

3D-S OBJEKTUMOK DEFORMÁLÁSA GEOMETRIAI KÉNYSZEREK FIGYELEMBEVÉTELÉVEL

3D számítógépes geometria 2

Önálló hallgatói projekt

Készítette
Gálai Janka

Konzulens
Dr. Várady Tamás László

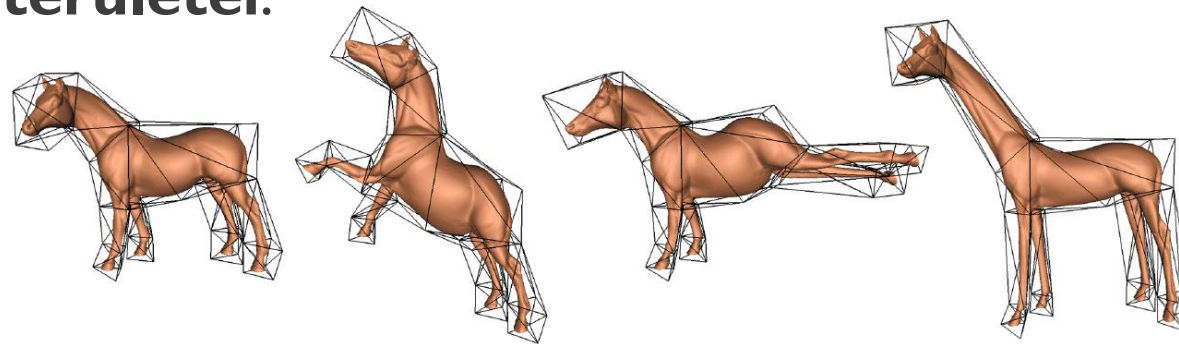
2020

BEVEZETÉS

Cél: komplex 3D-s geometriai modellek deformációjának vizsgálata

A deformáció fő **alkalmazási területei:**

- számítógépes tervezés
- számítógépes animáció

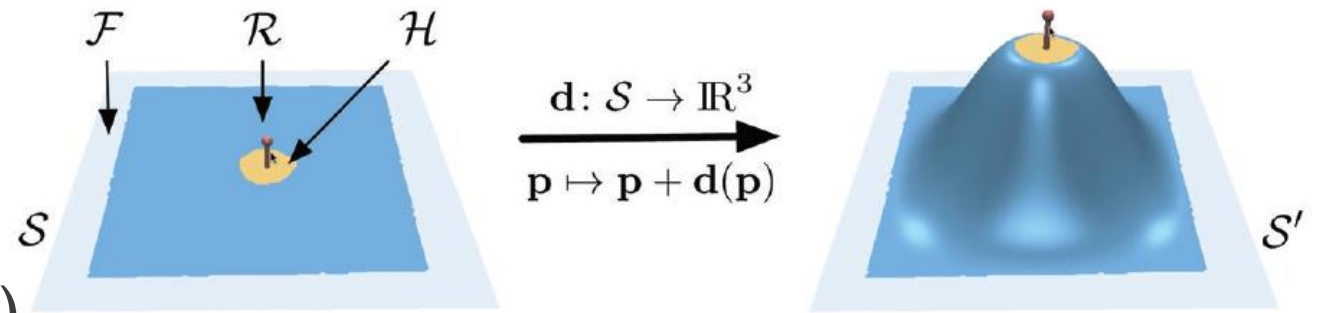


Dolgozat:

- Szakirodalom tanulmányozása
 - deformációs módszerek
 - baricentrikus koordináták
- Interaktív 2D-s és 3D-s tesztprogramok
 - általános kontrollváz
- Új módszer kidolgozása **objektumok lokális deformálására**

DEFORMÁCIÓ

- $\mathcal{H}$ (handle region):
felhasználó által mozgatható terület
- $\mathcal{F}$ (fixed region):
nem deformálódó terület (kényszer)
- $\mathcal{R}$ (remaining region):
maradó, deformálódó terület
 $\mathcal{R} = S \setminus (\mathcal{H} \cup \mathcal{F})$



elmozdulás:

$$d(p_i) = d_i, \text{ minden } p_i \in \mathcal{H}$$

$$d(p_i) = 0, \text{ minden } p_i \in \mathcal{F}$$

Fő kérdés:

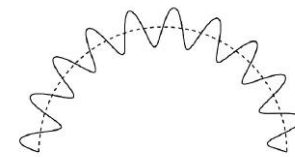
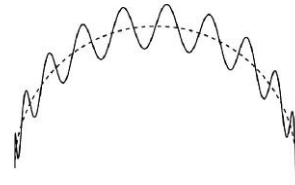
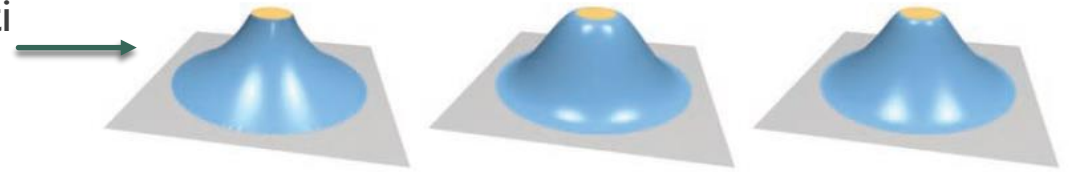
$\mathcal{R}$ deformációs területet hogyan lehet fizikailag elfogadható módon deformálni?

DEFORMÁCIÓS MÓDSZEREK

■ Felületi deformáció

objektum felületén hat

nincs felületi
információ



már van felületi
információ

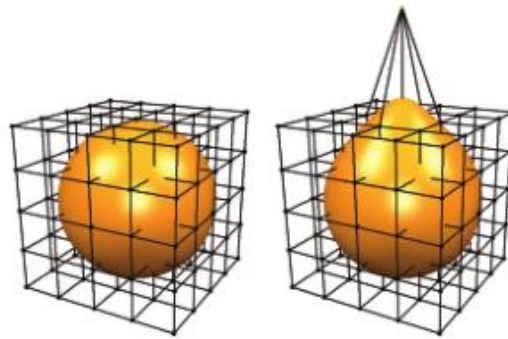
■ Térfogati deformáció

objektum körüli teret, közvetve a modellt deformáló módszer

szabályos kontrollrács

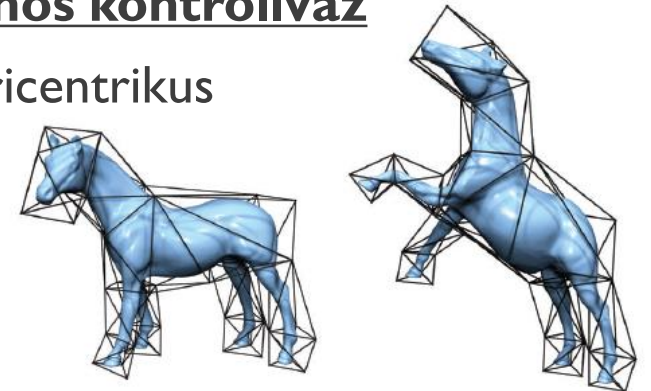
- Bézier vagy B-spline
- elmozdulásvektor:

$$d(u, v, w) = \sum_i \sum_j \sum_k \Delta c_{ijk} N_i(u) N_j(v) N_k(w)$$



általános kontrollváz

- általános baricentrikus koordináták



BARICENTRIKUS KOORDINÁTÁK HÁROMSZÖGEKRE

- Háromszög 3 csúcsával definiálva: v_1 , v_2 és v_3

- Tetszőleges v belső pont:

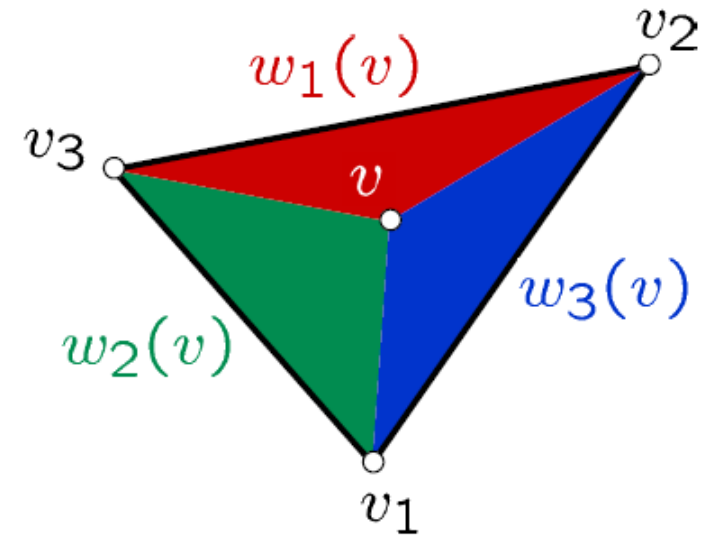
$$v = \lambda_1 v_1 + \lambda_2 v_2 + \lambda_3 v_3$$

ahol: λ_i - baricentrikus koordináta

- Tulajdonság: $\sum_{i=1}^3 \lambda_i = 1$ és $0 \leq \lambda_i \leq 1$

- Baricentrikus koordináták: $\lambda_i(v) = \frac{w_i(v)}{w_1(v) + w_2(v) + w_3(v)}$

- Speciális eset:
 - v a v_i csúcsban: $\lambda_i(v) = 1$
 - v a v_i és v_{i+1} élen: $\lambda_i(v) + \lambda_{i+1}(v) = 1$

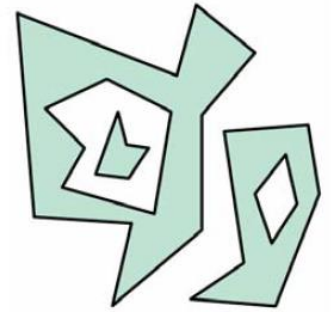


ÁLTALÁNOS BARICENTRIKUS KOORDINÁTÁK

- Háromszög eljárás kiterjeszthető n -oldalú, konvex, konkáv, többszörösen összetett poligon halmazokra

Megkötés: poligonok nem metszhetik önmagukat és egymást sem

- Több különböző módszer (Wachspress, Mean Value)
- n -oldalú poligon: $v_1, v_2, \dots, v_n$
- v pont: $v = \lambda_1 v_1 + \lambda_2 v_2 + \dots + \lambda_n v_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i v_i$
- Baricentrikus koordináták: $\lambda_i(v) = \frac{w_i(v)}{\sum_{j=1}^n w_j(v)}$, csúcsokhoz rendelt w_i súlyok segítségével
- Kontrollpoligonon kívül is értelmezettek



$$\begin{aligned} &\cancel{0 \leq \lambda_i \leq 1} \\ &\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad \checkmark \end{aligned}$$

KÖZÉPÉRTÉK KOORDINÁTÁK (MEAN VALUE)

- v ponthoz tartozó w_i középérték vektor súlyértéke:

$$w_i = \frac{c_{i+1}A_{i-1} - c_iB_i + c_{i-1}A_i}{A_{i-1}A_i}$$

w_i értékek
normalizálása

λ_i középérték
koordináták

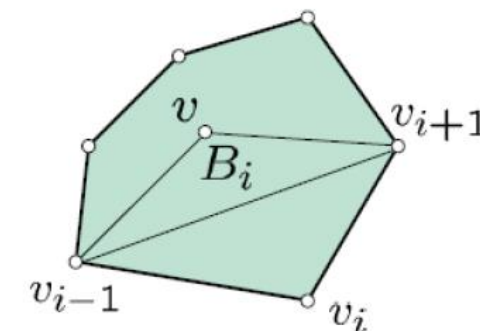
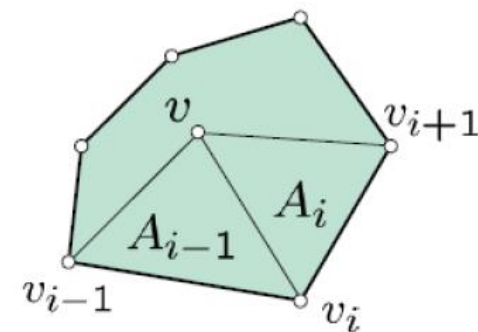
ahol: ■ A_i és B_i háromszögterületek és

- c_i egy függvény:

- középérték koordináta (**Mean Value**): $c_i^{MV} = \|v - v_i\|$
- Wachspress koordináta: $c_i^W = 1$
- diszkrét harmonikus koordináta: $c_i^{DH} = \|v - v_i\|^2$

Speciális eset:

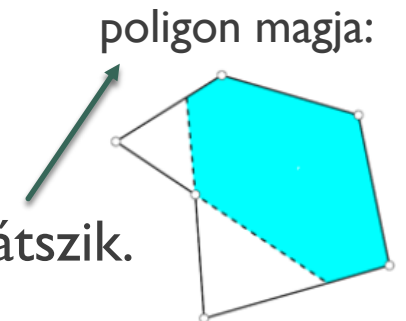
- v a v_i csúcsban: $\lambda_i(v) = \delta_{i,j}$, az adott csúcs súlyértéke 1, többi csúcsé 0
- v a v_i és v_{i+1} élen: $\lambda_i(v) = (1 - \mu)\delta_{i,j} + \mu\delta_{i,j+1}$, lineáris interpoláció



KÖZÉPÉRTÉK KOORDINÁTÁK TULAJDONSÁGAI

A síkbeli középérték koordináták fontos tulajdonságai:

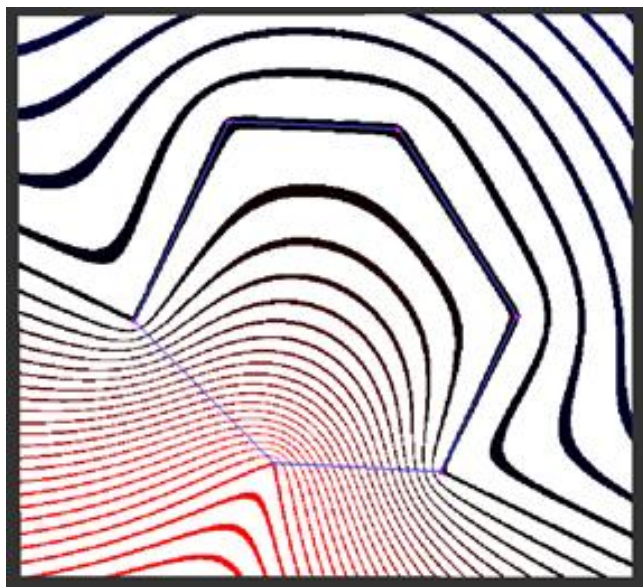
- 1) Lagrange tulajdonság: $\lambda_i(v) = \delta_{i,j}$
- 2) Csúcsokat kivéve λ_i C^∞ folytonos, csúcsokban C^0
- 3) Adott v ponthoz: $\sum_{i=1}^n \lambda_i(v) = 1$
- 4) Minden v pont: $v = \sum_{i=1}^n \lambda_i(v)v_i$ (lineáris kombináció)
- 5) Hasonlósági transzformáció nem változtatja meg az értékét
- 6) Lineárisan függetlenek (minden v -re: $\sum_{i=1}^n c_i \lambda_i = 0$, minden i -re $c_i = 0$)
- 7) Lineárisan változnak a poligon élein a két csúcshoz rendelt érték között
- 8) λ_i értéke pozitív minden olyan v pontban, ahol a hozzá tartozó v_i csúcspont látszik.



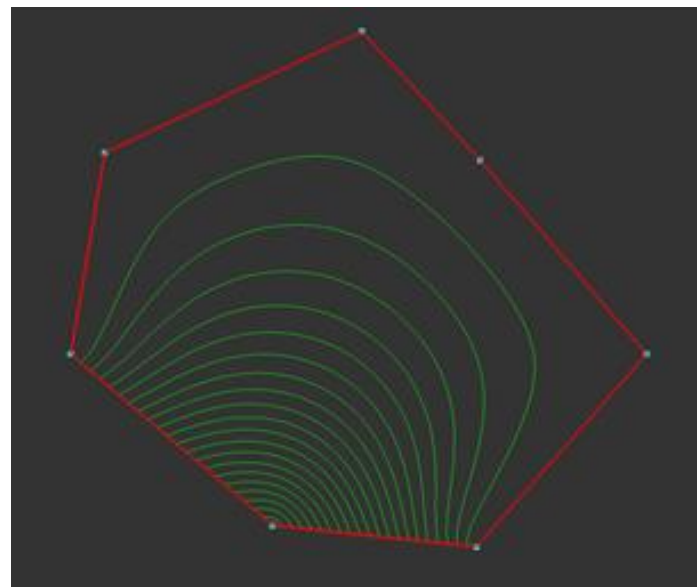
TESZTPROGRAM – ÁLTALÁNOS KONTROLLVÁZ – KÖZÉPÉRTÉK KOORDINÁTÁK ELOSZLÁSA 2D-BEN

- Kontrollváz egy kontrollpontjához tartozó baricentrikus koordináták eloszlása:

- bitmap alapú konstans paramétersávok, szintvonalterkép

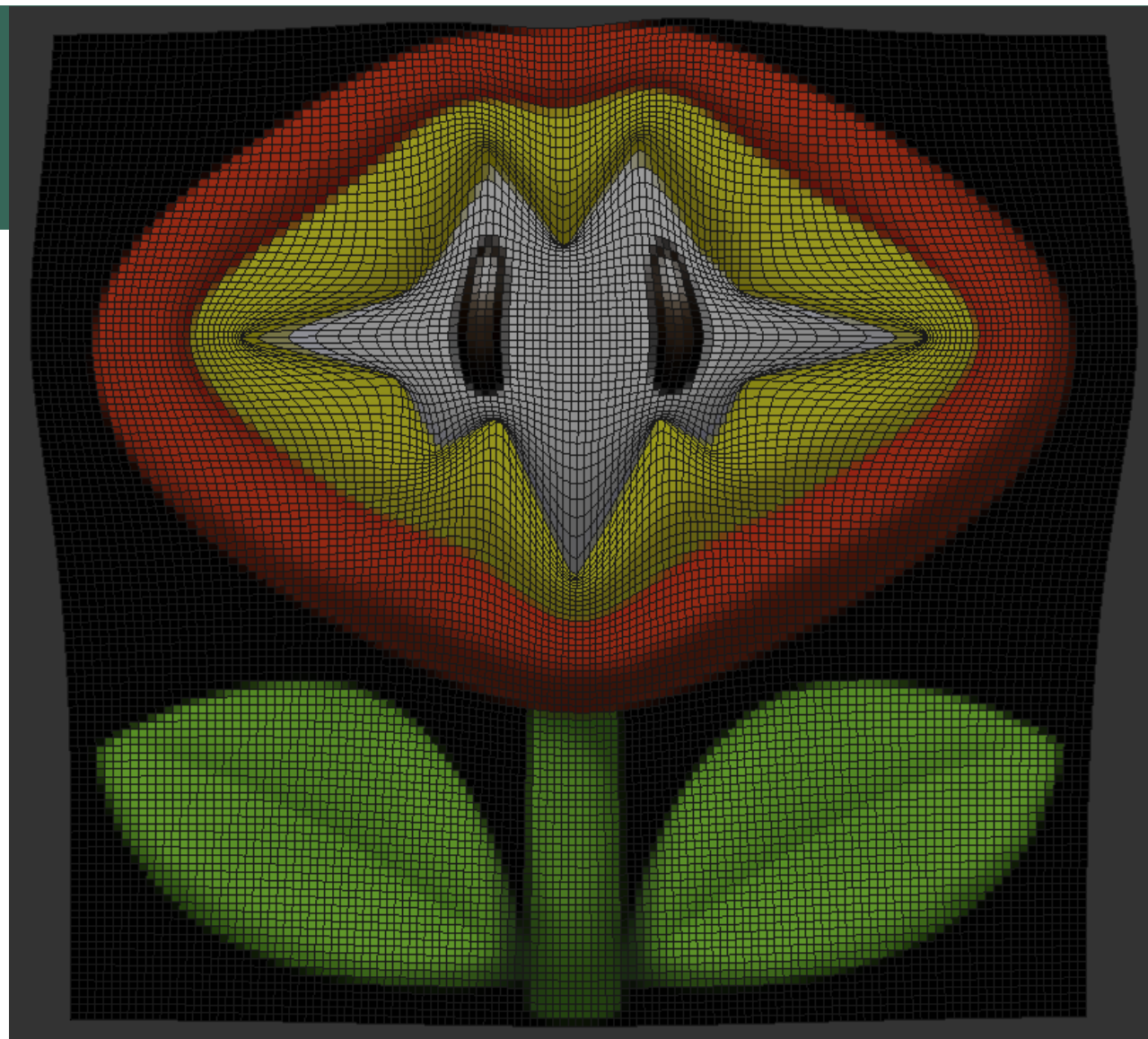


- kontrollváz egy csúcsához tartozó konstans paramétervonalak



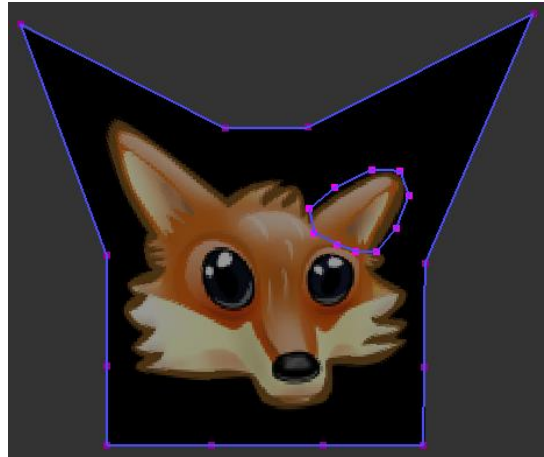
TESZTPROGRAM – ÁLTALÁNOS KONTROLLVÁZ – DEFORMÁCIÓ

- Általános baricentrikus koordináták –
középérték koordináták (Mean Value)

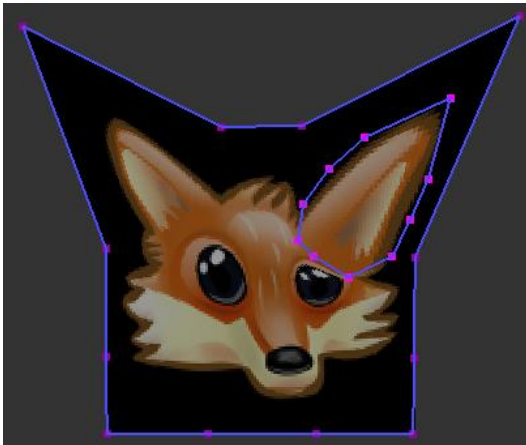


TESZTPROGRAM – ÁLTALÁNOS KONTROLLVÁZ – DEFORMÁCIÓ

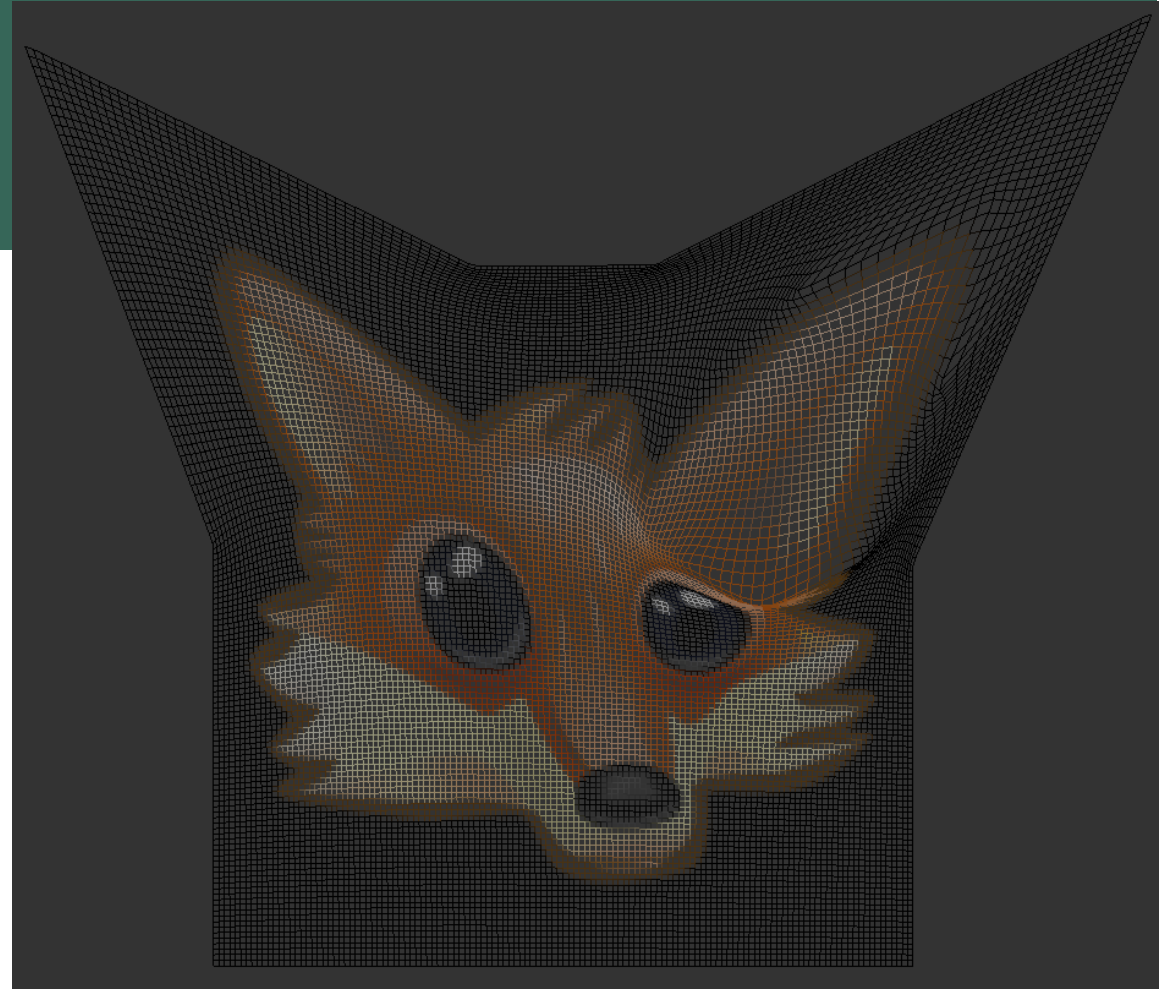
- Egymásba ágyazott poligonok



↑
külső poligon deformáció



←
külső és belső poligon
deformáció



- Belső poligonban lévő rácspontok baricentrikus koordinátái kizárólag a belső kontrollpoligontól származnak

BARICENTRIKUS KOORDINÁTÁK TETRAÉDEREKBEN

- Tetraéder 4 csúcsával definiálva:

$$v_1, v_2, v_3 \text{ és } v_4$$

- Tetszőleges v belső pont:

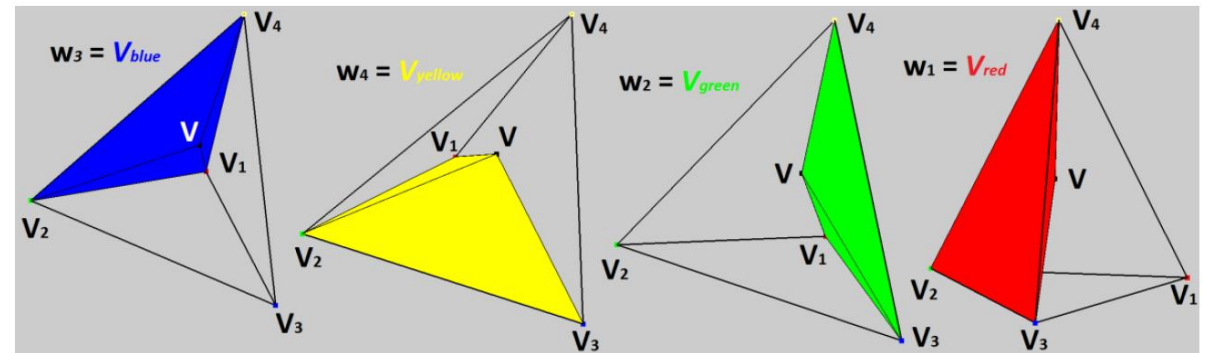
$$v = \lambda_1 v_1 + \lambda_2 v_2 + \lambda_3 v_3 + \lambda_4 v_4$$

ahol: λ_i - baricentrikus koordináta

- Tulajdonság: $\sum_{i=1}^4 \lambda_i = 1$ és $0 \leq \lambda_i \leq 1$

- Baricentrikus koordináták:

$$\lambda_i(v) = \frac{w_i(v)}{w_1(v) + w_2(v) + w_3(v) + w_4(v)}$$



- Speciális eset:

- v a v_i csúcsban: $\lambda_i(v) = 1$
- v a v_i és v_{i+1} élen: $\lambda_i(v) + \lambda_{i+1}(v) = 1$
- v a tetraéder egy lapján:
2D-s baricentrikus koordináták számolása

ÁLTALÁNOS BARICENTRIKUS KOORDINÁTÁK – 2D – MÁSIK INTERPRETÁCIÓ

- Polygon n csúcsával definiálva: $v_1, v_2, \dots, v_n$
- Tetszőleges v belső pont: $v = \sum_{i=1}^n \lambda_i(v) \cdot v_i$

- $\lambda_i(v)$ - baricentrikus koordináta: $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ 

$$v = (\sum_{i=1}^n \lambda_i(v)) \cdot v = \sum_{i=1}^n \lambda_i(v) \cdot v$$

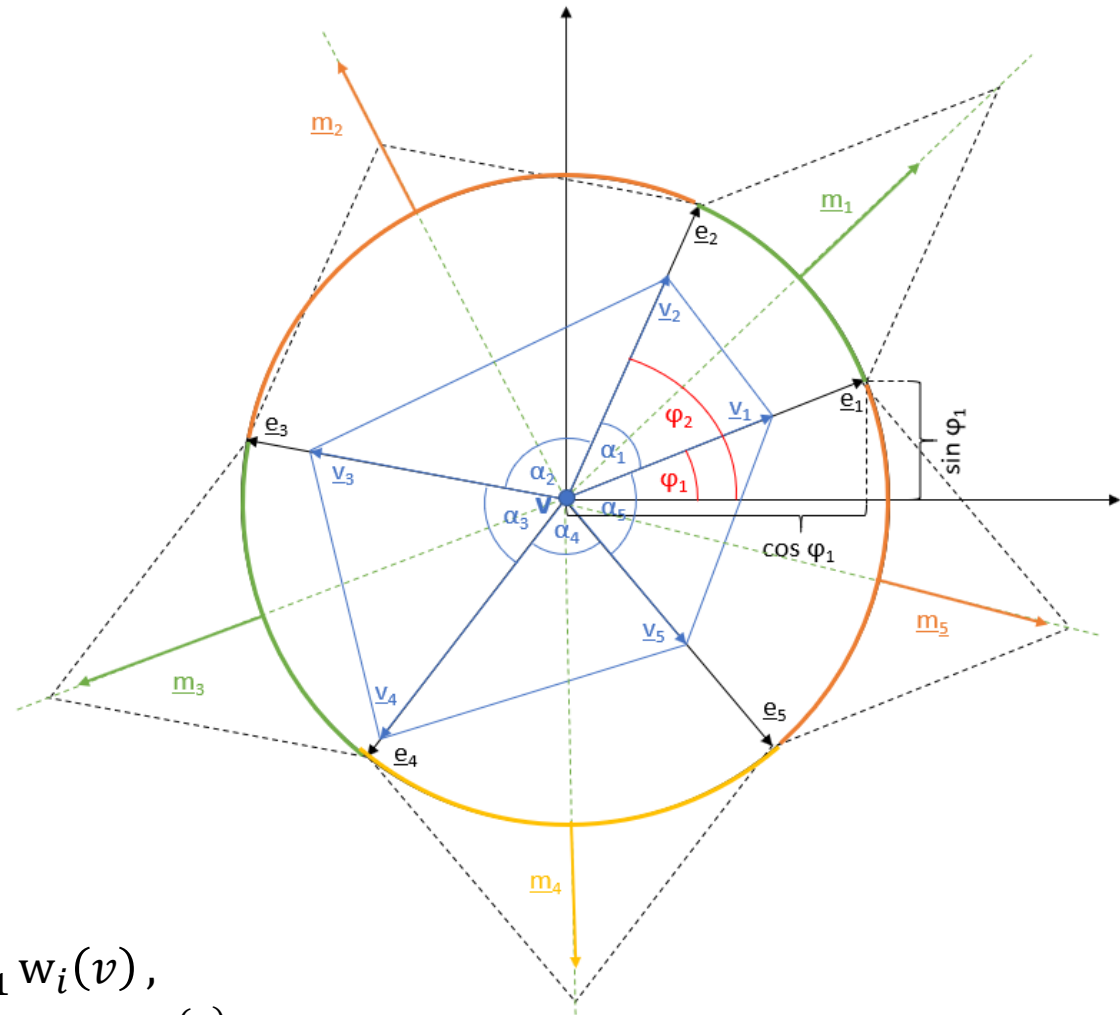
$$\sum_{i=1}^n \lambda_i(v) \cdot v_i = \sum_{i=1}^n \lambda_i(v) \cdot v$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i(v) \cdot (v_i - v) = 0 \quad / \cdot (\sum_{j=1}^n w_j(v))$$

$$\sum_{i=1}^n w_i(v) \cdot (v_i - v) = 0, \text{ ahol } w_i(v) = \lambda_i(v) \cdot \sum_{j=1}^n w_j(v),$$

hiszen $\lambda_i(v) = \frac{w_i(v)}{\sum_{j=1}^n w_j(v)}$

$$\sum_{i=1}^n c_i(v) \cdot e_i = 0 \quad \text{ahol } c_i(v) = w_i(v) \cdot \|v_i - v\|$$



Vetítsük a poligon csúcsait a v középpontú egységsugarú körre

ÁLTALÁNOS BARICENTRIKUS KOORDINÁTÁK – 2D – MÁSIK INTERPRETÁCIÓ

- Egységnormális integrálja az egységsugarú körön: $\int n(\varphi) d\varphi = 0$,

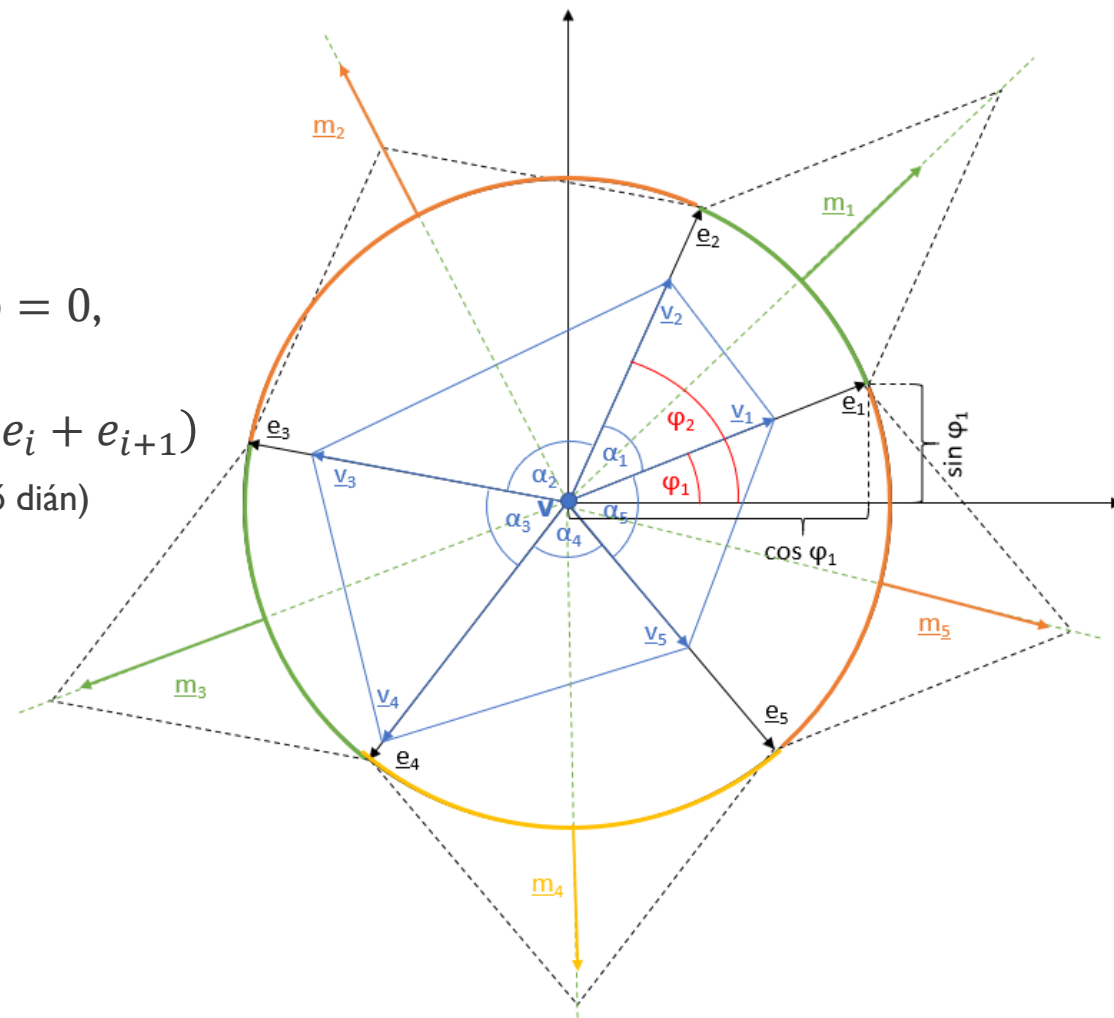
azaz $\sum_i \int_{\varphi_i}^{\varphi_{i+1}} n(\varphi) d\varphi = \sum_i m_i = 0$, ahol $m_i = \tan \frac{\alpha_i}{2} \cdot (e_i + e_{i+1})$
(biz.: következő dián)

A keresett alak:

$$\sum_i \left(\tan \frac{\alpha_{i-1}}{2} + \tan \frac{\alpha_i}{2} \right) e_i = \sum_{i=1}^n c_i(v) e_i = 0$$

súlyok: $w_i(v) = \frac{c_i(v)}{\|v_i - v\|}$

középérték koordináták: $\lambda_i(v) = \frac{w_i(v)}{\sum_{j=1}^n w_j(v)}$



ÁLTALÁNOS BARICENTRIKUS KOORDINÁTÁK – 2D – MÁSIK INTERPRETÁCIÓ

- Bizonyítás – $m_i = \tan \frac{\alpha_i}{2} \cdot (e_i + e_{i+1})$:

$$m_1 = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} n(\varphi) d\varphi = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} (\cos \varphi, \sin \varphi) d\varphi = [\sin \varphi, -\cos \varphi]_{\varphi_1}^{\varphi_2} = (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1, -(\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1))$$

- felhasználva, hogy:

$$\tan \frac{\alpha + \beta}{2} = \frac{\sin \alpha + \sin \beta}{\cos \alpha + \cos \beta} = -\frac{\cos \alpha - \cos \beta}{\sin \alpha - \sin \beta} \longrightarrow \tan \frac{\alpha - \beta}{2} = \frac{\sin \alpha - \sin \beta}{\cos \alpha + \cos \beta} = -\frac{\cos \alpha - \cos \beta}{\sin \alpha + \sin \beta}$$

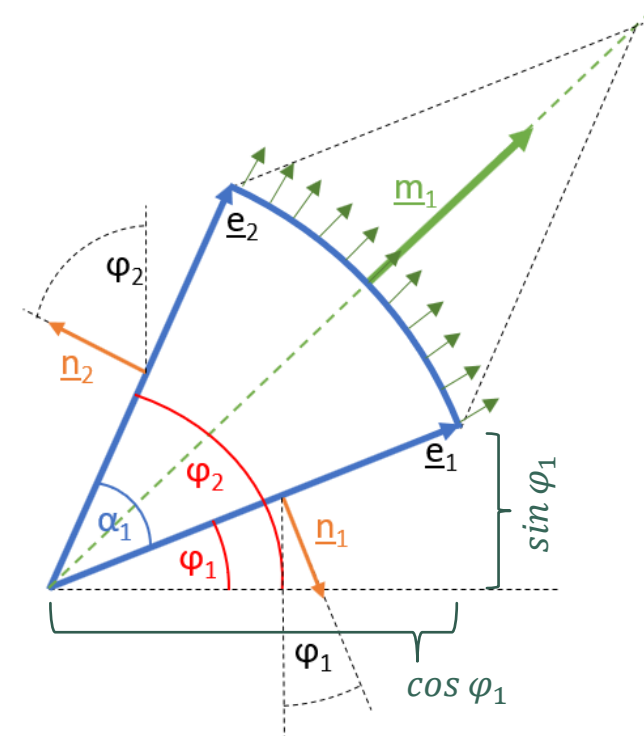
- legyen $\alpha = \varphi_2$ és $\beta = \varphi_1$:

$$m_1 = (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1, -(\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1)) = \tan \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \cdot (\cos \varphi_1 + \cos \varphi_2, \sin \varphi_1 + \sin \varphi_2) = \tan \frac{\alpha_1}{2} \cdot (\cos \varphi_1 + \cos \varphi_2, \sin \varphi_1 + \sin \varphi_2) = \tan \frac{\alpha_1}{2} \cdot ((\cos \varphi_1, \sin \varphi_1) + (\cos \varphi_2, \sin \varphi_2)) = \tan \frac{\alpha_1}{2} \cdot (e_1 + e_2)$$

- Körcikk körül az integrál nulla: $\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} n(\varphi) d\varphi + \int_{e_1} n_1 d\varphi + \int_{e_2} n_2 d\varphi = 0$

$$m_1 = (-n_1) + (-n_2), \text{ ahol: } n_1 = (\sin \varphi_1, -\cos \varphi_1)$$

$$n_2 = (-\sin \varphi_2, \cos \varphi_2)$$



$$m_i = \tan \frac{\alpha_i}{2} \cdot (e_i + e_{i+1})$$

ÁLTALÁNOS BARICENTRIKUS KOORDINÁTÁK – 3D KONTROLLVÁZ: HÁROMSZÖGLAPOKKAL DEFINIÁLVA

- Kontrollváz: kizárólag háromszög lapok

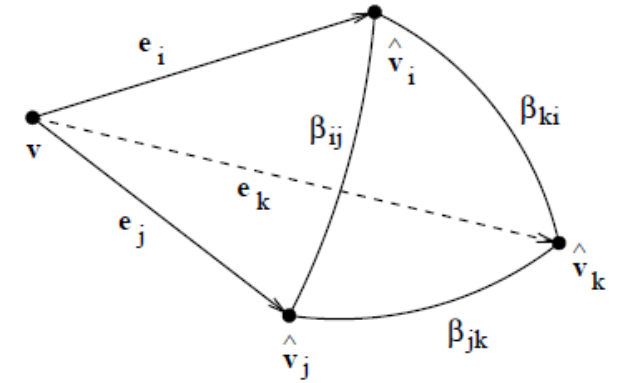
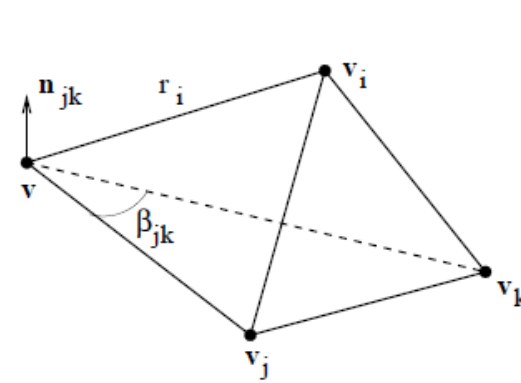
$$\sum_{i=1}^n \lambda_i(v) v_i = v \quad \text{és} \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i(v) \cdot (v_i - v) = 0$$

- vetítsük a poliéder csúcsait a v középpontú egységsugarú gömbre
- felületi integrál a gömbi háromszög és a körcikkek által határolt téridomra:

p pont a gömbön

$$\underbrace{\int_{T_{\text{gömbi}}} n(p) dT_{\text{gömbi}}}_{\text{gömbi háromszög}} + \underbrace{\int_{F_{jk}} n(p) dF + \int_{F_{ki}} n(p) dF + \int_{F_{ij}} n(p) dF}_{\text{körcikkek}} = 0$$



$$\int_{T_{\text{gömbi}}} (p - v) dT_{\text{gömbi}} = \mu_{iT} \cdot e_i + \mu_{jT} \cdot e_j + \mu_{kT} \cdot e_k$$

$$\mu_{iT} = \frac{\beta_{ij} \cdot n_{ij} \cdot n_{jk} + \beta_{jk} + \beta_{ki} \cdot n_{ki} \cdot n_{jk}}{2 \cdot e_i \cdot n_{jk}}$$

$$w_i = \frac{1}{r_i} \cdot \sum_{(v_i \in T)} \mu_{iT} \longrightarrow \lambda_i(v) = \frac{w_i(v)}{\sum_{j=1}^n w_j(v)}$$

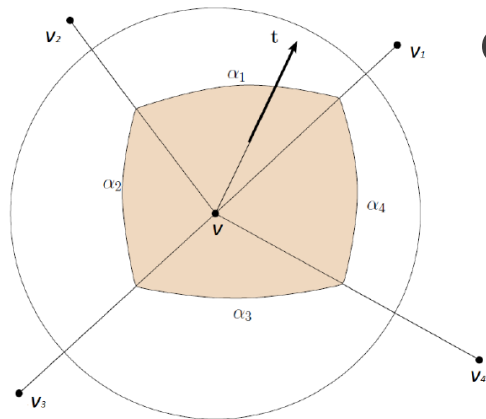
ÁLTALÁNOS BARICENTRIKUS KOORDINÁTÁK – 3D KONTROLLVÁZ: N-OLDALÚ LAPOKKAL DEFINIÁLVA

- Kontrollváz: tetszőleges N-oldalú lapok

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i(p) v_i = v \quad \text{és} \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i(v) \cdot (v_i - v) = 0$$

Vetítsük a poliéder csúcsait a v középpontú egységsugarú gömbre.



Gömbi poligon t integrálvektora:

$$t = \int_{N_{\text{gömbi}}} (p - v) dN_{\text{gömbi}} = \sum_{i=1}^N \mu_{iN} \cdot e_i$$

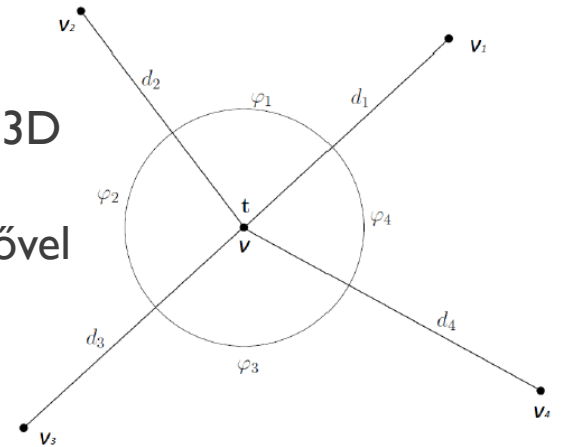
$$t = \sum_{i=1}^k \frac{(vv_i) \times (vv_{i+1})}{|vv_i| \cdot |vv_{i+1}| \cdot \sin \frac{\alpha_i}{2}} \cdot \frac{\alpha_i}{2},$$

- Vetítsük a gömbi poliédert egy t -re merőleges síkra
- csúcsok síkra történő súlyozott levetítése
→ 2D probléma

Ez még nem oldja meg a 3D problémát, vissza kell skálázni a vetítési tényezővel

↓
 μ tényezők

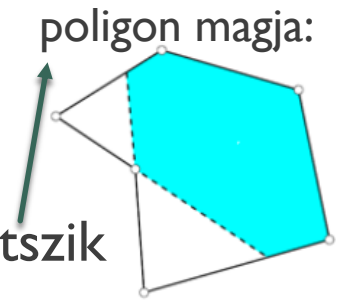
$$w_i = \frac{1}{r_i} \cdot \sum_{(v_i \in N)} \mu_{iN} \quad \longrightarrow \quad \lambda_i(v) = \frac{w_i(v)}{\sum_{j=1}^n w_j(v)}$$



KÖZÉPÉRTÉK KOORDINÁTÁK TULAJDONSÁGAI

A **térbeli** középérték koordináták fontos tulajdonságai:

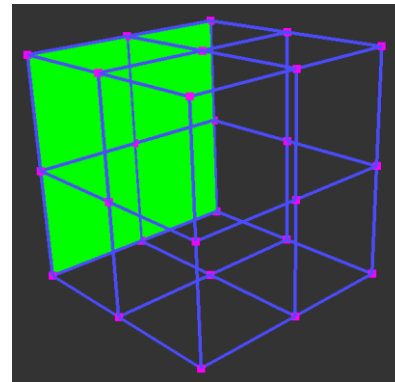
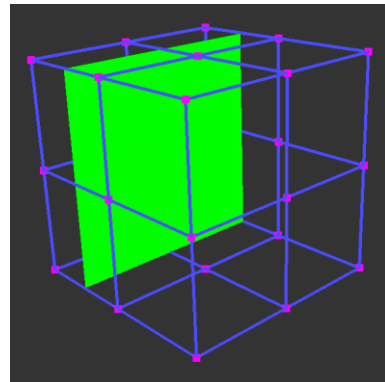
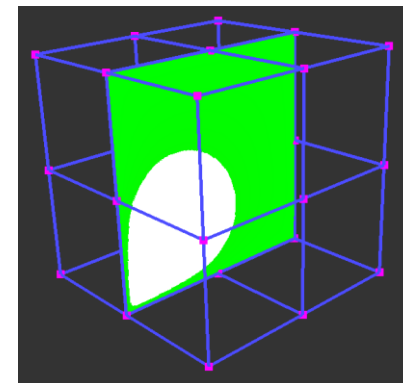
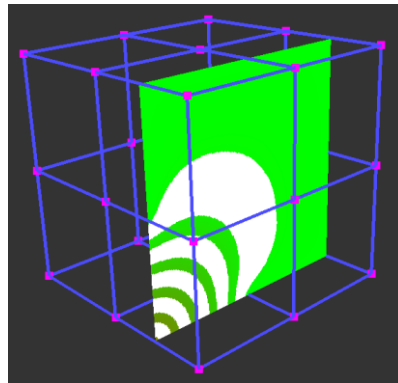
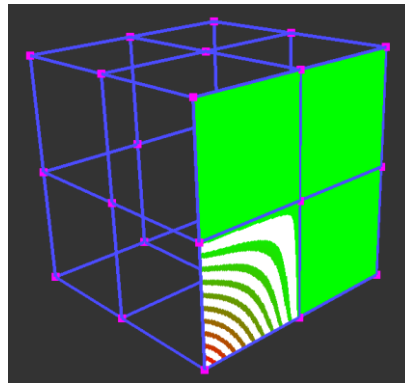
- 1) Lagrange tulajdonság: $\lambda_i(v) = \delta_{ij}$
- 2) Csúcsokat kivéve $\lambda_i \in C^\infty$ folytonos, csúcsokban C^0
- 3) Adott v ponthoz: $\sum_{i=1}^n \lambda_i(v) = 1$
- 4) Minden v pont: $v = \sum_{i=1}^n \lambda_i(v)v_i$ (lineáris kombináció)
- 5) Hasonlósági transzformáció nem változtatja meg az értékét
- 6) Lineárisan függetlenek (minden v -re: $\sum_{i=1}^n c_i \lambda_i = 0$, minden i -re $c_i = 0$)
- 7) Lineárisan változnak a bázispoligon élein a két csúcshoz rendelt érték között
- 8) λ_i értéke pozitív minden olyan v pontban, ahol a hozzá tartozó v_i csúcspont látszik
- 9) **A poliéder lapjain elhelyezkedő pontok koordinátái a 2D-s esetre visszavezetve számíthatók**



TESZTPROGRAM – KONTROLLVÁZ

– KÖZÉPÉRTÉK KOORDINÁTÁK ELOSZLÁSA 3D-BEN

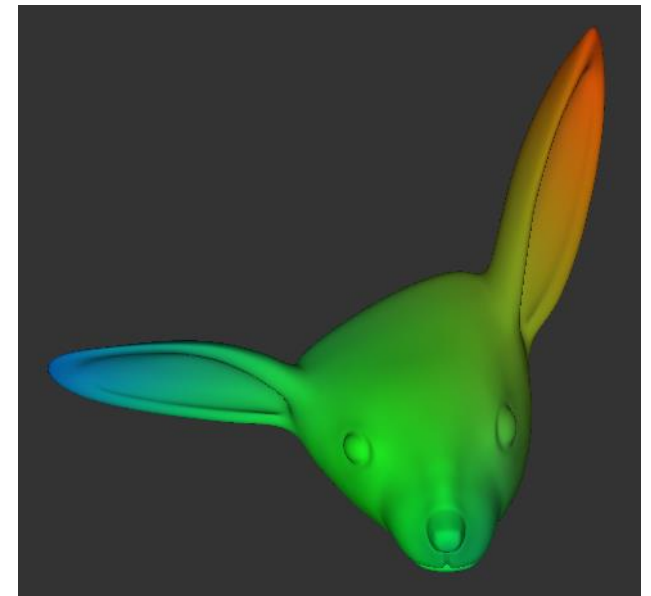
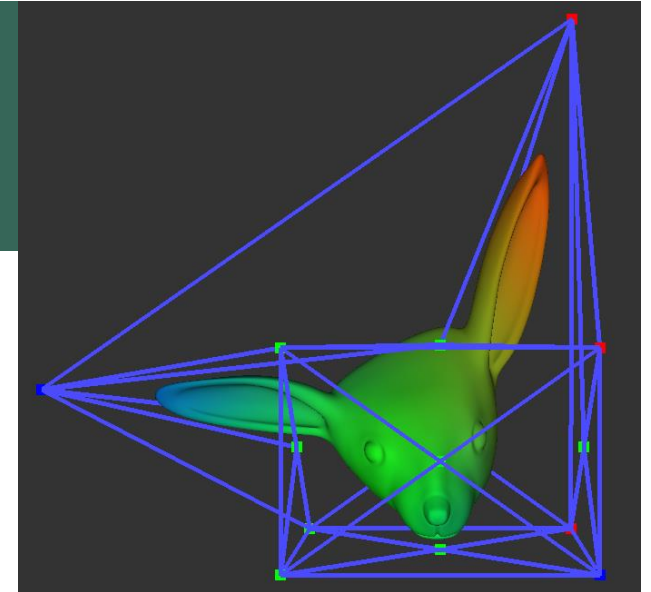
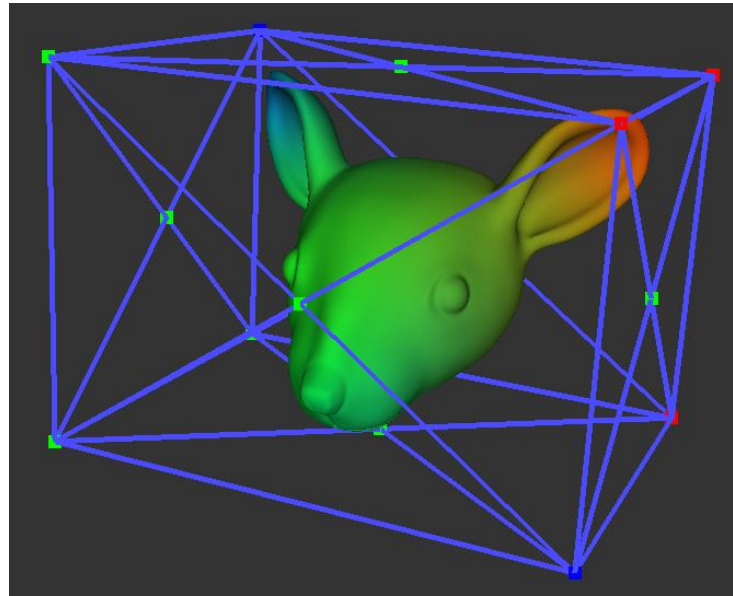
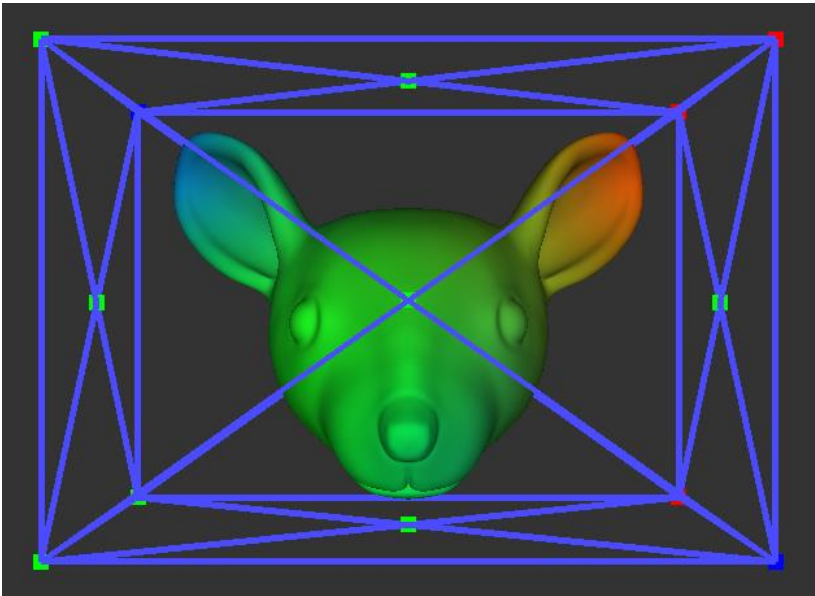
- Kontrollváz egy kontrollpontjához tartozó baricentrikus koordináták eloszlása:



TESZTPROGRAM – KONTROLLVÁZ

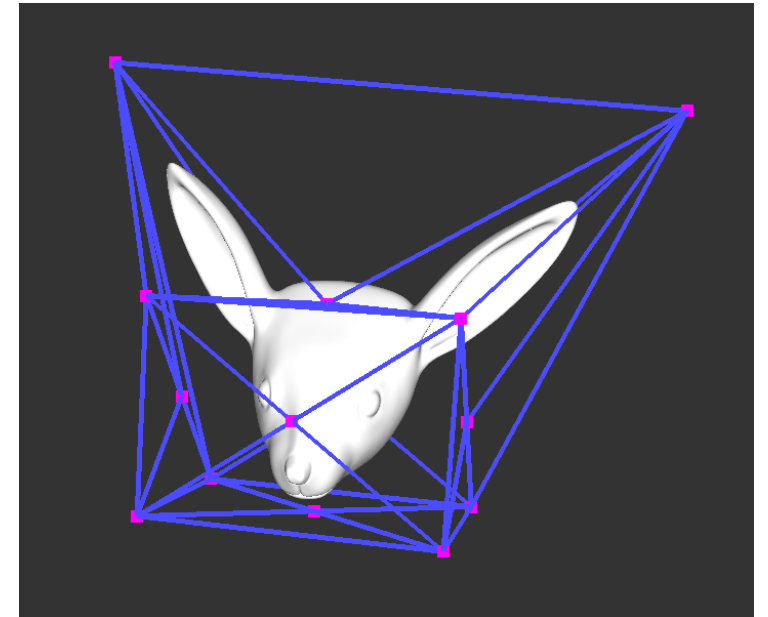
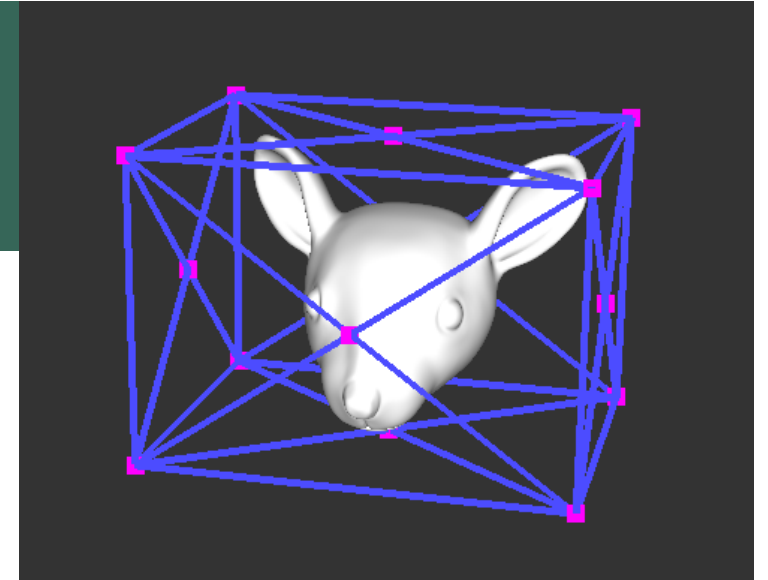
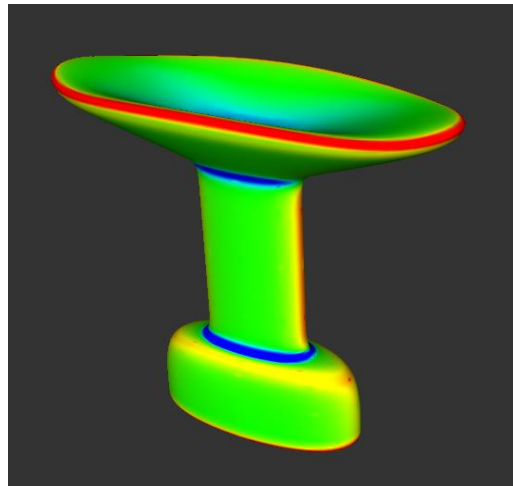
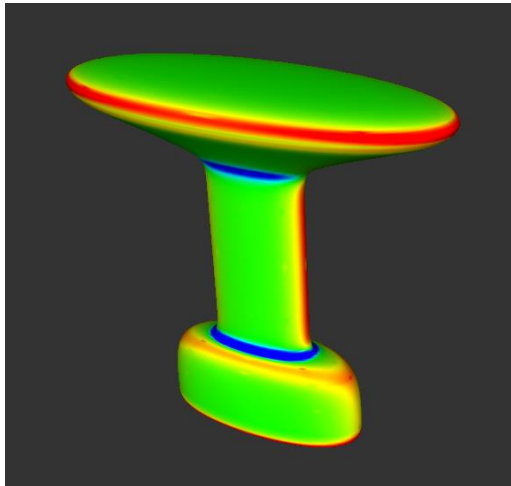
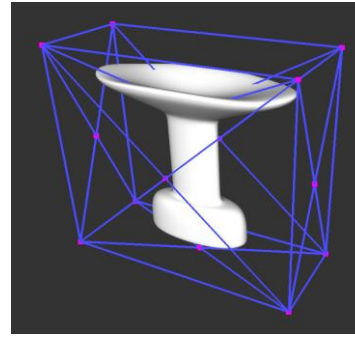
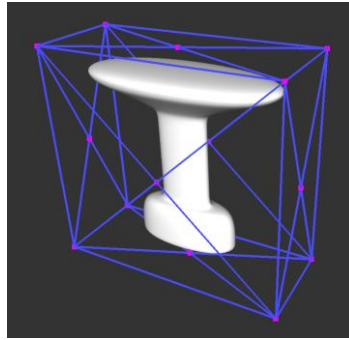
– KÖZÉPÉRTÉK KOORDINÁTÁK ELOSZLÁSA 3D-BEN

- Modell színezése a baricentrikus koordináták eloszlása szerint a kontrollpontokhoz rendelt színek alapján



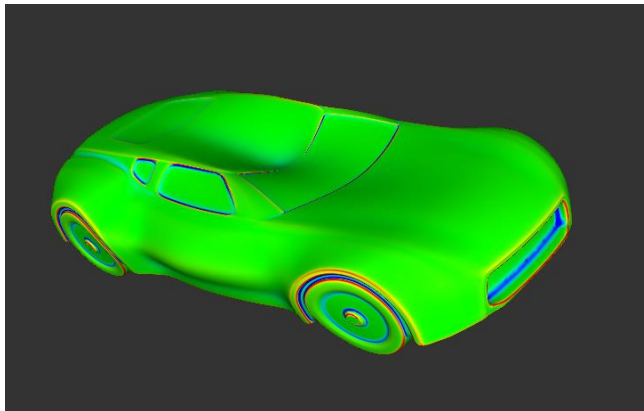
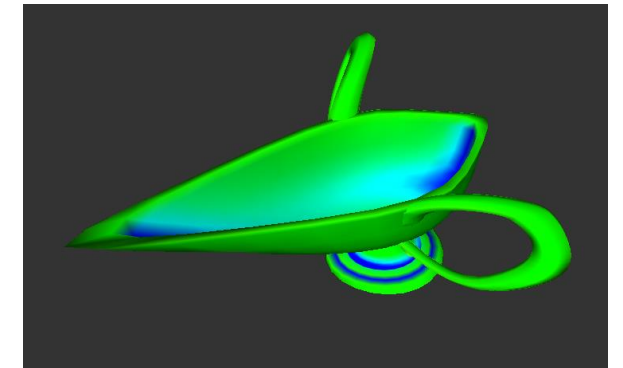
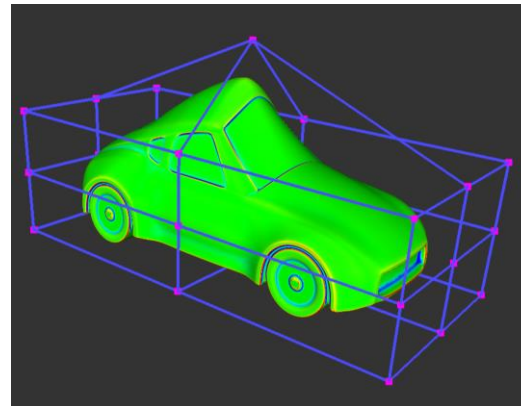
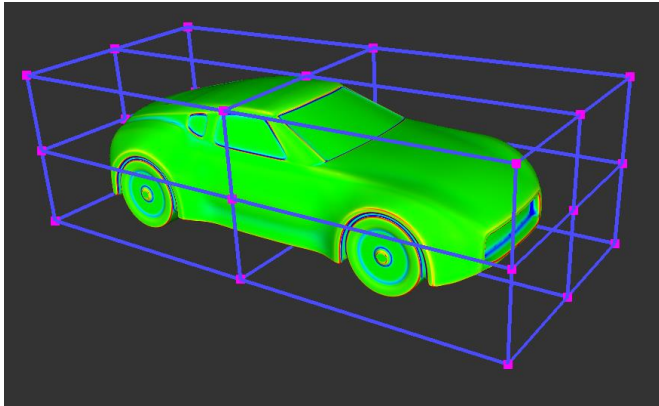
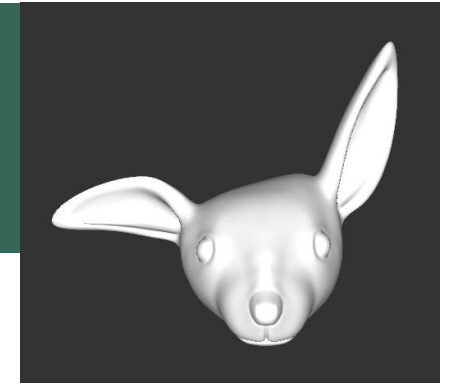
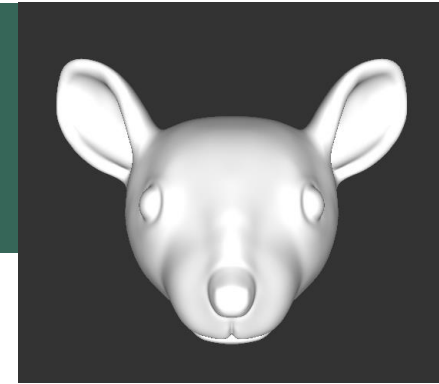
TESZTPROGRAM – KONTROLLVÁZ – DEFORMÁCIÓVIZSGÁLATA 3D-BEN

- Háromszöglapok által határolt kontrollváz

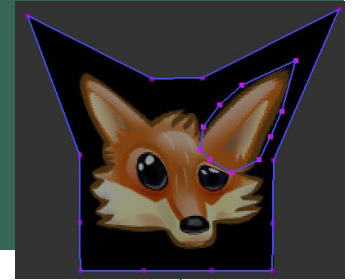


TESZTPROGRAM – KONTROLLVÁZ – DEFORMÁCIÓVIZSGÁLATA 3D-BEN

- Általános, N -oldalú lapok által definiált kontrollváz

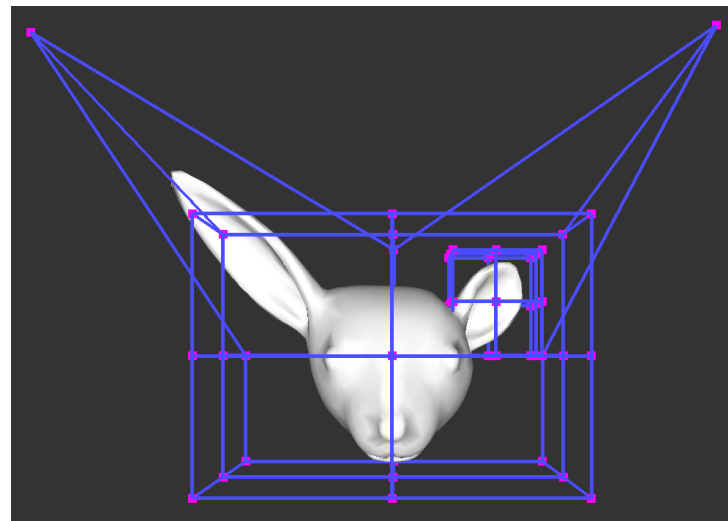
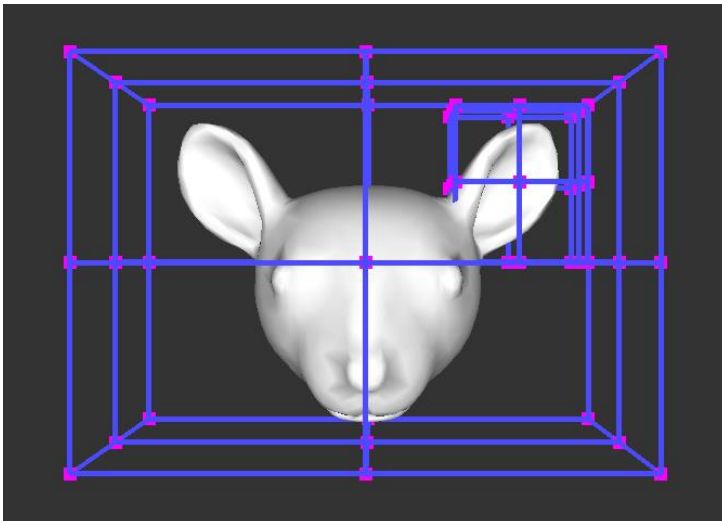


TESZTPROGRAM – KONTROLLVÁZ DEFORMÁCIÓ VIZSGÁLATA 3D-BEN

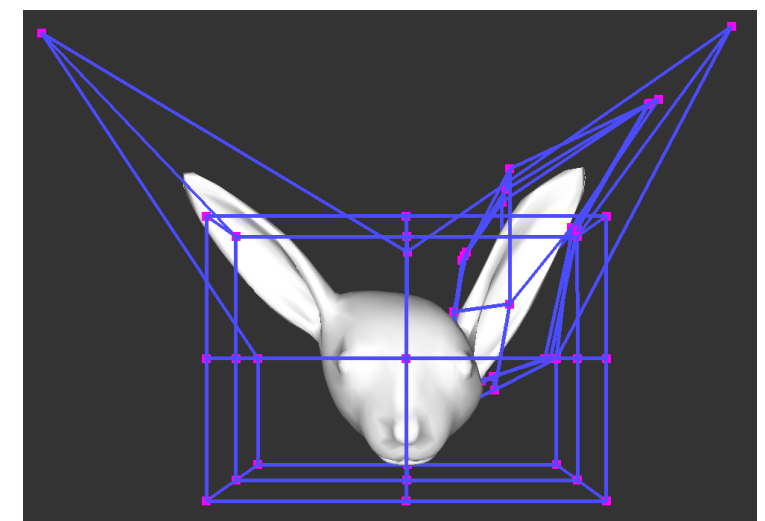


korábbi 2D-s példa

- Egymásba ágyazott kontrollváz:
 - belső kontrollvázban lévő pontok baricentrikus koordinátái kizárólag a belső kontrollpoliédertől származnak



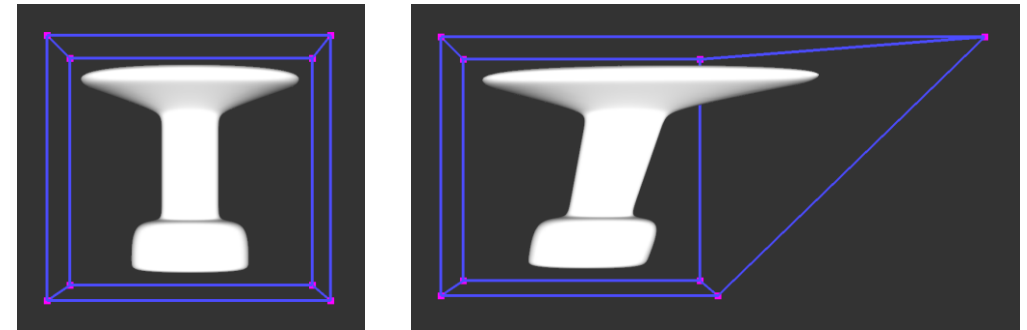
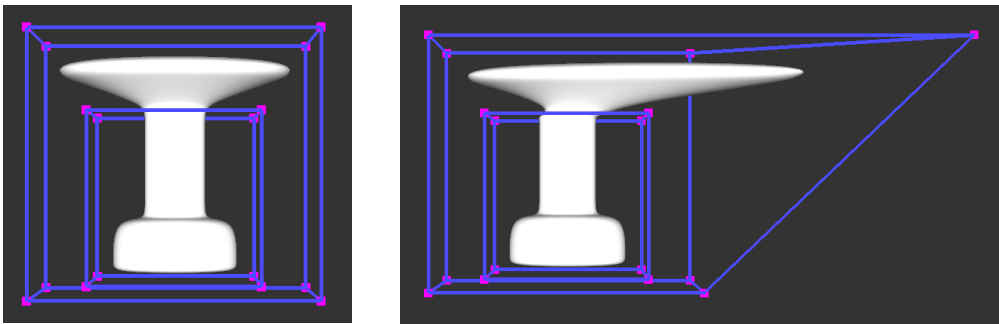
külső kontrollváz deformáció



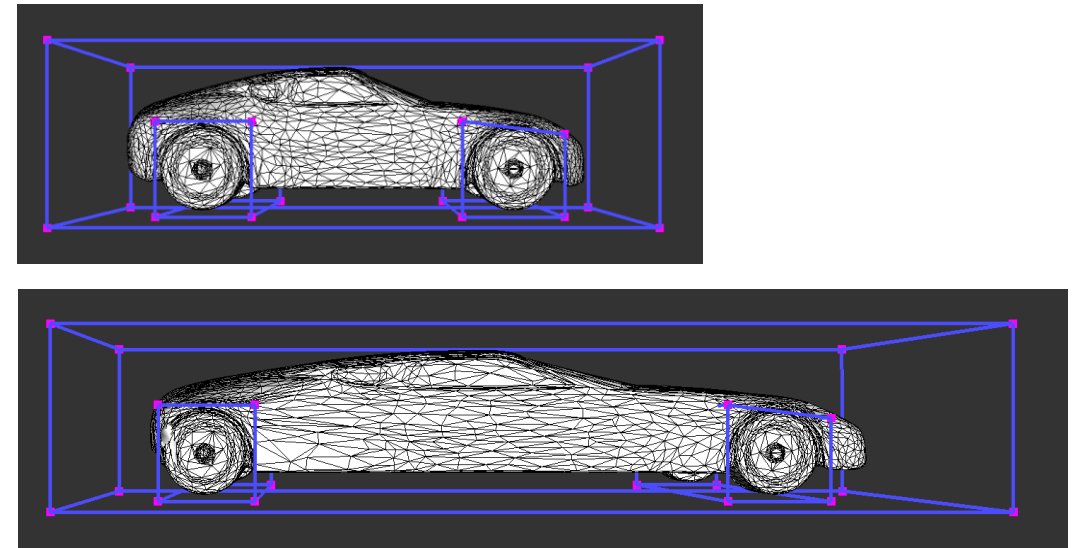
külső és belső kontrollváz
deformáció

LOKÁLIS MÓDOSÍTÁS

- Egyetlen kontrollpont elmozdítására a teljes modell változik:
 - kontrollponthoz közel – nagyobb mértékben
 - kontrollponttól távol – kisebb mértékben
- Egymásba ágyazott kontrollvázak módszere:



- Új módszer – kényszerezett lokális módszer:



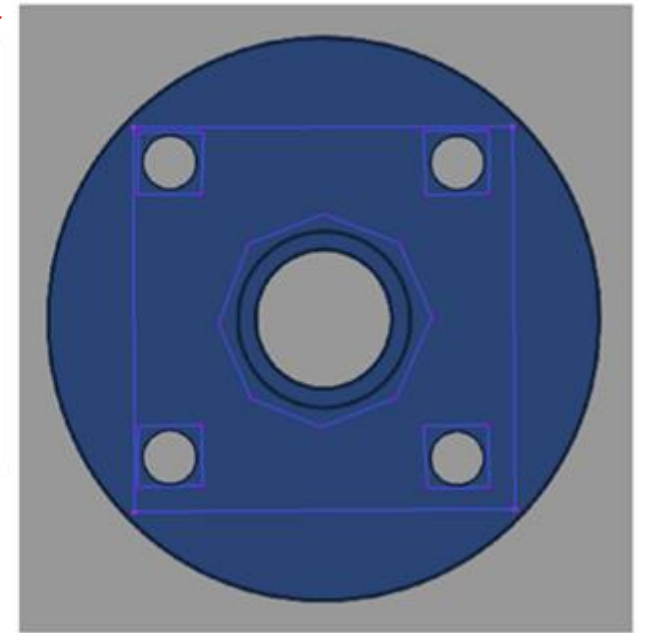
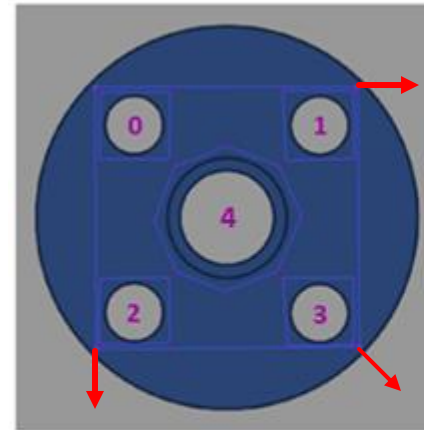
TESZTPROGRAM – KÉNYSZEREZETT LOKÁLIS MÓDSZER – LOKÁLIS MÓDOSÍTÁS

■ Felépítés:

- módosító kontrollváz
- kontrollvázak részletek lokális megőrzésére – alakváltozást és elmozdulást akadályozó kényszerek
 - fix x-tengely, y-tengely (és/vagy z-tengely) mentén – (0)
 - alakja ne változzon, elmozdulás az x-tengely, az y-tengely (és/vagy z-tengely) mentén engedélyezett – (1, 2, 3)
 - deformálása engedélyezett az x-tengely, az y-tengely (és/vagy z-tengely) mentén – (4)

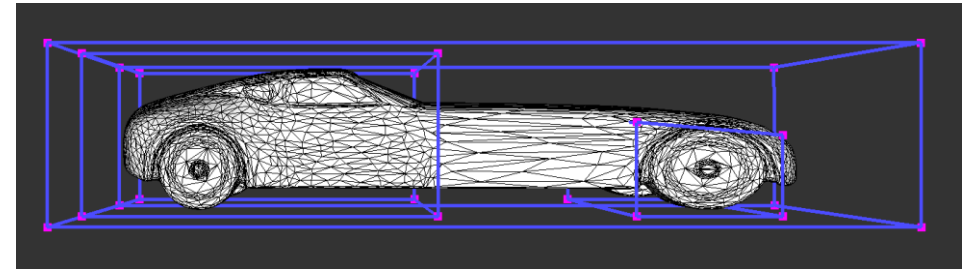
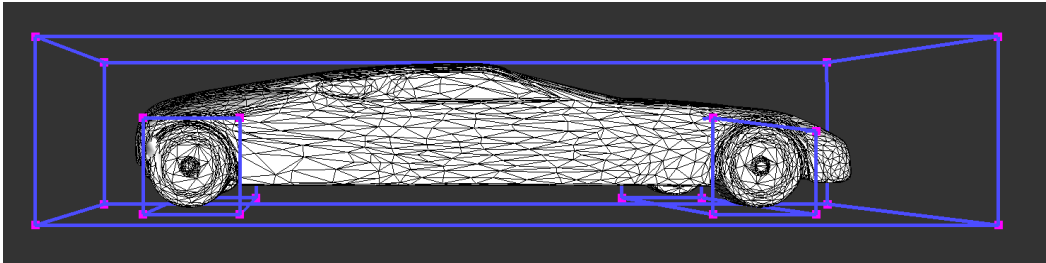
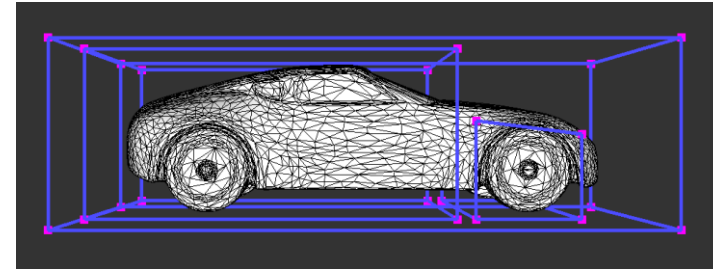
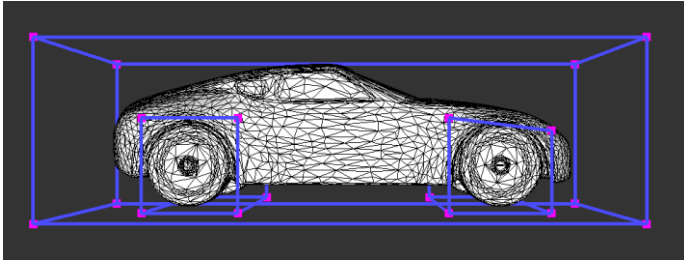
Példák – 2D:

módosító kontrollváz
pontjainak elmozdítása



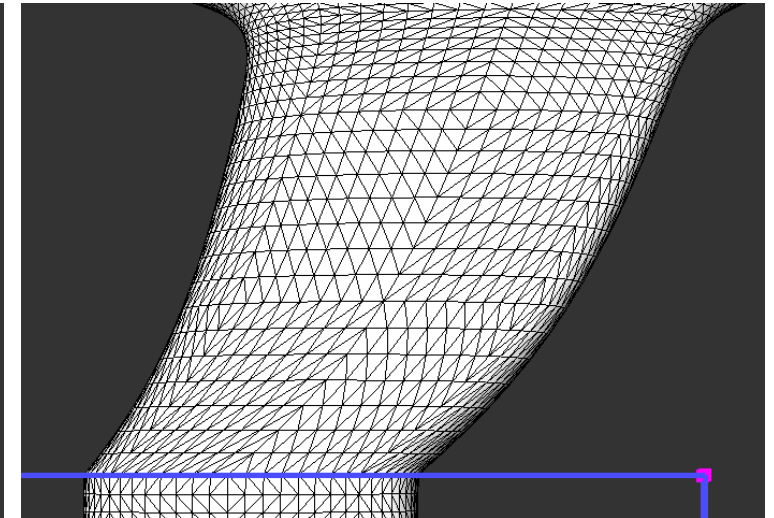
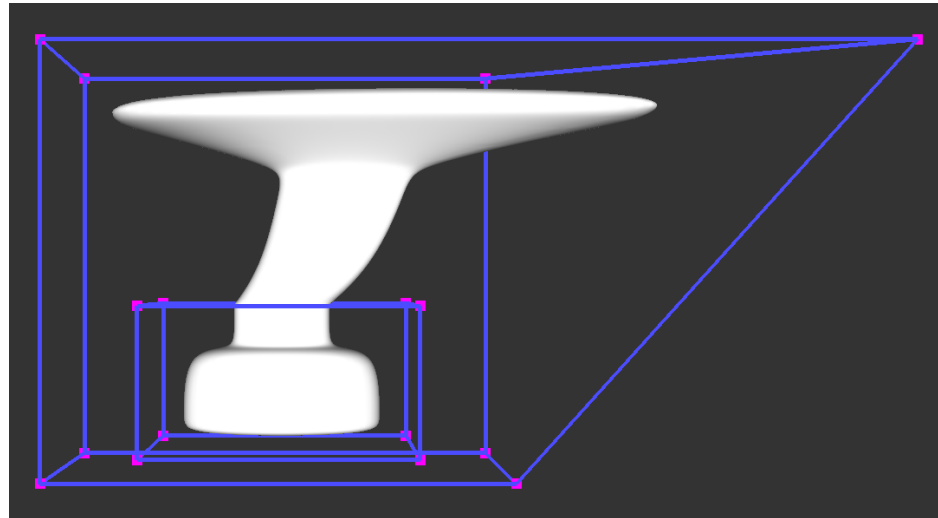
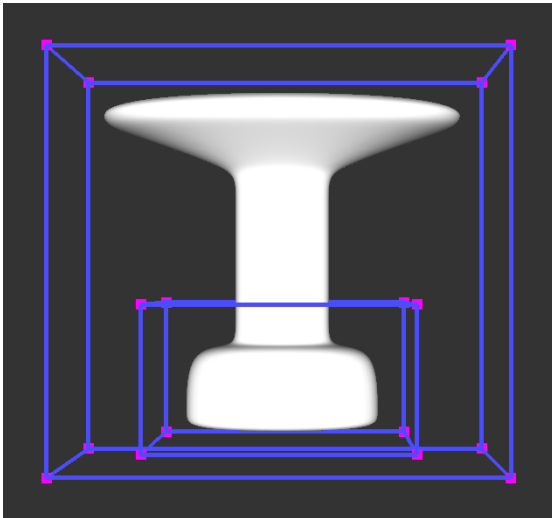
TESZTPROGRAM – KÉNYSZEREZETT LOKÁLIS MÓDSZER – LOKÁLIS MÓDOSÍTÁS

■ Példák – 3D:



TESZTPROGRAM – KÉNYSZEREZETT LOKÁLIS MÓDSZER

- A kényszerezett kontrollvázak szélén nagy módosítások esetén törés látható
 - javítására kidolgoztam egy új simítási eljárást



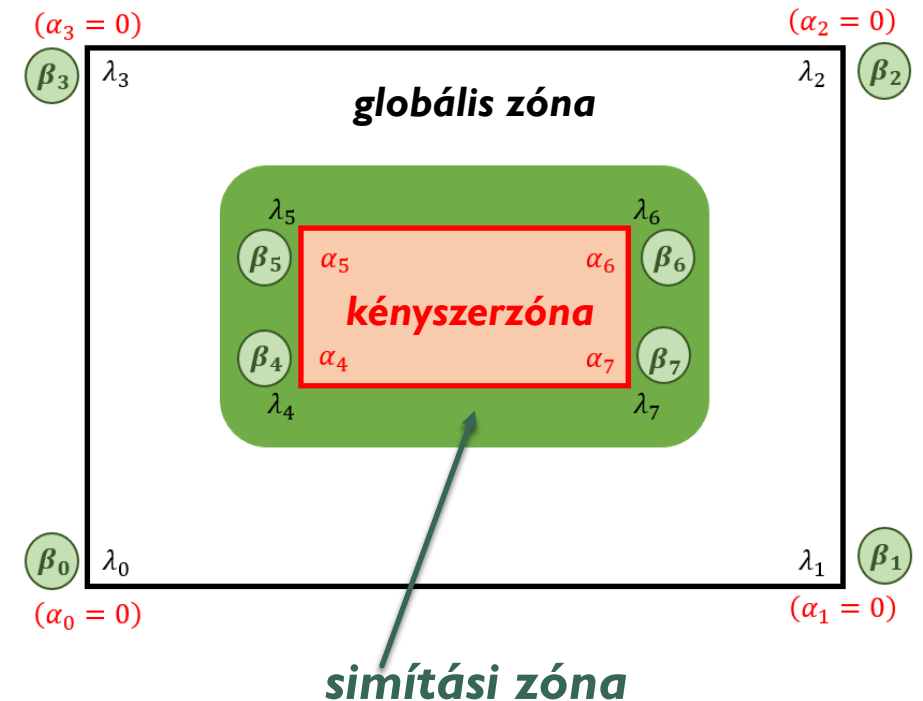
TESZTPROGRAM – KÉNYSZEREZETT LOKÁLIS MÓDSZER

■ Simítás:

- közvetlen: felületi simítás a rácsvonalakon
- **közvetett: tér simítása a baricentrikus koordináták módosításával**

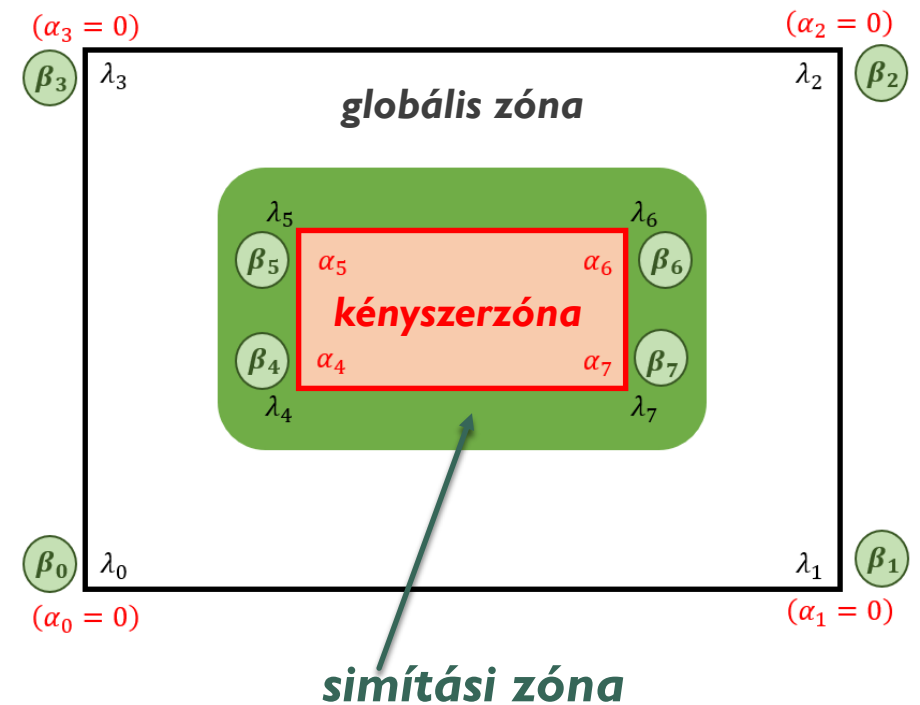
■ baricentrikus koordináták:

- λ_i : baricentrikus koordináták a globális zónában (deformálandó terület)
- α_i : baricentrikus koordináták a kényszerzónában (belső kontrollvázon belül)
- β_i : baricentrikus koordináták a simítási zónában
 - λ_i és α_i lineáris kombinációja



TESZTPROGRAM – KÉNYSZEREZETT LOKÁLIS MÓDSZER

- Simítás:
 - a globális zónában lévő pontokhoz is rendeljük α_i baricentrikus koordinátákat
 - λ_i : baricentrikus koordináták a globális zónában (deformálható terület)
 - $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$, de $\sum_{belső} \lambda_i = c$
 - simítási zóna: k küszöbérték ($0 < k < 1$)
 - $\sum_{belső} \lambda_i = c > k$
 - simítási zóna szélessége: $1 - k$



TESZTPROGRAM – KÉNYSZEREZETT LOKÁLIS MÓDSZER

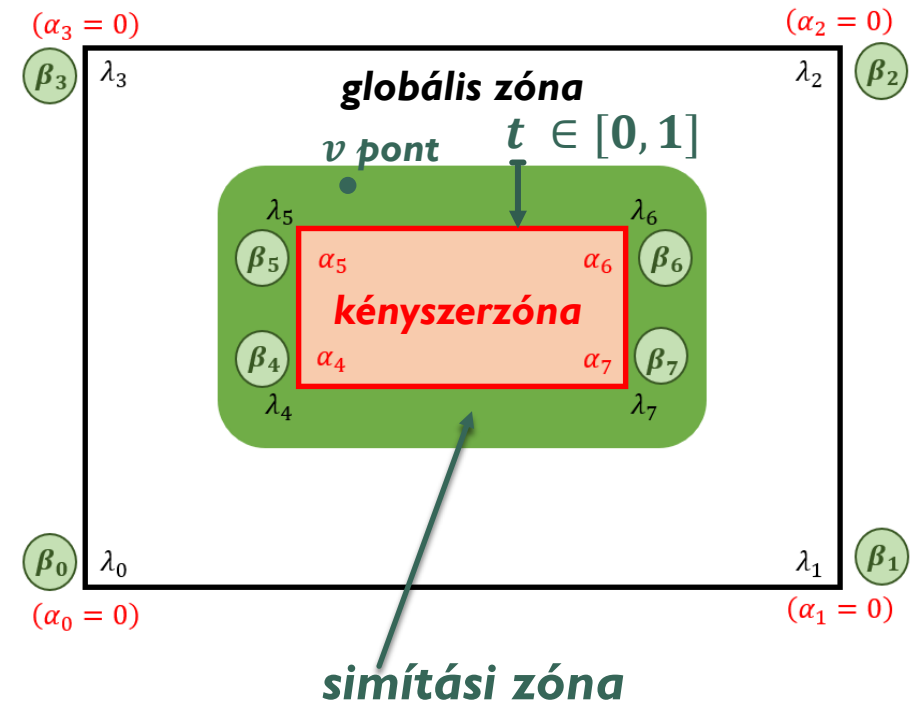
■ Simítás:

- β_i simított baricentrikus koordináta:

$$\beta_i = A(t) \cdot \lambda_i + B(t) \cdot \alpha_i$$

ahol:

- $t \in [0,1]$: k és 1 érték közt hol helyezkedik el a pont
- $A(t), B(t)$ súlyfüggvények, feltételek:
 - $A(t = 0) = 1, A(t = 1) = 0$
 - $B(t = 0) = 0, B(t = 1) = 1$
- a vertex reprodukciós tulajdonság megmarad:
 v pont: $v = \beta_1 v_1 + \beta_2 v_2 + \dots + \beta_n v_n = \sum_{i=1}^n \beta_i v_i$



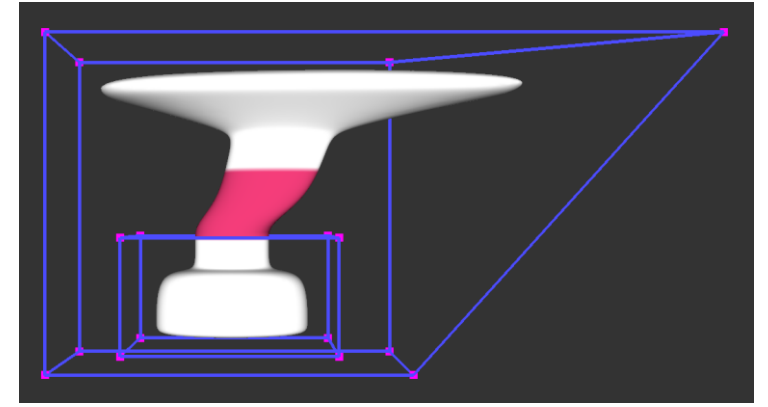
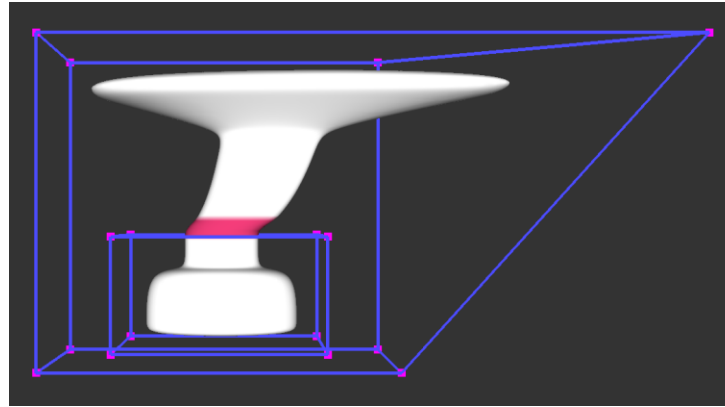
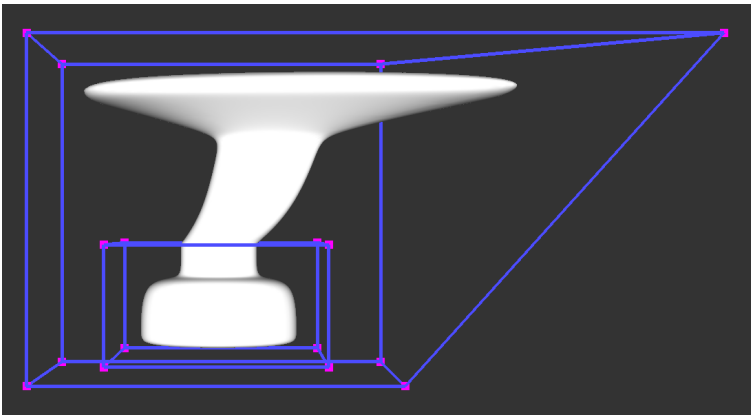
TESZTPROGRAM – KÉNYSZEREZETT LOKÁLIS MÓDSZER

■ Simítás:

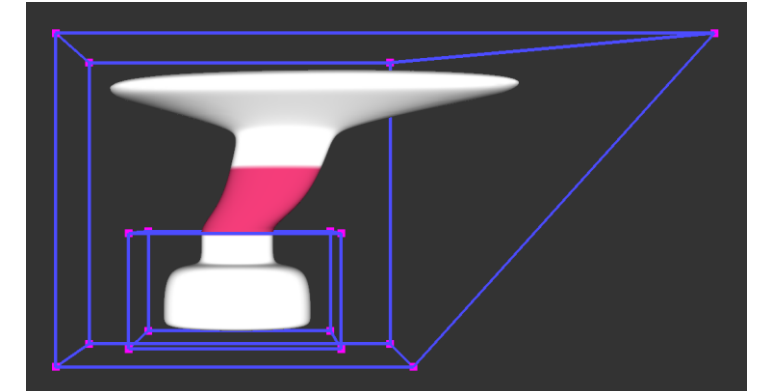
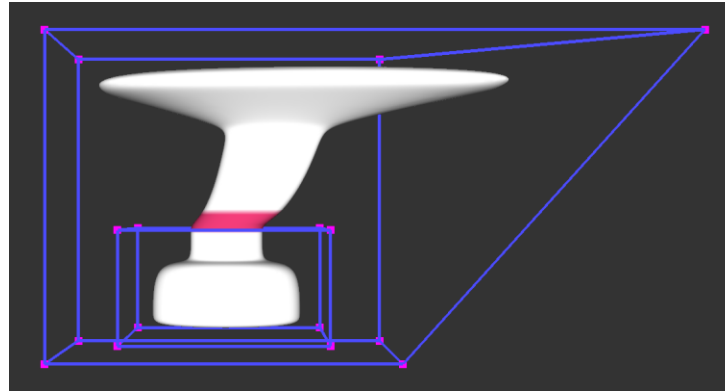
0.5 ← *simítási zóna szélessége* → 0.9

- harmadfokú Hermite polinomokkal →

simítatlan ábra:



- másodfokú súlyfüggvényekkel →

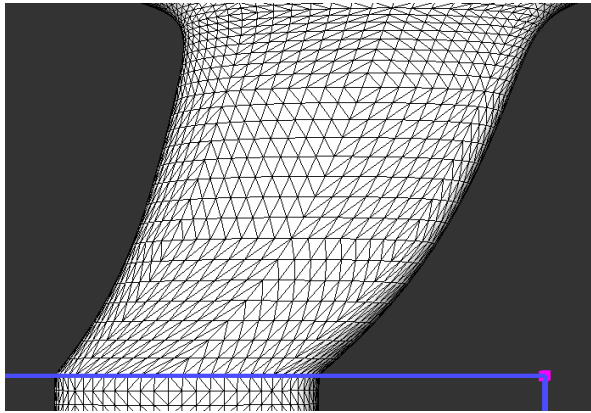


TESZTPROGRAM – KÉNYSZEREZETT LOKÁLIS MÓDSZER

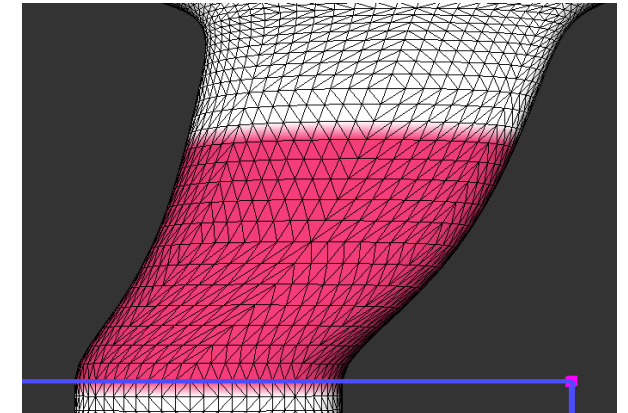
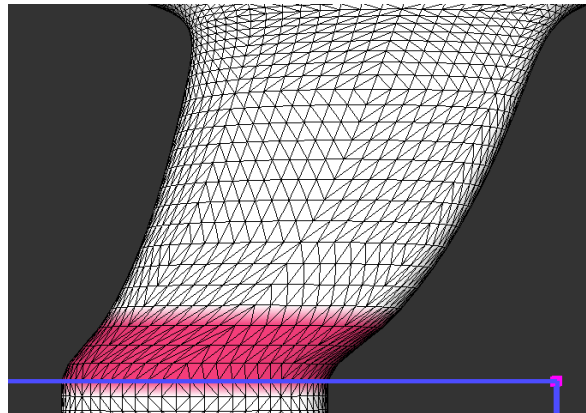
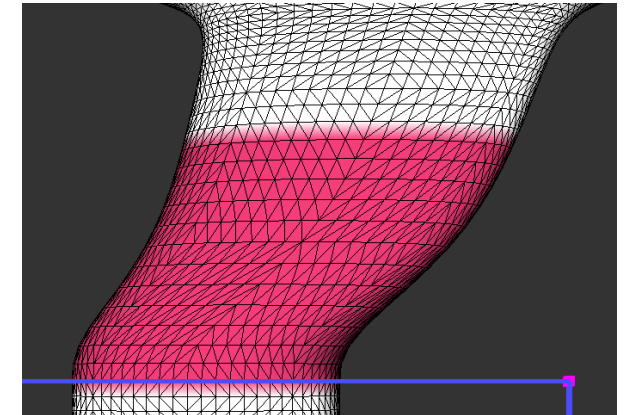
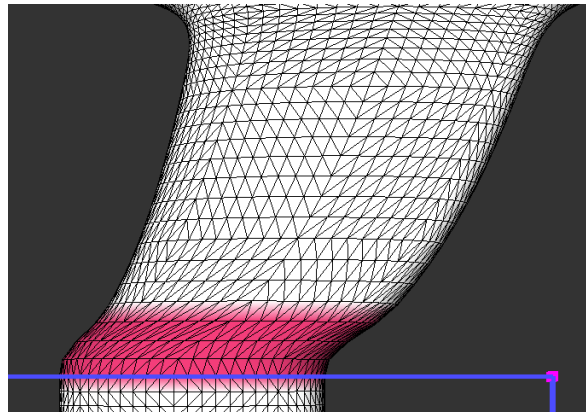
- Simítás hatása a kényszerezett kontrollváz szélén:

- harmadfokú Hermite polinomokkal →

simítatlan ábra:



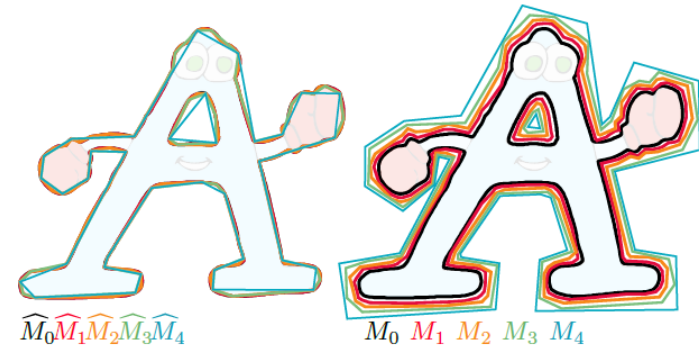
0.5 ← *simítási zóna szélessége* → 0.9



- másodfokú súlyfüggvényekkel →

ÖSSZEFOGLALÓ ÉS TOVÁBBI TERVEK

- Szakirodalom tanulmányozása
 - deformációs módszerek
 - baricentrikus koordináták
- 2D-s és 3D-s tesztprogram
 - általános kontrollváz
- Új módszer kidolgozása objektumok lokális deformálására
 - simítási eljárás
- További tervek:
 - optimális kontrollváz készítése
 - pl. egymásba ágyazott kontrollváz módszer





Köszönöm a figyelmet!