

## 2) priprava mreže 3D KE:

### ▪ prosto mreženje volumna:

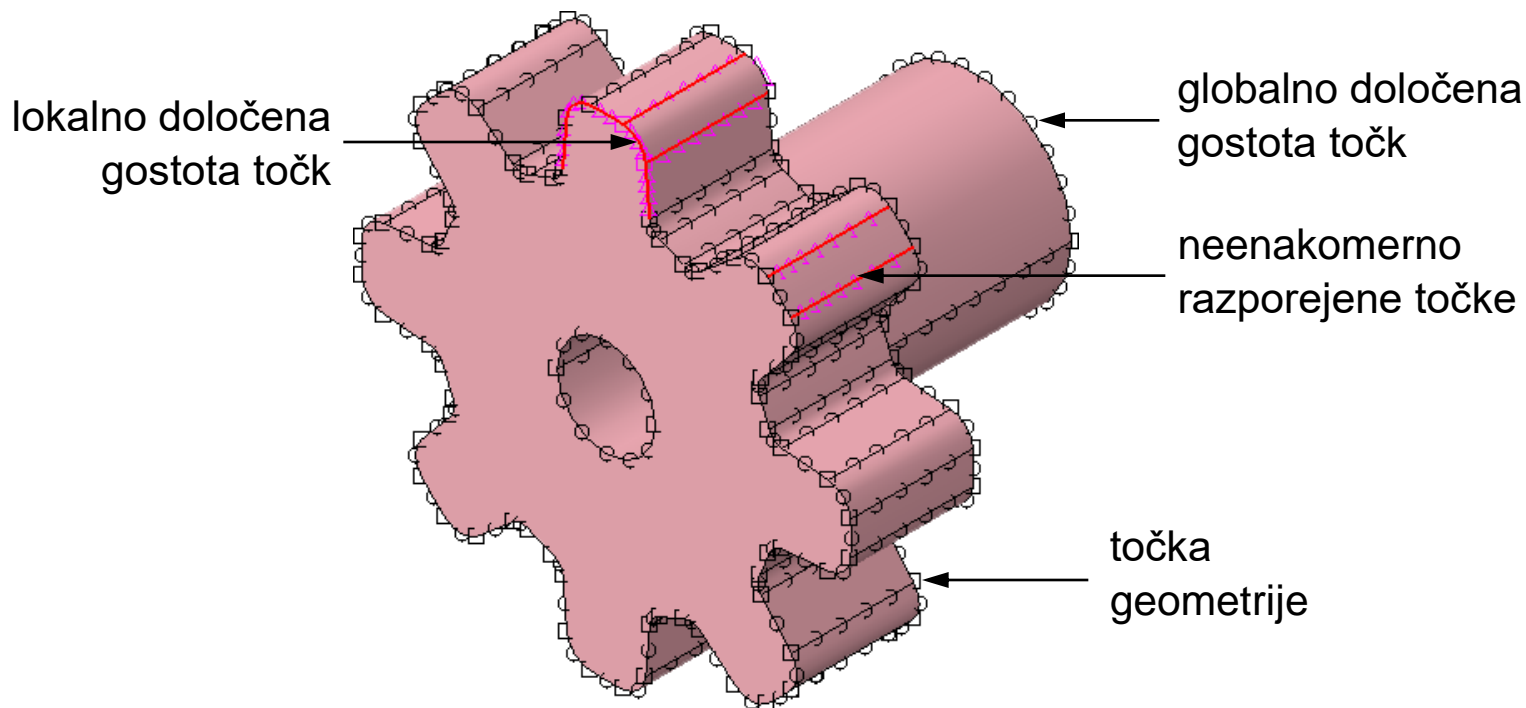
- način prostega mreženja omogoča mreženje zahtevnih volumskih oblik
- prosto mreženje volumskega območja lahko izvedemo samo s tetraedričnimi KE
- mreženje volumna s tetraedričnimi KE vedno bazira na mreži trikotnih elementov, ki je generirana na površini volumskega območja
- mreža trikotnih elementov na površini se generira po istem postopku, kot poteka mreženje ploskovnega območja s KE
- na gostoto mreže tetraedričnih KE v notranjosti mreženega območja lahko vplivamo le delno

## 2) priprava mreže 3D KE:

- zaporedje korakov pri prostem mreženju volumna:

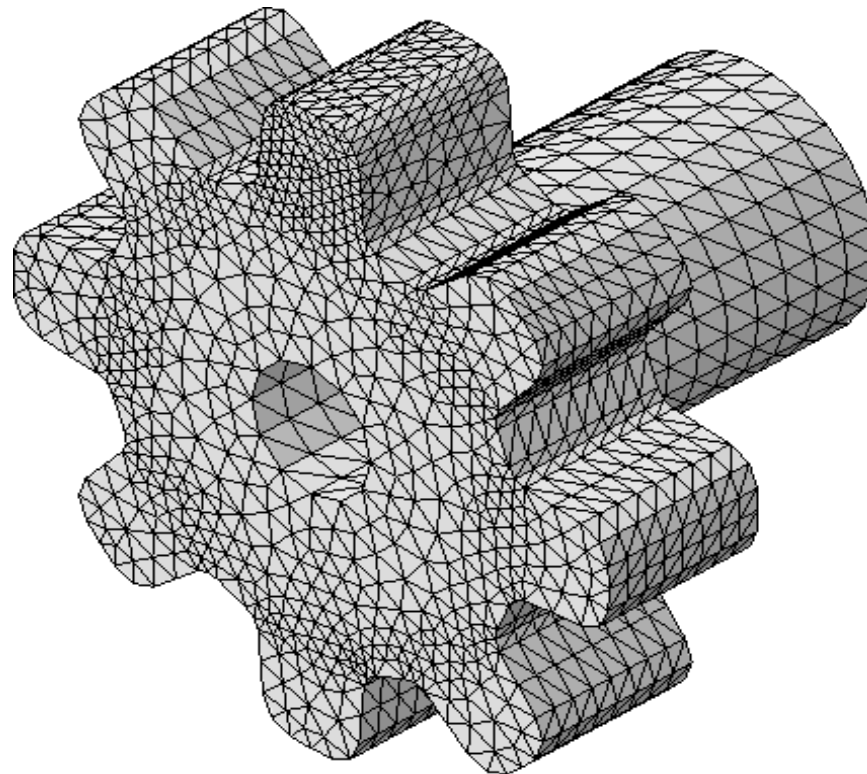
### a) določitev gostote točk na ograji območja:

- točke, ki so del geometrije, so nepremične
- generirane točke so lahko po delu ograje razporejene enakomerno ali neenakomerno (**bias seeding**)



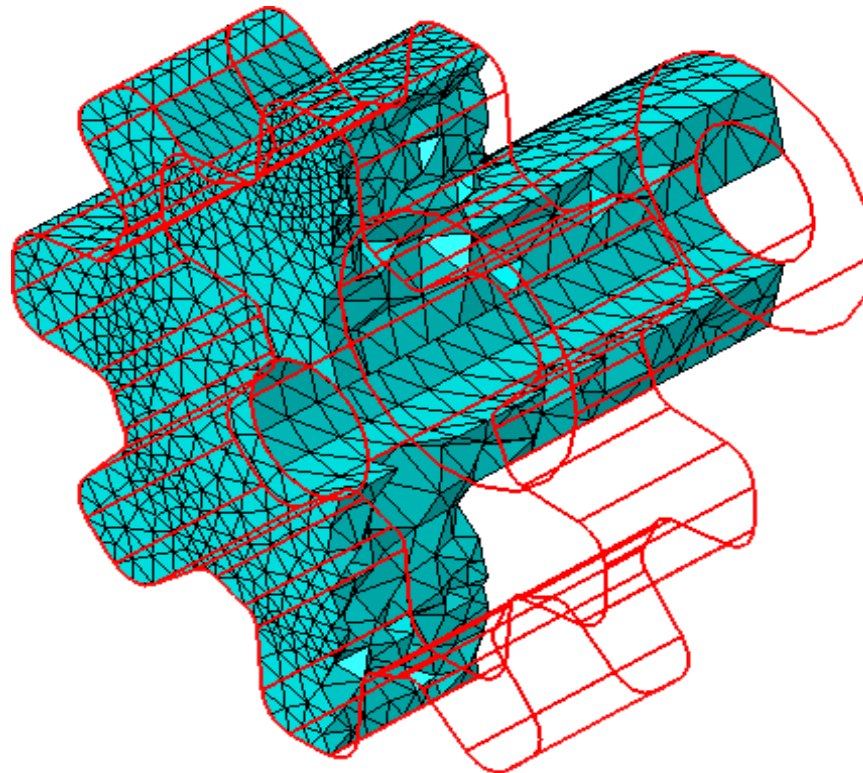
## 2) priprava mreže 3D KE:

- zaporedje korakov pri prostem mreženje volumna:
  - a) mreženje ploskev, ki omejujejo volumen, s trikotniki
  - b) mreženje ploskev, ki omejujejo volumen, s trikotniki



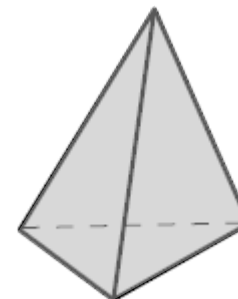
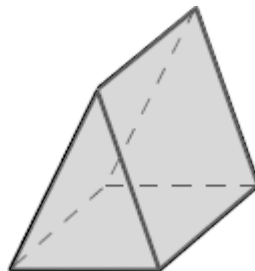
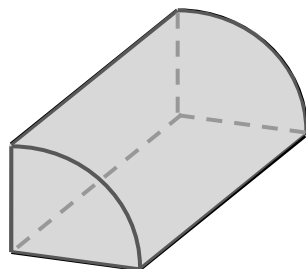
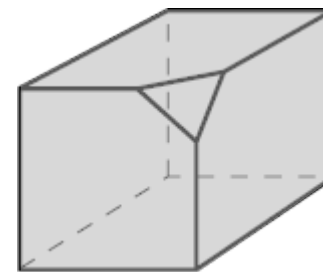
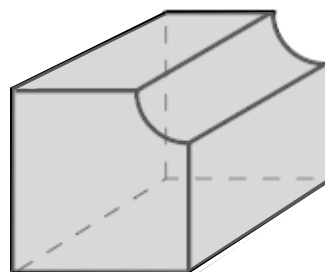
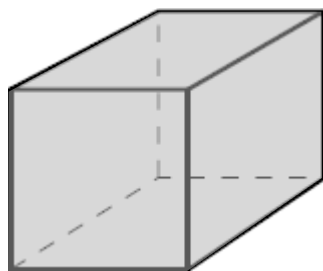
## 2) priprava mreže 3D KE:

- zaporedje korakov pri prostem mreženje volumna:
  - a) določimo prostorsko obliko volumna, ki ga želimo mrežiti
  - b) določimo vrsto mreže, ki jo želimo uporabiti
  - c) na gostoto mreže 3D KE v mreženem volumnu lahko vplivamo z načinom generacije 3D KE in posredno preko gostote mreže trikotnih elementov na ploskvah, ki omejujejo volumen



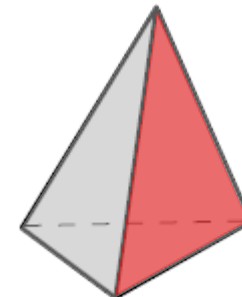
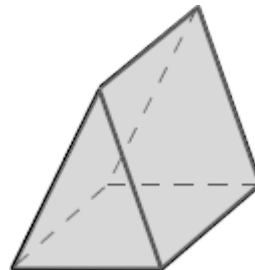
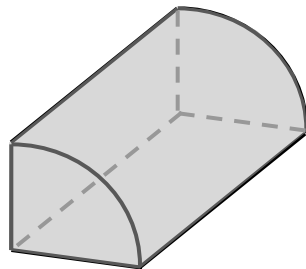
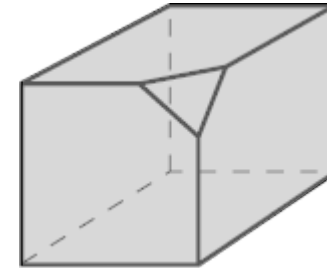
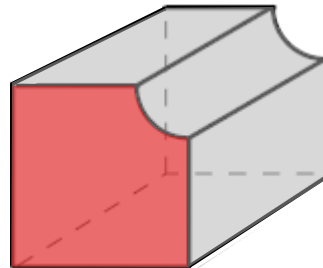
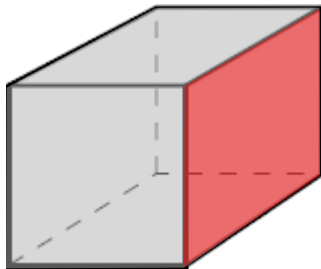
## 2) priprava mreže 3D KE:

- struktuirano mreženje volumna:
  - struktuirano mreženje volumna izvedemo v primeru, ko želimo generirati mrežo s heksaedričnimi KE
  - način mreženja, pri katerem je potrebno volumsko območje mreženja razdeliti na podobmočja enostavnih volumskih oblik



## 2) priprava mreže 3D KE:

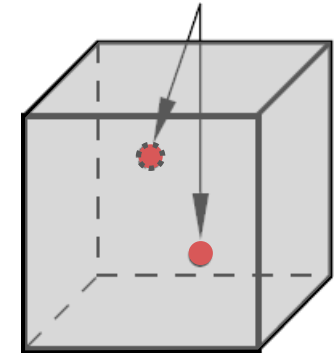
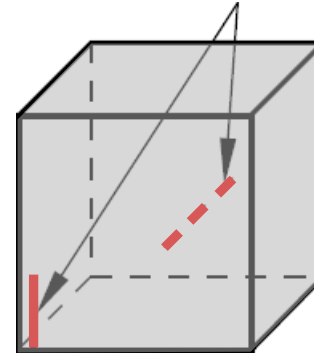
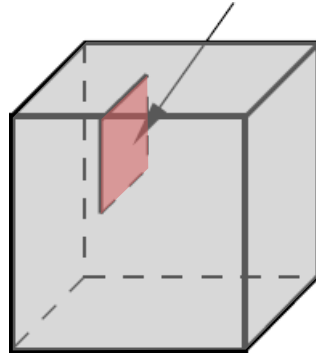
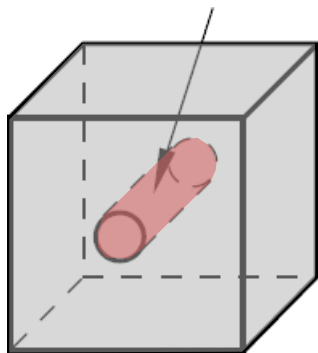
- strukturirano mreženje volumna:
  - ploskve, ki omejujejo volumsko podobmočje, morajo biti take oblike, da jih lahko strukturirano mrežimo



## 2) priprava mreže 3D KE:

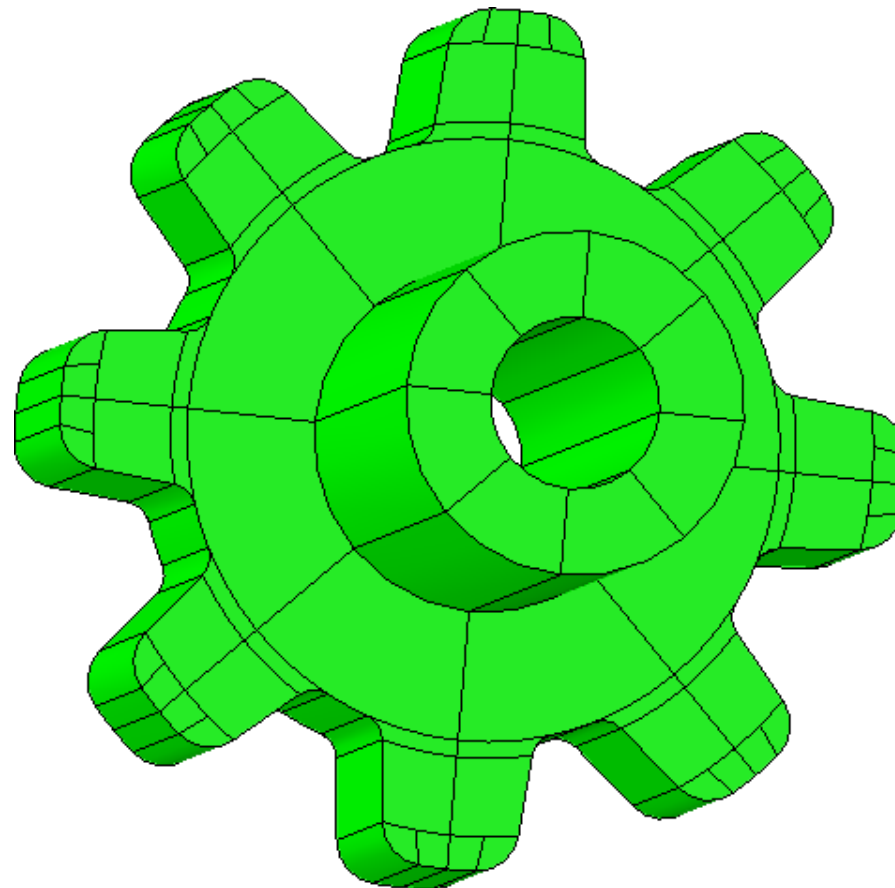
- strukturirano mreženje volumna:

- volumsko podobmočje ne sme vključevati lukenj, vrinjenih ploskev, robov in točk



## 2) priprava mreže 3D KE:

- zaporedje korakov pri struktuiranem mreženju volumna:
  - a) mreženo območje razdelimo na podobmočja

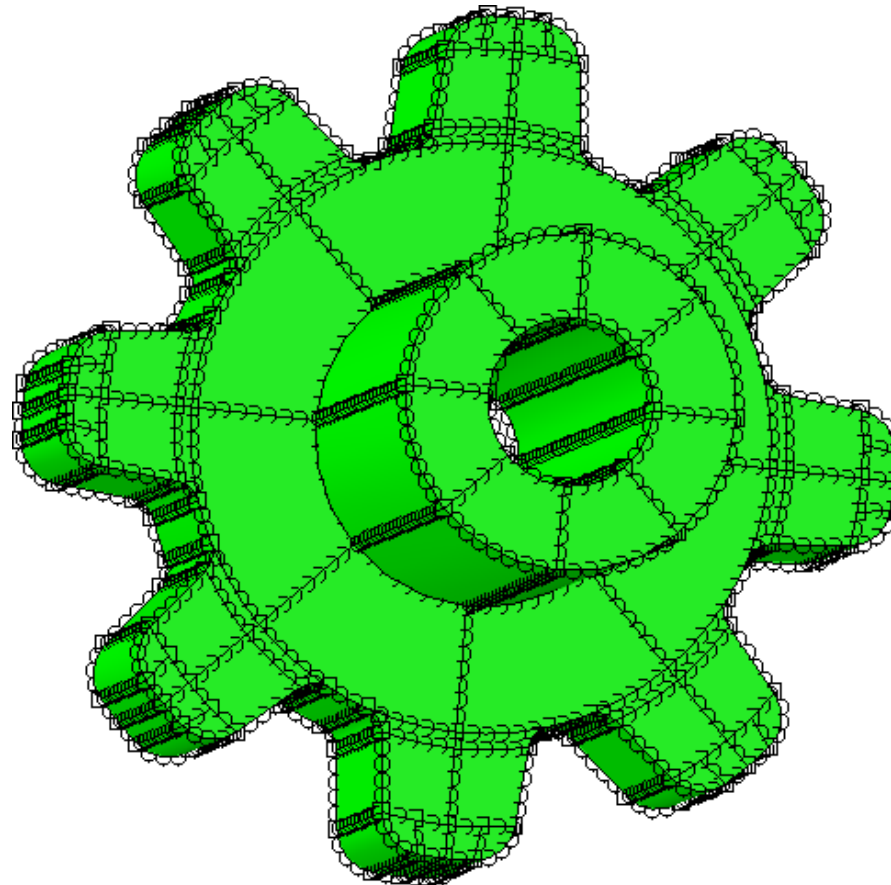




## 2) priprava mreže 3D KE:

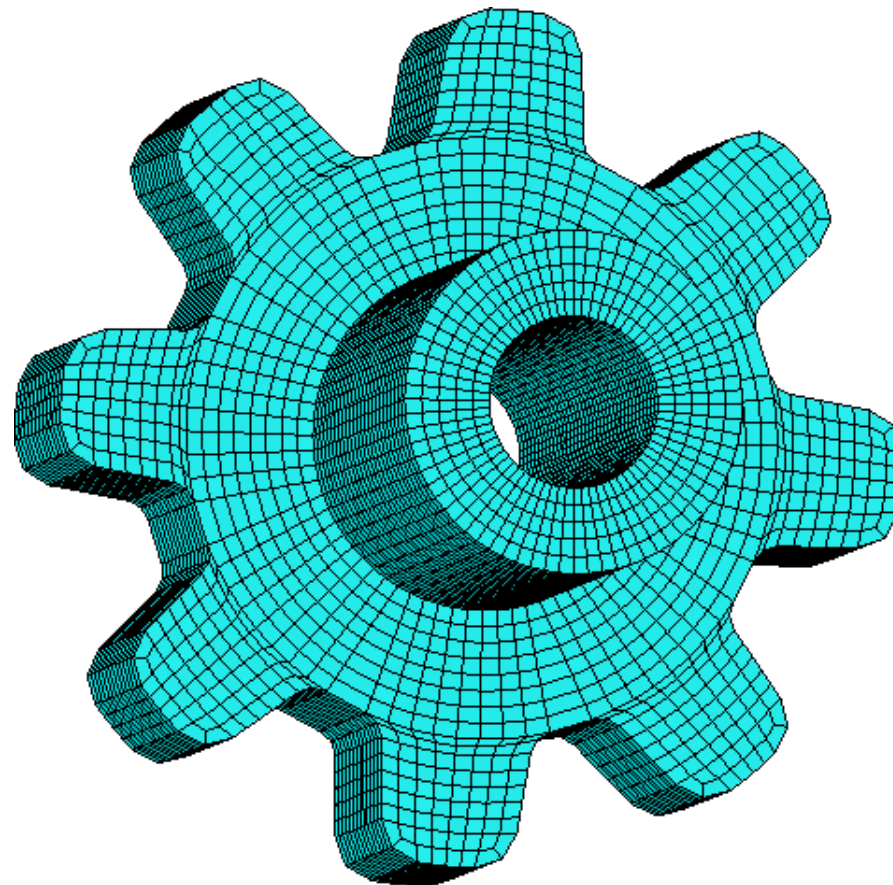
- zaporedje korakov pri struktuiranem mreženju volumna:

b) določitev gostote točk na ograji podobmočij - tako lahko vplivamo na gostoto mreže KE tudi lokalno v mreženem območju



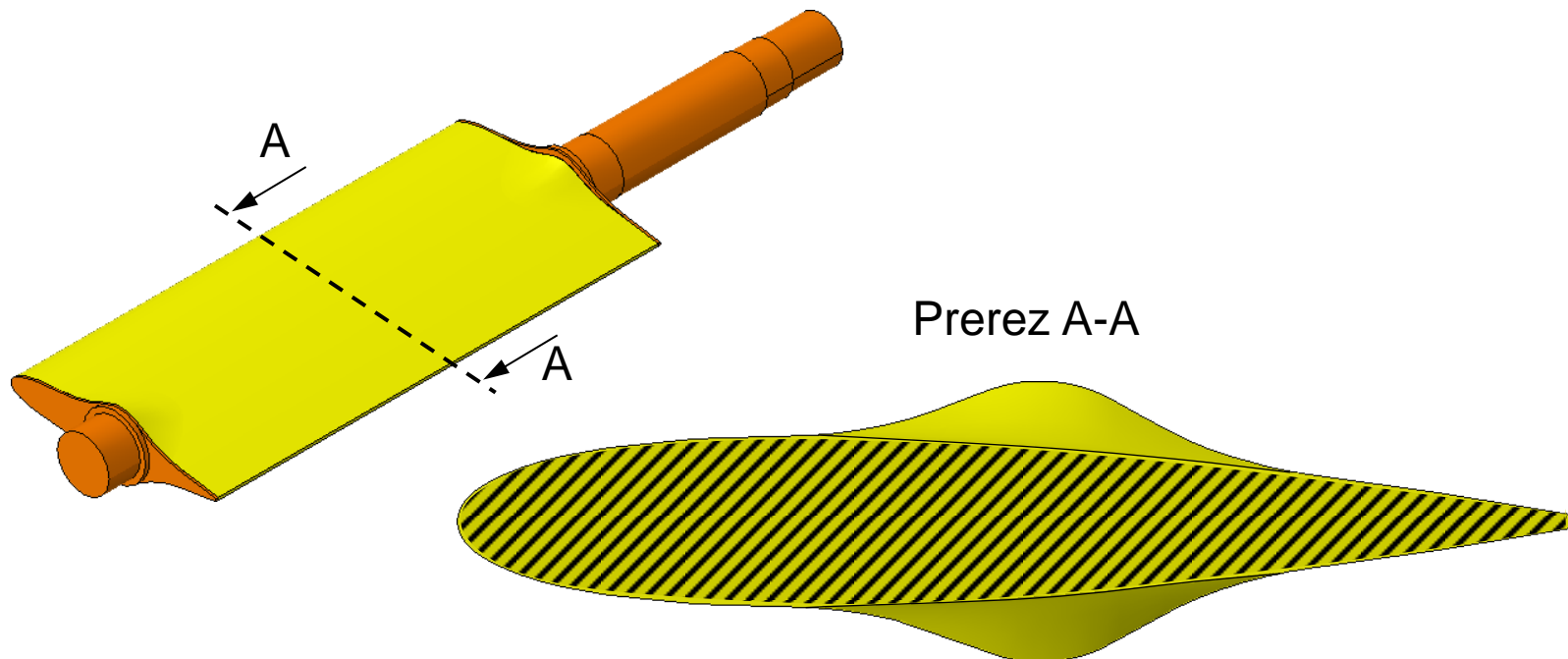
## 2) priprava mreže 3D KE:

- zaporedje korakov pri struktuiranem mreženju volumna:
  - a) določitev prostorskega območja, ki ga je potrebno mrežiti
  - b) določitev vrste mrežnih elementov
  - c) glede na število točk na ograji posameznega podobmočja, se generira struktuirana mreža heksaedričnih KE



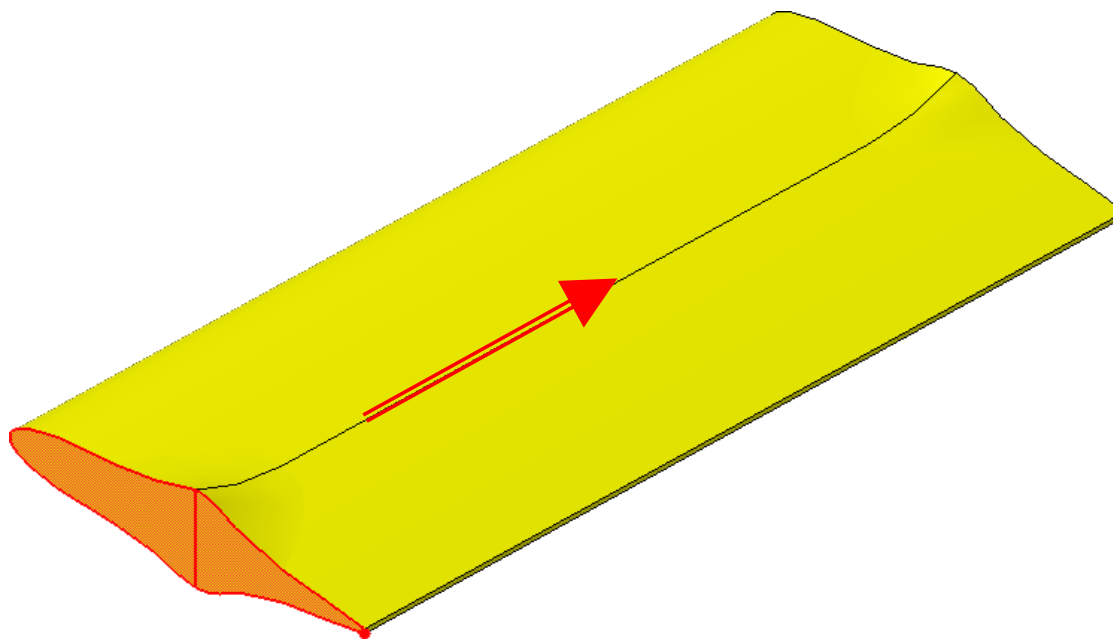
## 2) priprava mreže 3D KE:

- strukturirano mreženje volumna, izhajajoč iz mreže, ki se nahaja na eni ploskvi volumskega območja ([swept meshing](#)):
  - tak način mreženja volumna s heksaedričnimi KE uporabimo v primeru, ko lahko ohranjamo enako topologijo vozlišč KE vzdolž določenega robu



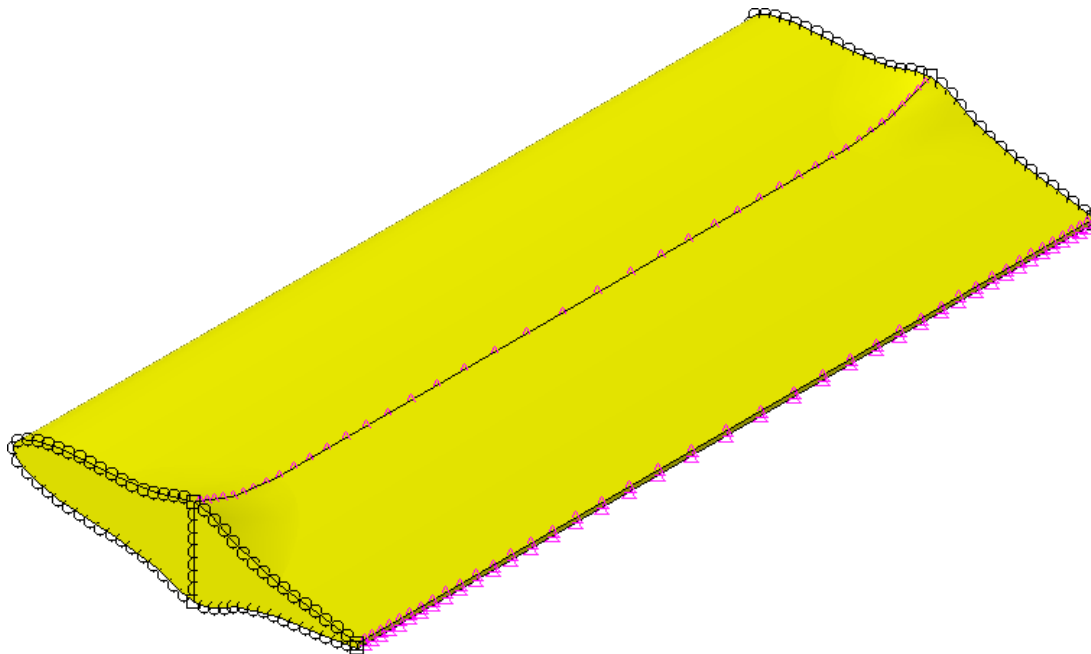
## 2) priprava mreže 3D KE:

- zaporedje korakov pri struktuiranem mreženju volumna, izhajajoč iz mreže 2D KE, ki se nahajajo na eni ploskvi volumskega območja:
  - a) določimo izhodiščno ploskev, na kateri se bo nahajala mreža 2D KE, in smer generiranja heksaedričnih KE



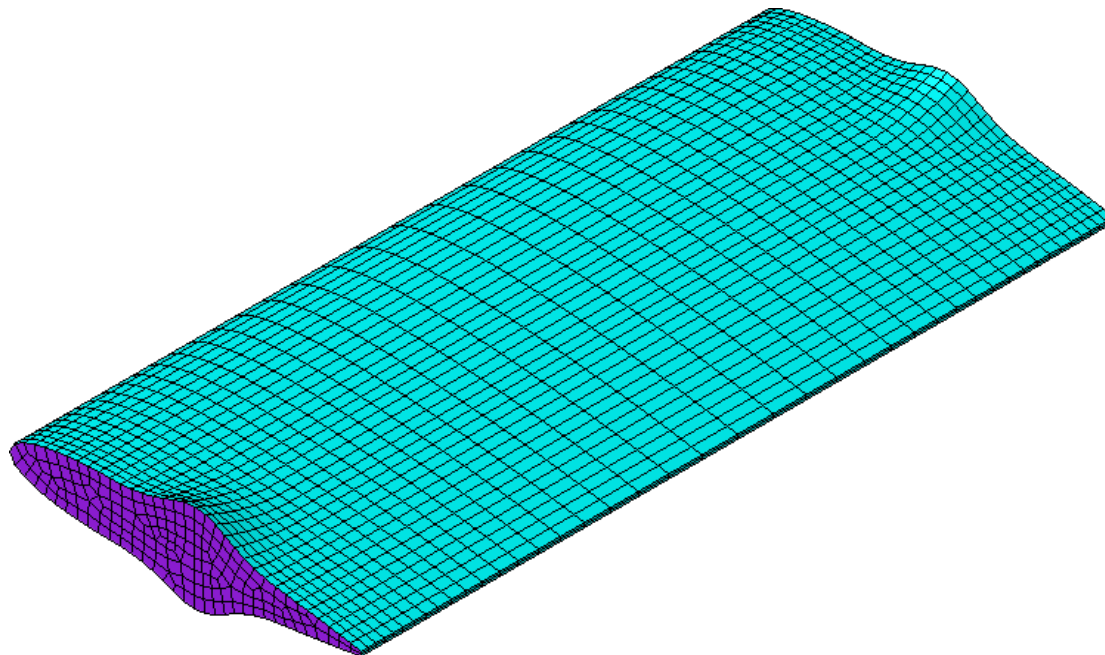
## 2) priprava mreže 3D KE:

- zaporedje korakov pri struktuiranem mreženju volumna, izhajajoč iz mreže 2D KE, ki se nahajajo na eni ploskvi volumskega območja:
  - b) določitev gostote točk na ograji podobmočij - tako lahko vplivamo na gostoto mreže heksaedričnih KE



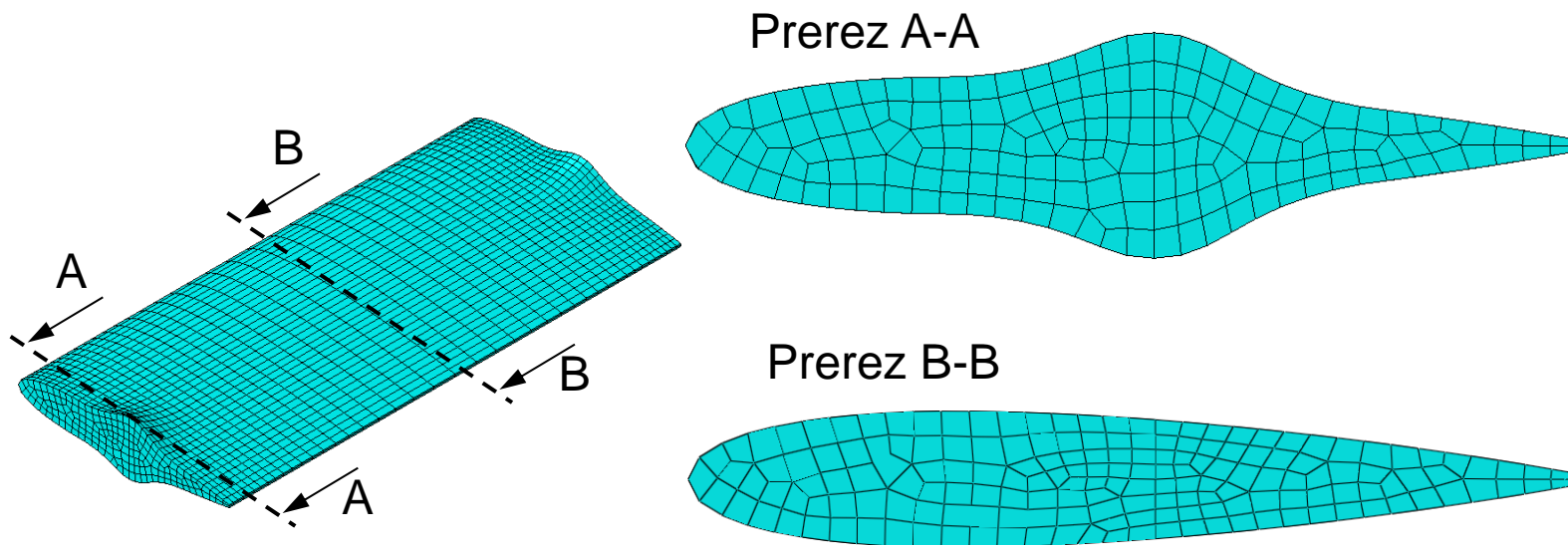
## 2) priprava mreže 3D KE:

- zaporedje korakov pri struktuiranem mreženju volumna, izhajajoč iz mreže 2D KE, ki se nahajajo na eni ploskvi volumskega območja:
  - a) določimo mrežo na vsaki od ploskev, ki so vidne v 3D modelu
  - b) določimo mrežo na vsaki od ploskev, ki so vidne v 3D modelu
  - c) glede na število točk na ograji posameznega podobmočja, se generira struktuirana mreža heksaedričnih KE, katere značilnost je enaka topologija vozlišč KE v posameznem prerezu



## 2) priprava mreže 3D KE:

- zaporedje korakov pri struktuiranem mreženju volumna, izhajajoč iz mreže 2D KE, ki se nahajajo na eni ploskvi volumskega območja:
  - a) določimo mrežo na eni ploskvi volumskega območja
  - b) določimo mrežo na drugi ploskvi volumskega območja
  - c) glede na število točk na ograji posameznega podobmočja, se generira struktuirana mreža heksaedričnih KE, katere značilnost je enaka topologija vozlišč KE v posameznem prerezu



## 2) priprava mreže 3D KE:

- kontrola kvalitete volumske mreže KE:
  - kvaliteto volumske mreže KE določamo na enak način, kot ploskovno mrežo KE
  - razmerje med najdaljšo in najkrajšo stranico volumskega KE
  - največji in najmanjši notranji kot na ploskvi, ki omejuje volumski KE
  - oblikovni faktor se računa samo za tetraedrični KE
  - odstopanje ploskve KE od geometrije mreženega območja



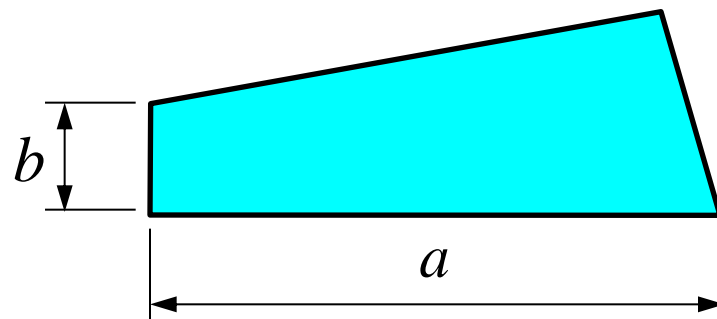
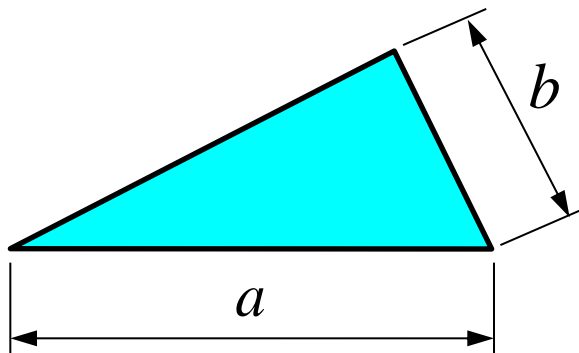
## 2) priprava mreže 3D KE:

▪ kontrola kvalitete volumske mreže KE:

- razmerje med najdaljšo in najkrajšo stranico KE:

$$1 \leq f_r = \frac{a}{b} \leq \infty, \quad a \geq b$$

$$f_{\text{rmax}} \leq 5$$



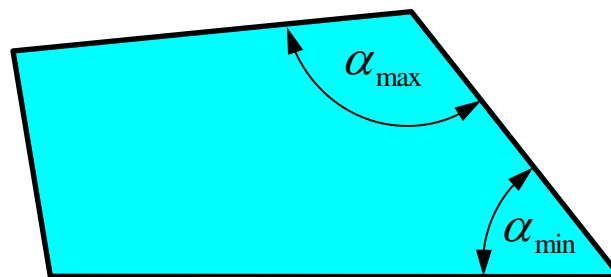
## 2) priprava mreže 3D KE:

- kontrola kvalitete volumske mreže KE:
  - največji in najmanjši notranji kot trikotnega ali štirikotnega KE:

$$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$$

$$45^\circ \leq \alpha_{\min}$$

$$\alpha_{\max} \leq 135^\circ$$

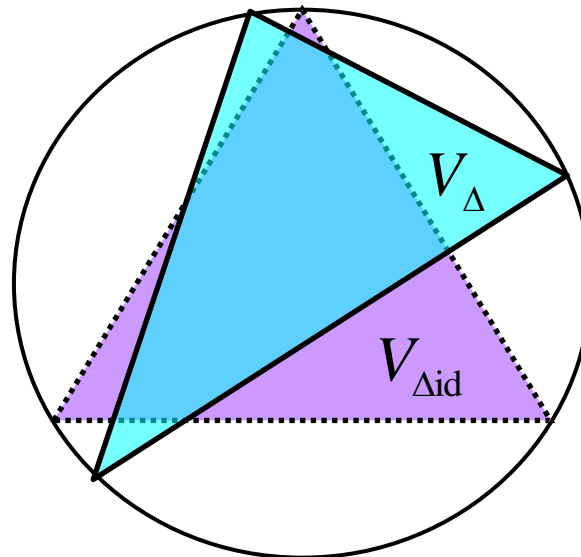


## 2) priprava mreže 3D KE:

- kontrola kvalitete volumske mreže KE:
  - oblikovni faktor se računa samo za tetraedrični KE:

$$1 \geq f_{\Delta} = \frac{V_{\Delta}}{V_{\Delta id}} \geq 0$$

$$f_{\Delta min} \geq 0.5$$

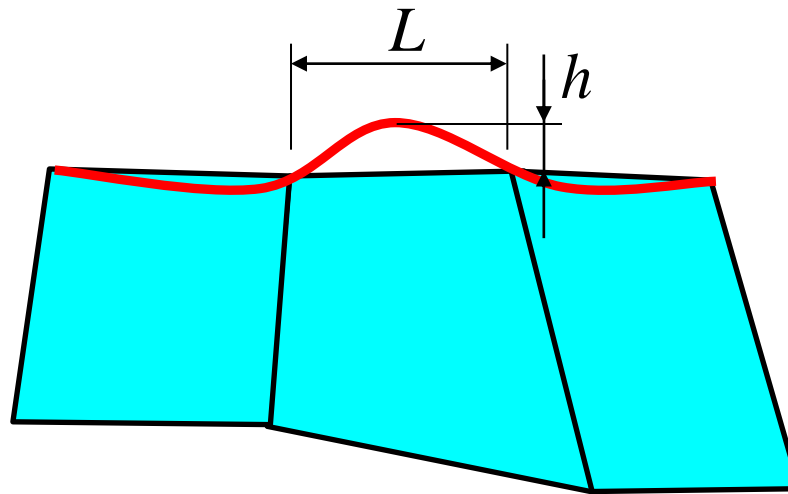


## 2) priprava mreže 3D KE:

- kontrola kvalitete volumske mreže KE:
  - odstopanje ploskve KE od geometrije mreženega območja:

$$0 \leq f_g = \frac{h}{L} \leq \infty$$

$$f_{g\max} \leq 0.1$$



## ➤ Koraki pri reševanju z MKE:

## 3) določitev fizikalnih lastnosti materiala

- toplotni problem:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$T = T(x_i, t) \text{ [K]}, \quad Q = Q(x_i, t) \text{ [W/m}^3\text{]} = \text{[kg/(s}^3\text{ m)]}$$

$$x_i = (x, y, z) \text{ [m]}$$

- izotropne fizikalne lastnosti materiala

$$k = k(T) \text{ [W/(m K)]} = \text{[(kg m)/(s}^3\text{ K)]}$$

$$\rho = \rho(T) \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$c = c(T) \text{ [J/(kg K)]} = \text{[m}^2\text{/(s}^2\text{ K)]}$$

- mehanski problem:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \sigma_{xy} \\ \sigma_{xz} \\ \sigma_{yz} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} (1-\nu) & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & (1-\nu) & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & (1-\nu) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (1-2\nu) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & (1-2\nu) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yz} \end{Bmatrix}$$

$$\left\{ \varepsilon_{xx} \quad \varepsilon_{yy} \quad \varepsilon_{zz} \quad \varepsilon_{xy} \quad \varepsilon_{xz} \quad \varepsilon_{yz} \right\}^T = \left\{ \frac{\partial u_x}{\partial x} \quad \frac{\partial u_y}{\partial y} \quad \frac{\partial u_z}{\partial z} \quad \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) \quad \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) \quad \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \right) \right\}^T$$

$$\sigma_{ij} \text{ [Pa]} = \left[ (\text{kg m/s}^2) / \text{m}^2 \right], \quad \varepsilon_{ij} \text{ [1]}, \quad u_i \text{ [m]}$$

$i, j = x, y, z$

- izotropne linearno elastične fizikalne lastnosti materiala

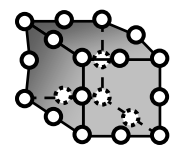
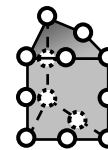
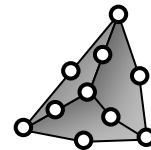
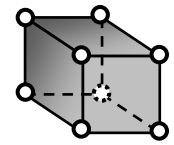
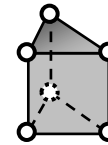
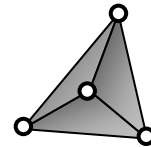
$$E \text{ [Pa]} = \left[ (\text{kg m/s}^2) / \text{m}^2 \right]$$

$$\nu \text{ [1]}$$

## ➤ Koraki pri reševanju z MKE:

### 4) določitev geometrijskih lastnosti KE

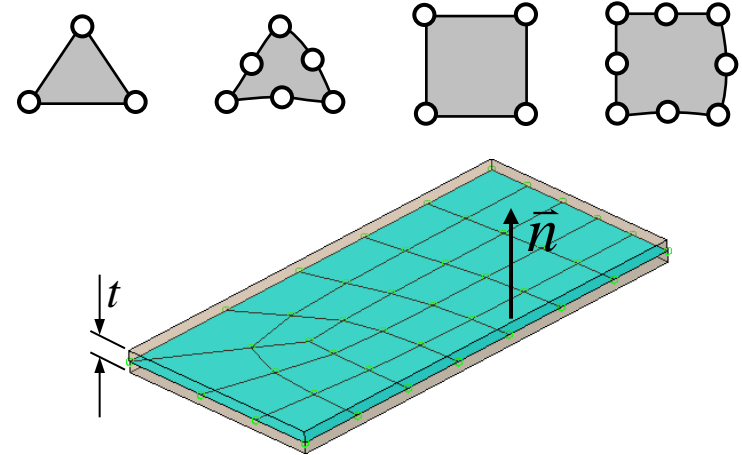
- 3D KE:
  - ni potrebno podati dodatnih podatkov za določitev geometrijskih lastnosti



- 2D KE:
  - debelina KE
  - normala na površino KE

- debelina KE

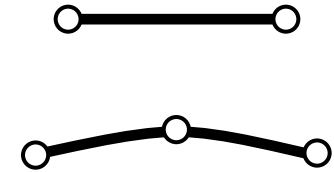
$t$  [m]



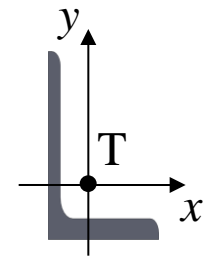


- 1D KE:

- geometrijske karakteristike prereza KE:
  - ploščina prereza  $A$
  - težiščne vztrajnostne momente ploskve  $I_x$ ,  $I_y$  in  $I_{xy}$
  - torzijski vztrajnostni moment  $I_t$
- lega prereza glede na težiščnico



prerez



- karakteristike KE

$$A \left[ \text{m}^2 \right], \quad I \left[ \text{m}^4 \right]$$