výpočet kvaternionů  
+  
rotation step

$$\begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_x \\ c_y \\ c_z \end{bmatrix}$$

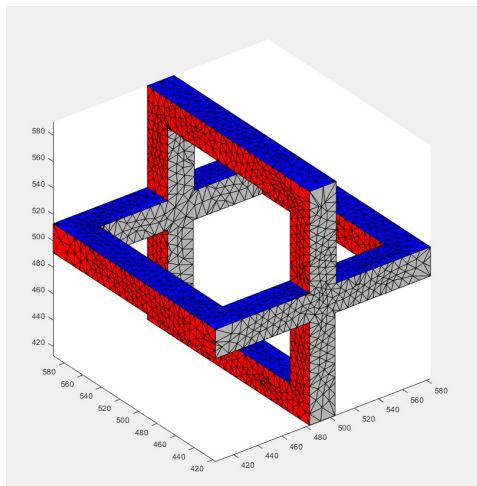
s omezením

$$\begin{bmatrix} \rightarrow B_{charts} \\ B_{dirichlet} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma \\ d_{dirichlet} \end{bmatrix}$$

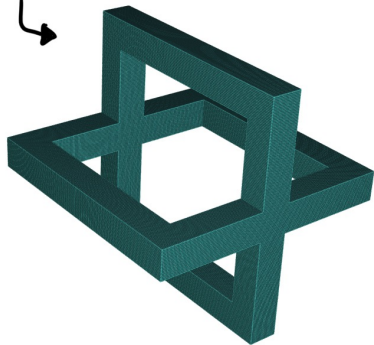
- pro každou chart zafixuje daný souřadný směr
- vytáhneme si uzly dané chart a „řetězově“ svážeme

# Hex-mesh na PolyCube

- corners → hrany → faces → objem

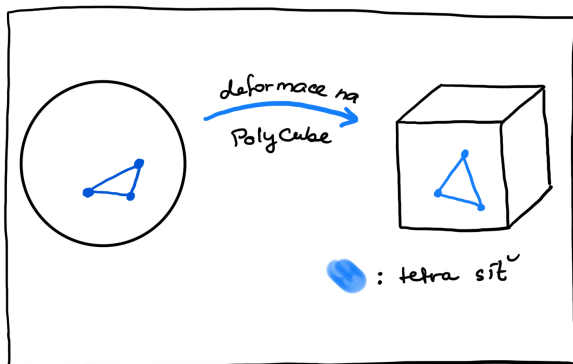


hexa síť v integer mřížce



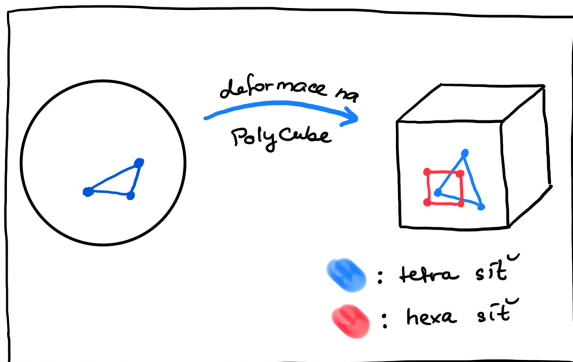
## Mapping na vstupní objekt

- indexace tetra uzlů PolyCube do Octree struktury
- barycentrické souřadnice + stejná konektivita tetra uzlů



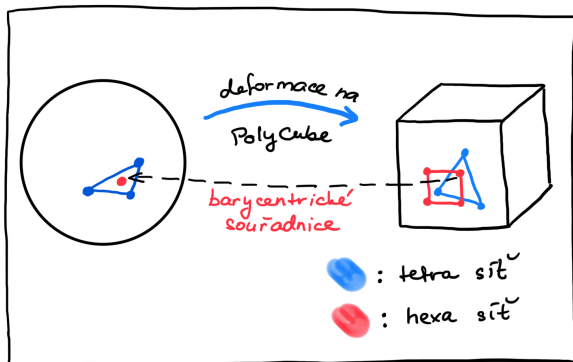
## Mapping na vstupní objekt

- indexace tetra uzlů PolyCube do Octree struktury
- barycentrické souřadnice + stejná konektivita tetra uzlů



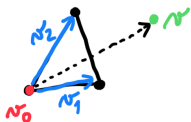
## Mapping na vstupní objekt

- indexace tetra uzlů PolyCube do Octree struktury
- barycentrické souřadnice + stejná konektivita tetra uzlů



# Barycentrické souřadnice

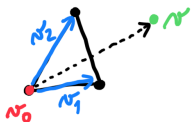
2D :





# Barycentrické souřadnice

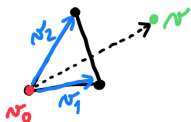
2D :



$$r - r_0 = a \cdot r_1 + b \cdot r_2$$

# Barycentrické souřadnice

2D :



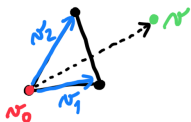
$$r - r_0 = a \cdot r_1 + b \cdot r_2$$

$\hat{=}$

$$\begin{bmatrix} r_1 & r_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r - r_0 \end{bmatrix}$$

# Barycentrické souřadnice

2D :



$$v - v_0 = a \cdot v_1 + b \cdot v_2$$

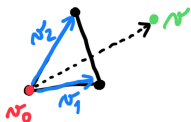
$\hat{=}$

$$\begin{bmatrix} v_1 & v_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v - v_0 \end{bmatrix}$$

vyřešíme  
Cramerovým  
pravidlem

# Barycentrické souřadnice

2D :



$$v - v_0 = a \cdot n_1 + b \cdot n_2$$

$\hat{=}$

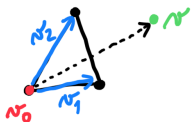
$$\begin{bmatrix} n_1 & n_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v - v_0 \end{bmatrix}$$

vyřešíme  
Cramerovým  
pravidlem

$$\text{platí: } (a, b \geq 0 \wedge a + b \leq 1)$$

# Barycentrické souřadnice

2D :



$$v - v_0 = a \cdot n_1 + b \cdot n_2$$

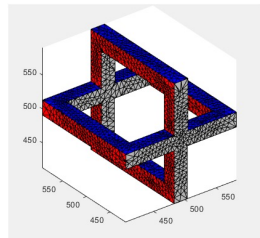
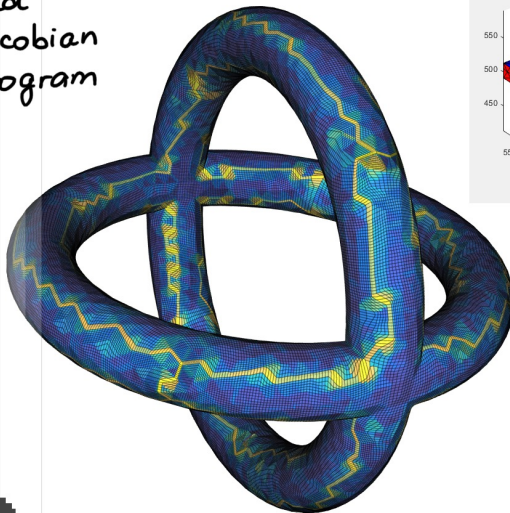
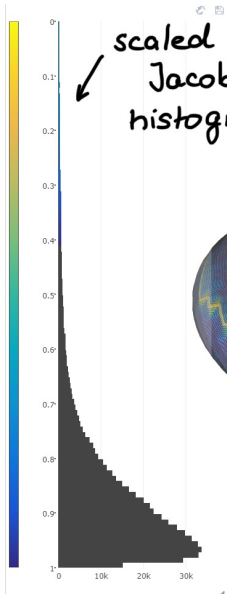
$\Leftrightarrow$

$$\begin{bmatrix} n_1 & n_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v - v_0 \end{bmatrix}$$

vyřešíme  
Cramerovým  
pravidlem

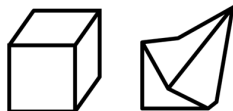
platí:  $(a, b \geq 0 \wedge a + b \leq 1) \Rightarrow$

$\Rightarrow v$  leží uvnitř / na hranici  $\Delta$



## Alternativní metriky pro měření kvality hexa sítě

- ideální hex je **perfektní krychle**
- jeden špatný hex může udělat celou síť nepoužitelnou



Druhy metrik:

Diagonal	Edge Ratio	Jacobian	Maximum Edge Ratio
Oddy	Relative Size Squared	Shape	Maximum Aspect Frobenius
Taper	<b>Scaled Jacobian</b>	Shear	Mean Aspect Frobenius
Skew	Shear and Size	Stretch	Shape and Size
Volume	Distortion	Dimension	etc.

Metriky mají důležité rozsahy a svou optimální hodnotu:

<b>acetable range</b> $\subset$	normal range $\subset$	full range
<b>valid</b>	degenerate	invalid

Uvádí se:

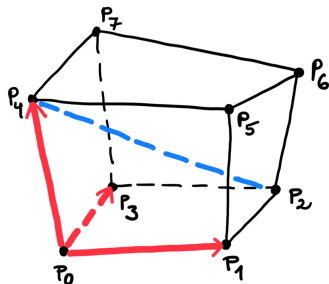
min value	max value	average value
-----------	-----------	---------------

# Scaled Jacobian

- optimální hodnota je 1

$$q = \min_{i \in \{0,1,\dots,8\}} \{\hat{\alpha}_i\}$$

$$\hat{\alpha}_i = \det \hat{\mathbf{A}}_i = \det \left( \frac{\mathbf{v}_{ik}}{\|\mathbf{v}_{ik}\|}, \frac{\mathbf{v}_{il}}{\|\mathbf{v}_{il}\|}, \frac{\mathbf{v}_{im}}{\|\mathbf{v}_{im}\|} \right)$$
$$= \frac{\mathbf{v}_{ik}}{\|\mathbf{v}_{ik}\|} \cdot \left( \frac{\mathbf{v}_{il}}{\|\mathbf{v}_{il}\|} \times \frac{\mathbf{v}_{im}}{\|\mathbf{v}_{im}\|} \right)$$

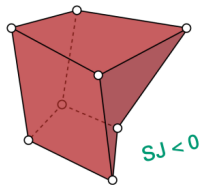
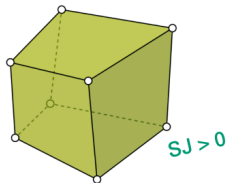
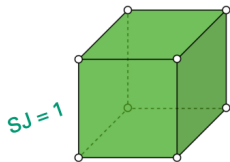


- Jacobian  $3 \times 3$  matrices:  $A_i = (\mathbf{v}_{ik}, \mathbf{v}_{il}, \mathbf{v}_{im})$
- e.g.  $A_0 = (P_1 - P_0, P_3 - P_0, P_4 - P_0)$ , přesně definované pořadí a směr



# Scaled Jacobian

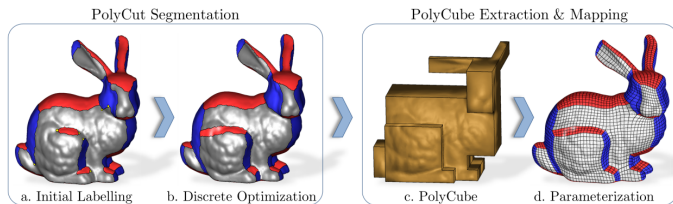
acceptable range $\subset$	normal range $\subset$	full range
$\langle 0.5, 1 \rangle$	$\langle -1, 1 \rangle$ (resp. $\langle 0, 1 \rangle$ )	$\langle -1, +\infty \rangle$




# PolyCut

- vylepšení segmentace - u složitějších tvarů nedostačuje

M. Livesu et al.: *PolyCut: Monotone Graph-Cuts for PolyCube Base-Complex Construction*, Transactions on Graphics (Proc. SIGGRAPH ASIA) (2013)



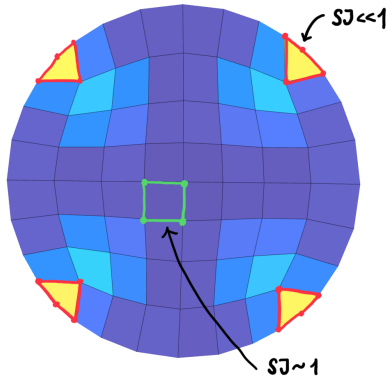
Scaled Jacobian	Gregson et al. 2011	Livesu et al. 2013	
min	0.196	0.259	
average	0.911	0.872	

# Mesh postprocessing

G. Cherchi: *Polycube Optimization and Applications: From the Digital World to Manufacturing* , Ph.D. Thesis, University of Cagliari (2019)

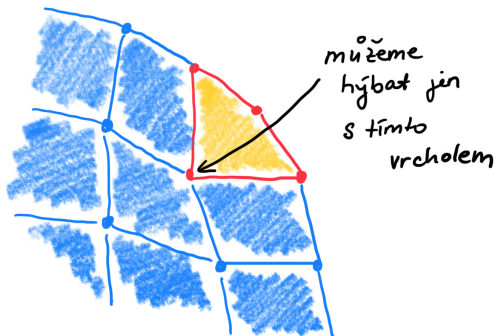
# Mesh postprocessing

G. Cherchi: *Polycube Optimization and Applications: From the Digital World to Manufacturing*, Ph.D. Thesis, University of Cagliari (2019)



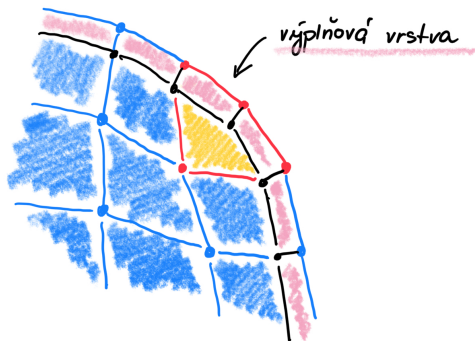
# Mesh postprocessing

G. Cherchi: *Polycube Optimization and Applications: From the Digital World to Manufacturing* , Ph.D. Thesis, University of Cagliari (2019)



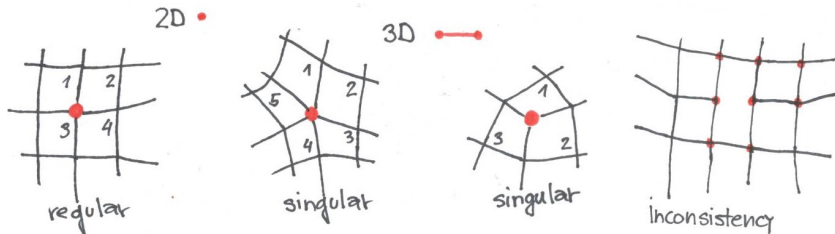
# Mesh postprocessing

G. Cherchi: *Polycube Optimization and Applications: From the Digital World to Manufacturing*, Ph.D. Thesis, University of Cagliari (2019)



# Mesh postprocessing

- GLOBAL vs. SELECTIVE padding
- počet nových dílků vs. počet singularit ✓, topologická konzistence ✓



## Mesh postprocessing

- Simple binary problem = vyplnit co nejméně facet

HF ... facety k vyplnění

E ... hrany, F... facety, H... hexy

$$\min E = E_{padding} + \lambda E_{complexity}$$

s.t.\*

↑ trade-off factor

$$E_{padding} = \sum_{f_i \in F \setminus HF} x_{f_i}$$

$$x_{f_i} = \begin{cases} 1 & \dots \text{vyplní} f_i \\ 0 & \dots \text{nevyplní} f_i \end{cases}$$

$$*: x_{f_i} = 1 \quad \forall f_i \in HF$$

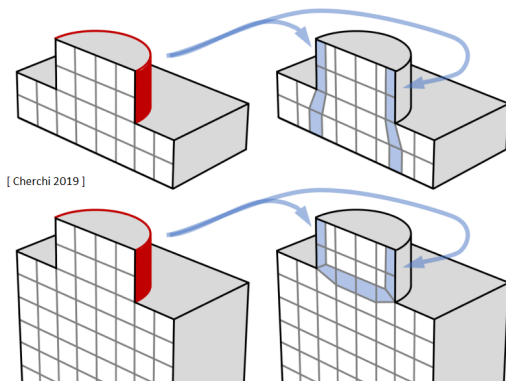
$$\sum_{f_i \in F(e_i)} x_{f_i} = 2k_i \quad \forall e_j \in E \setminus (E1H \cup E2H)$$

→ zaručí topologickou KONZISTENCI



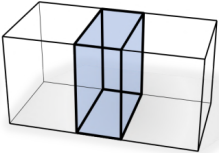
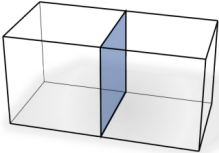
# Mesh postprocessing

- výplň jen tam, kde je to nutné



# Mesh postprocessing

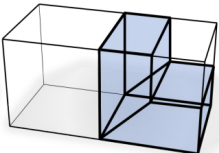
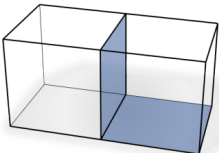
výplň  
1 facety



+1

výplň  
2 facety

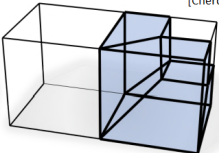
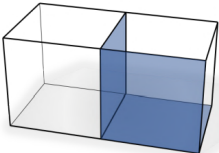
EDGE TURN



+2

výplň  
3 facety

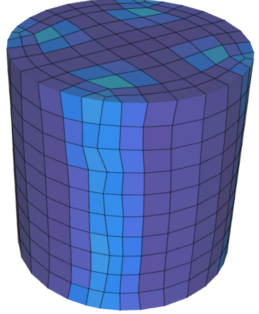
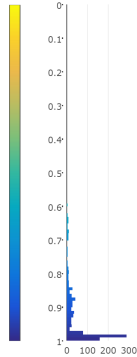
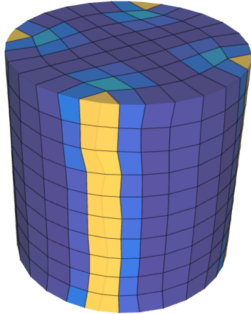
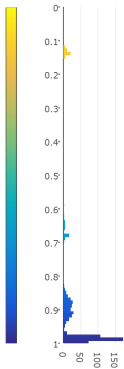
VERTEX TURN



+3

[Cherchi 2019]

# Mesh postprocessing



Mesh

Source

valec2.mesh 891 vertices, **640 hexas**

Quality

<b>Min:</b>	Max:	Avg:	Var:
<b>0.114</b>	0.998	0.885	0.045

"vyplněn  
plášť  
válece"

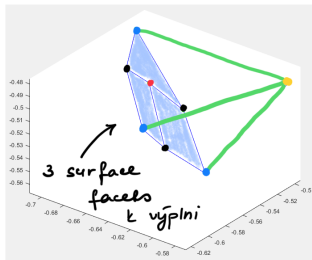
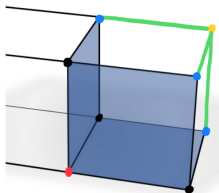
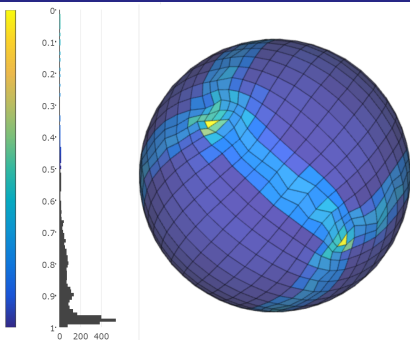
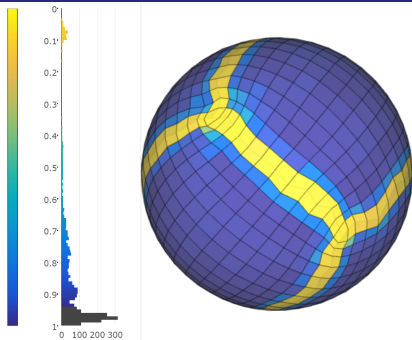
Mesh

Source

valec.mesh 1243 vertices, **960 hexas**

Quality

<b>Min:</b>	Max:	Avg:	Var:
<b>0.590</b>	0.998	0.932	0.007



## Reference

Web  
Marco Livesu

[pers.ge.imati.cnr.it/livesu](http://pers.ge.imati.cnr.it/livesu)

Web Gianmarco  
cherchi

[gianmarcocherchi.com](http://gianmarcocherchi.com)

SIGGRAPH 2022  
course - YT!

[youtube.com/watch?v=tJoEWWUBwiA](https://youtube.com/watch?v=tJoEWWUBwiA)

Hexalab  
viewer

[hexalab.net](http://hexalab.net)



P. Baque, E. Remelli, F. Fleuret, P. Fua :

*Geodesic Convolutional Shape Optimization*. Proceedings of the International Conference on Machine Learning (2018).



N. Pietroni, M. Campen, A. Sheffer, G. Cherchi, D. Bommes, X. Gao, R. Scateni, F. Ledoux, J. F. Remacle, M. Livesu:

*Hex-Mesh Generation and Processing: a Survey*. ACM Transactions on Graphics, 42 (2023), 2, pp. 1–44.

Díky za pozornost 😊