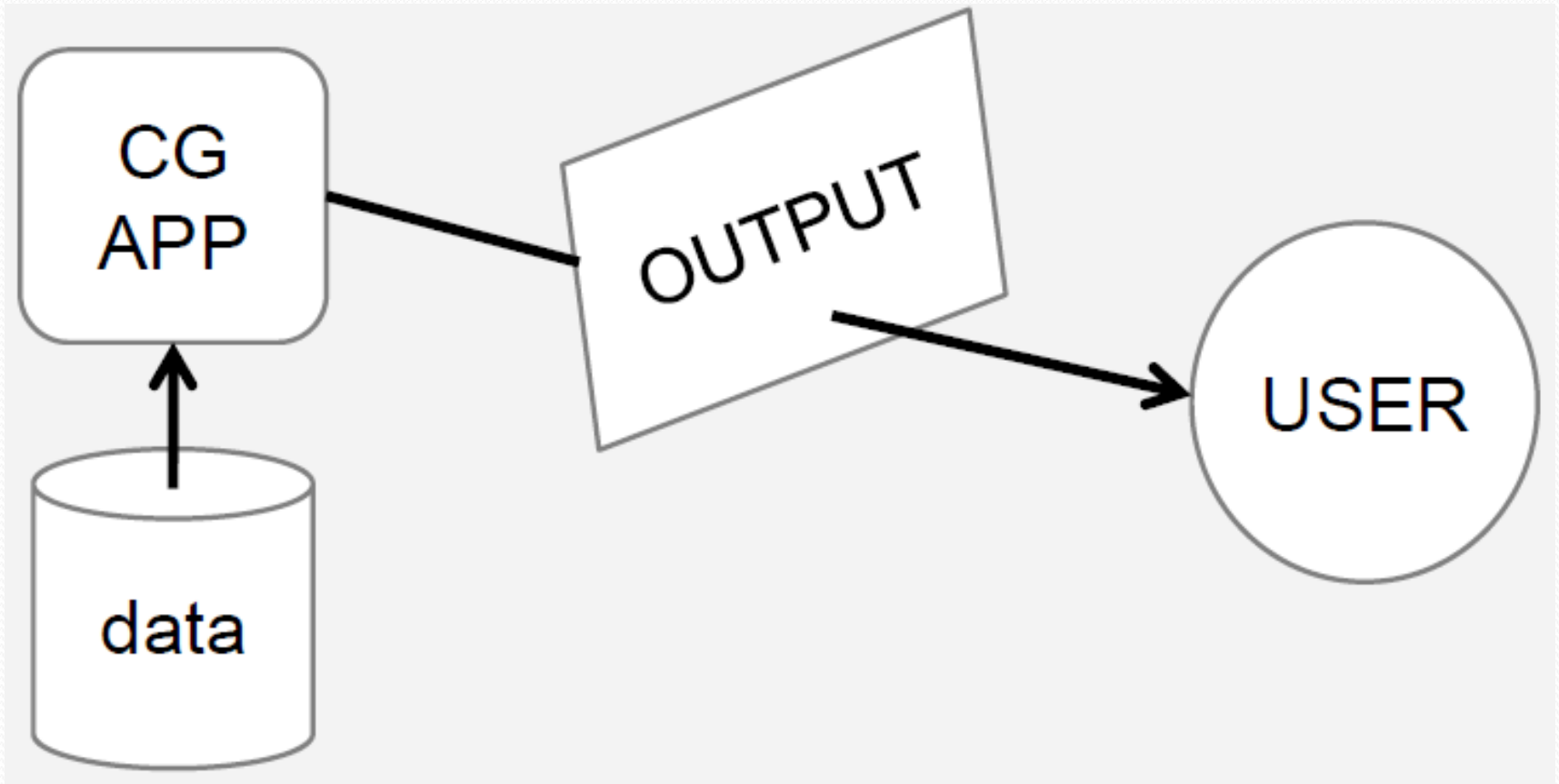


Základy počítačovej grafiky a spracovania obrazu

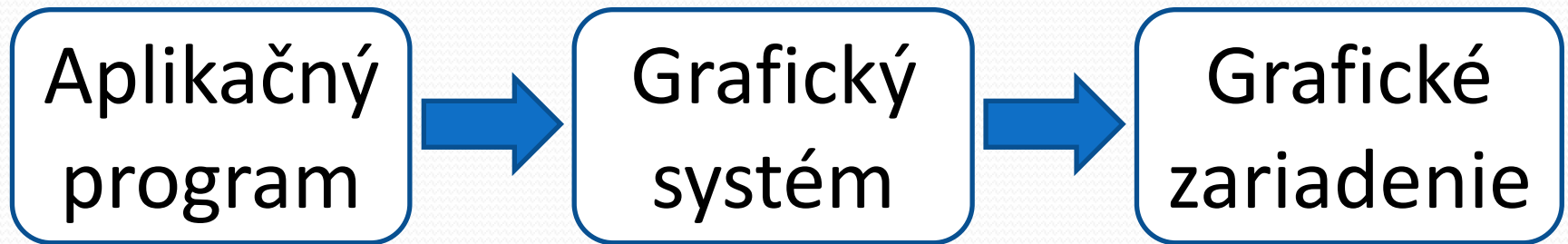
Základná geometria,
Reprezentácia objektov

Júlia Kučerová

Úloha počítačovej grafiky



Referenčný model PG



- Vnútri boxov - štandardy
- Medzi boxami - interface
- Oddelené modelovanie a renderovanie
- Oddelené časti, ktoré sú závislé na zariadení od nezávislých častí

Referenčný model PG

Aplikačný program

- Grafické dáta
 - Modely, textúry, popisy, mapovanie,...
- Animácia
 - Skriptovaná, procedurálna (fyzika), interaktívna
- Aplikačná logika

Zdroje dát

- Modelovanie, zachytávanie, simulácia

Referenčný model PG

Grafický systém

- Spracovanie dát (vstup, konverzia)
- Transformácie
- Projekcia
- Orezávanie, viditeľnosť, osvetlenie
- Rasterizácia

Referenčný model PG

Grafické zariadenie

- Driver zariadenia
- Fyzické zariadenie
- Formát výstupu



Referenčný model PG

Aplikačný
program



Grafický
systém



Grafické
zariadenie

Geometrický
priestor

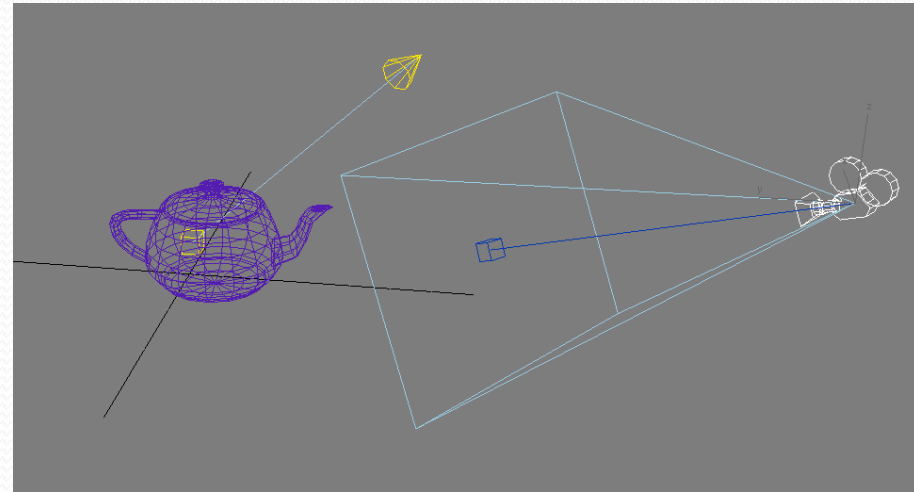
Zobrazovací
priestor



Grafická informácia a renderovanie

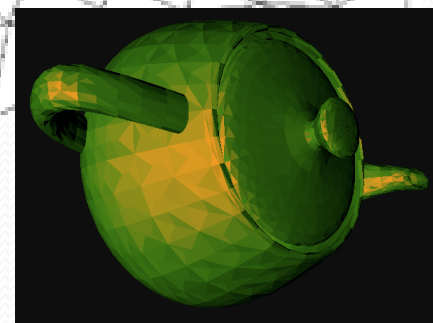
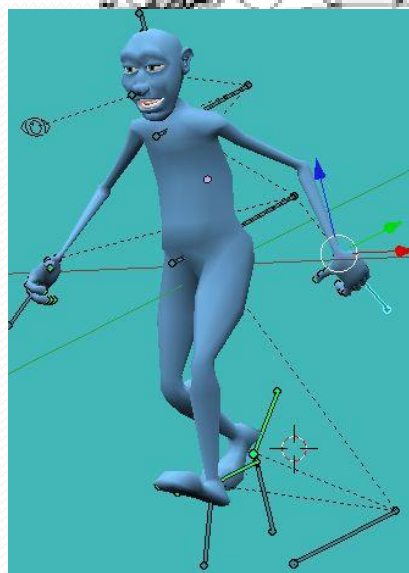
Geometrický priestor

- Scéna
 - Virtuálna reprezentácia sveta
- Objekty
 - Viditeľné objekty (reálny svet)
 - Neviditeľné objekty (napr. svetlá, kamera)



Dimenzionalita

- 2D
 - Tvary, obrazy
- 2.5D
 - Povrchy, terén
- 3D
 - Objekty, scény
- 4D animácia



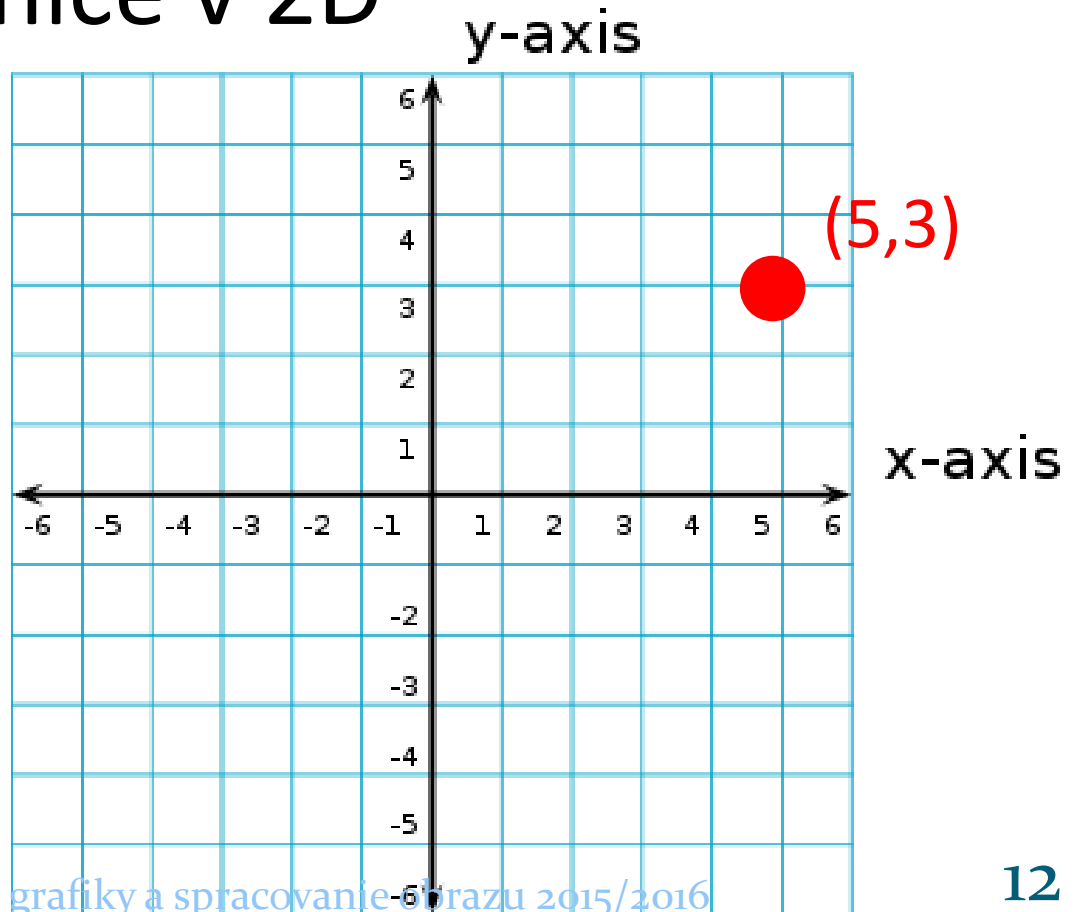
Definícia scény

- Objekty
 - Aký objekt, kde, ako transformovaný
 - Ako objekty vyzerajú – farba, materiál, textúra
- Kamera
 - Pozícia, cieľ, parametre kamery

Súradnicový systém

- Kartézske súradnice v 2D

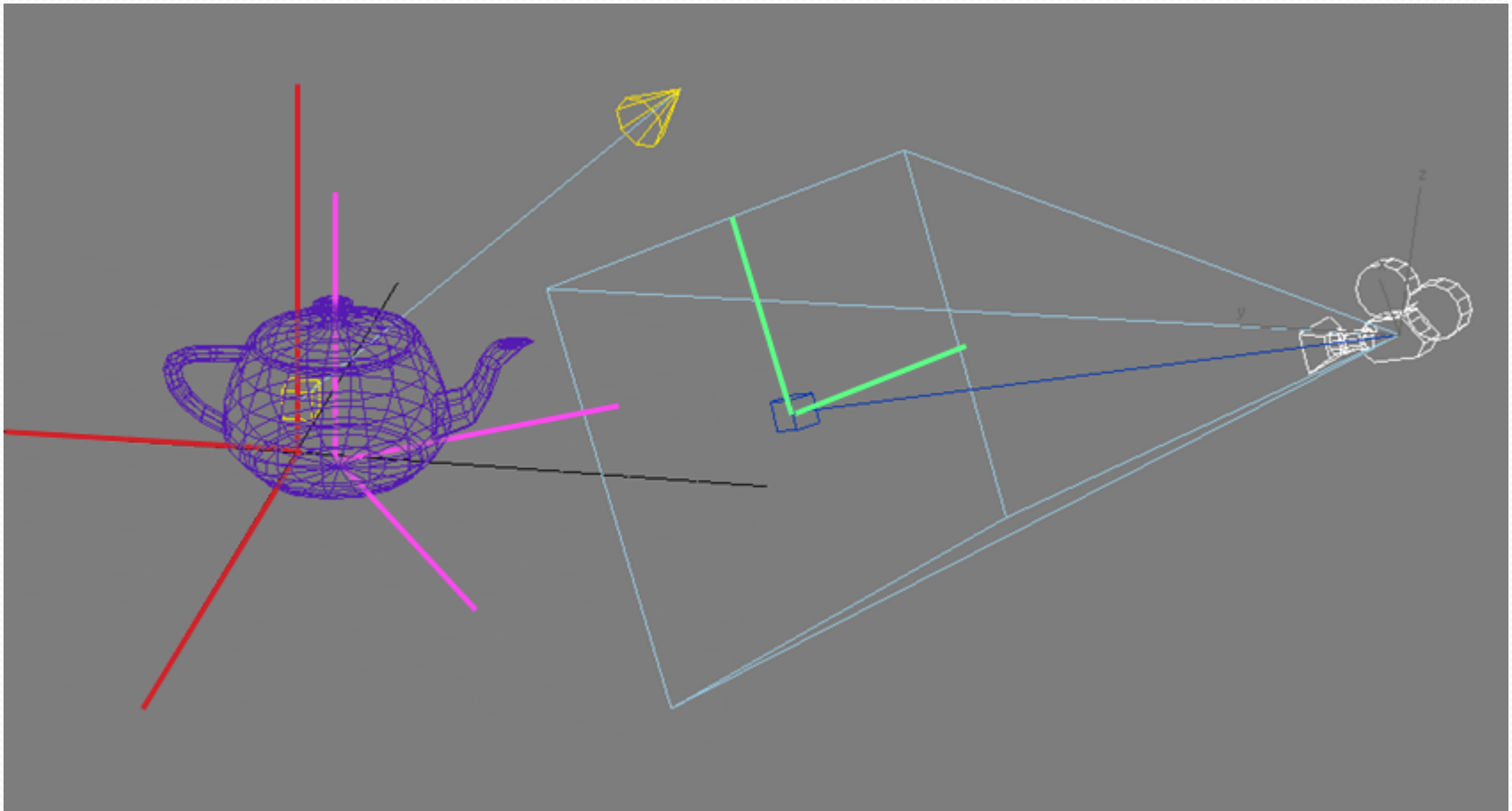
- Počiatok SS
- X os
- Y os



Súradnicové systémy

- Globálne
 - Jeden systém pre celú scénu
- Lokálne
 - Samostatné pre každý objekt
 - Pivot bod
- Súradnicový systém kamery
- Súradnicový systém okna
- Konverzia medzi systémami

Globálne/lokálne/kamerové SS



Základná geometria

BOD

- Pozícia v priestore
- Karteziánske súradnice (x,y)
 (x,y,z)
- Homogénne súradnice $(x,y,1)$
 $(x,y,z,1)$
 - Odčítanie bodov
 - Posunutie
- Označenie: A,B,..

VEKTOR

- Smer a veľkosť v priestore
- Odčítanie dvoch bodov
- Karteziánske súradnice (x,y)
 (x,y,z)
- Homogénne súradnice $(x,y,0)$
(projekcie) $(x,y,z,0)$
- Označenie: \vec{u} , \vec{v} , \vec{n} ...

Základné operácie

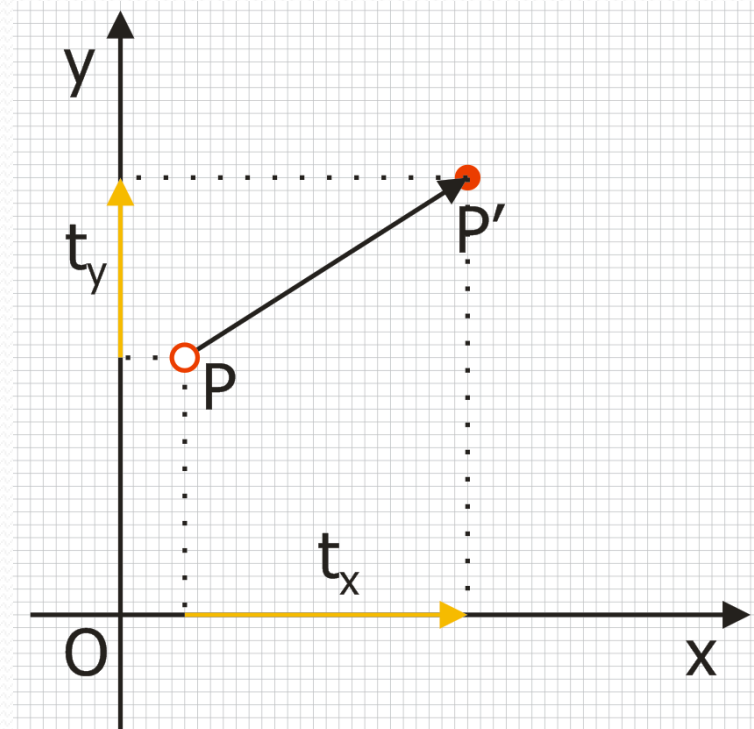
- Súčet
 - bod + vektor = bod
 - vektor + vektor = vektor
- Odčítanie
 - bod – bod = vektor
 - bod – vektor = bod + (-vektor) = bod
 - vektor – vektor = vektor + (-vektor) = vektor
- Násobenie
 - skalár * vektor = vektor
 - vektor x vektor = vektor



Transformácie

Transformácie

- Príklad – posunutie
- $P(x,y) + \vec{v}(t_x, t_y) = P'(x+t_x, y+t_y)$



Transformačná matica

- Zjednotený spôsob vykonávania transformácií v 2D a 3D priestoroch
- Posunutie, rotácia, škálovanie, projekcie...
- Grafické karty optimalizované na prácu s maticami
- Aplikácia transformácie = vynásobenie matíc

Transformácia posunutím

- $P(x,y) \rightarrow P'(x',y')$
- $x' = x + t_x$
- $y' = y + t_y$

- Maticový zápis:

$$(x', y', 1) = (x, y, 1) \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{pmatrix}$$

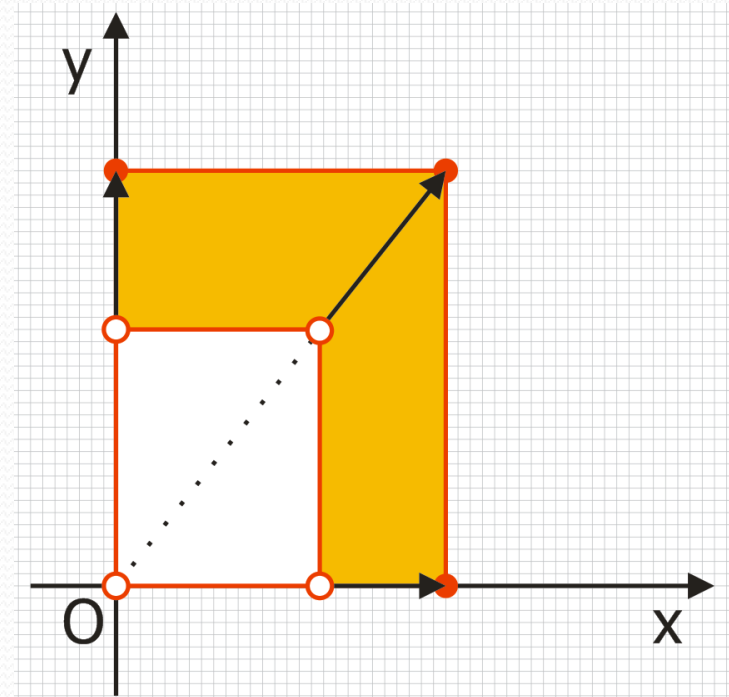
Transformácia škálovaním

- $P(x,y) \rightarrow P'(x',y')$
- $x' = x \cdot s_x$
- $y' = y \cdot s_y$

- Maticový zápis

(s – faktor škálovania)

$$(x', y', 1) = (x, y, 1) \begin{pmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

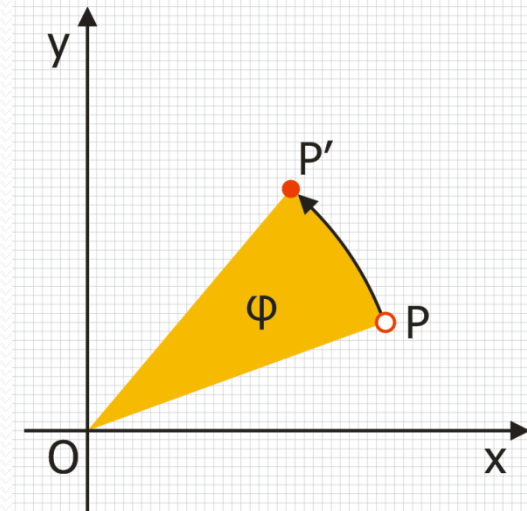


Transformácia rotáciou

- $P(x,y) \rightarrow P'(x',y')$
- $x' = x \cdot \cos \varphi - y \cdot \sin \varphi$
- $y' = y \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi$

- Maticový zápis:

$$(x', y', 1) = (x, y, 1) \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

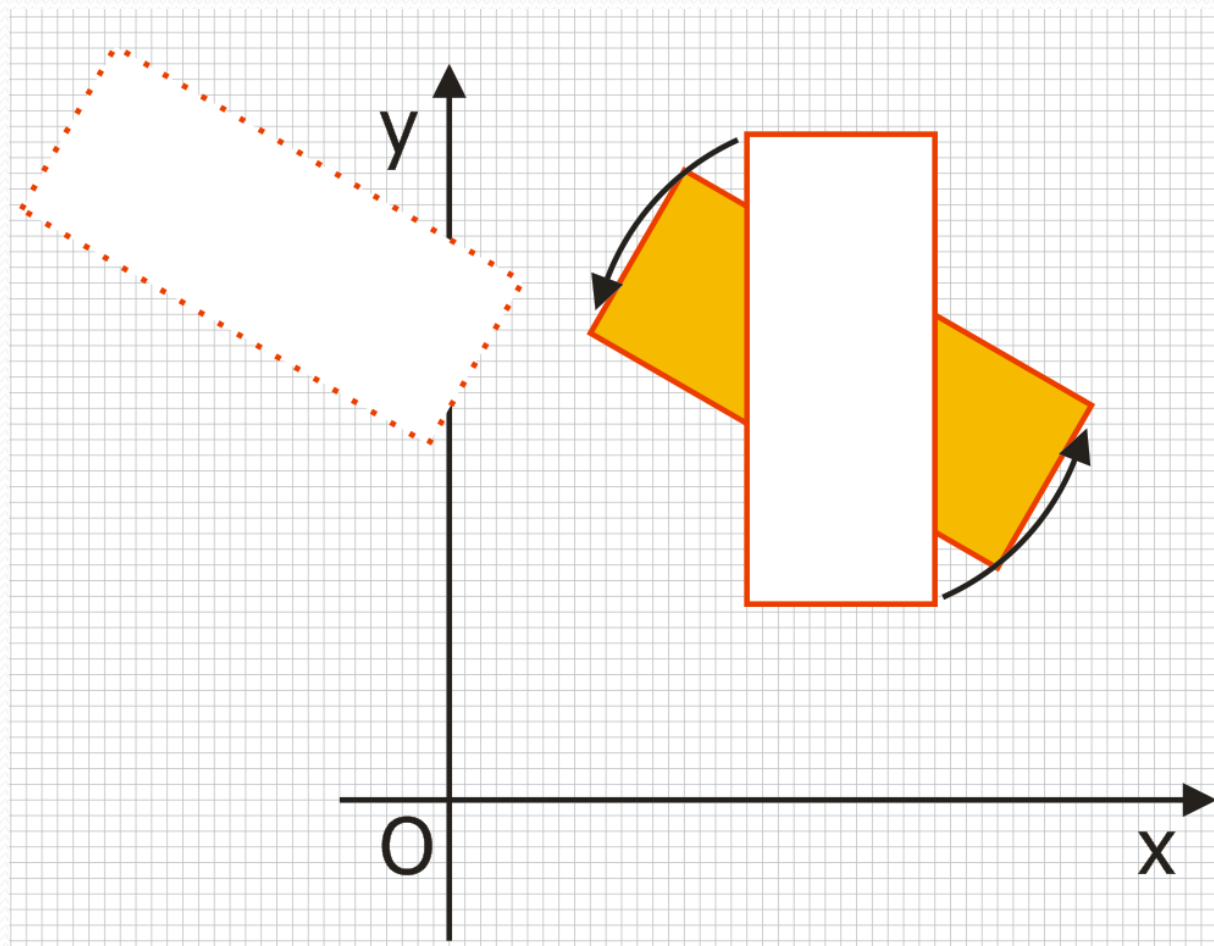


uhol φ :
 $\langle 0..360^\circ \rangle$
 $\langle 0..2\pi \rangle$

Orientácia
uhla!!

Otočenie

- Otočenie objektu o uhol φ



Skladanie transformácií

- 1. Posun stredu rotácie do počiatku SS: $t(t_x, t_y)$
- 2. Rotácia o uhol φ
- 3. Inverzné posunutie $t'(-t_x, -t_y)$

- Maticový zápis

$$(x', y', 1) = (x, y, 1) \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -t_x & -t_y & 1 \end{pmatrix}$$

Skladanie transformácií

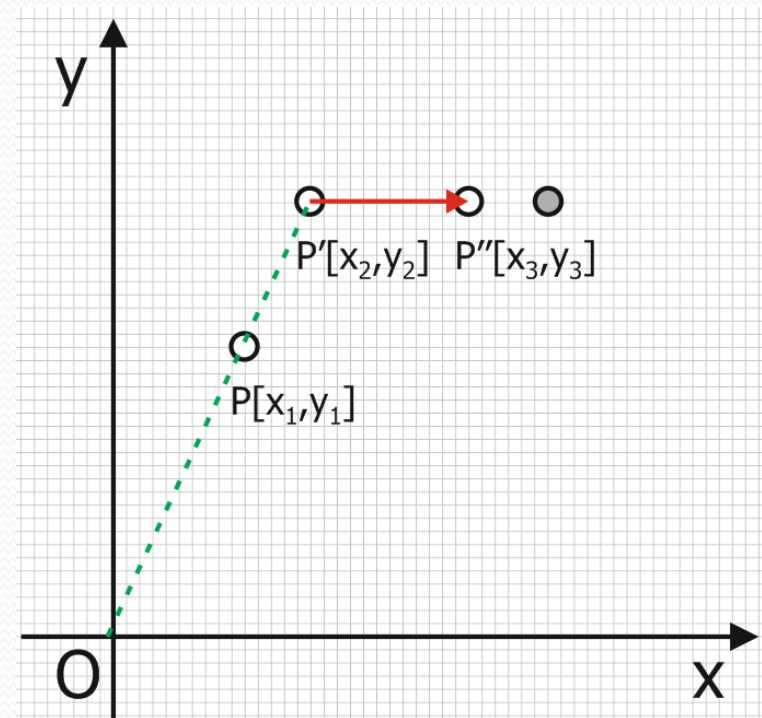
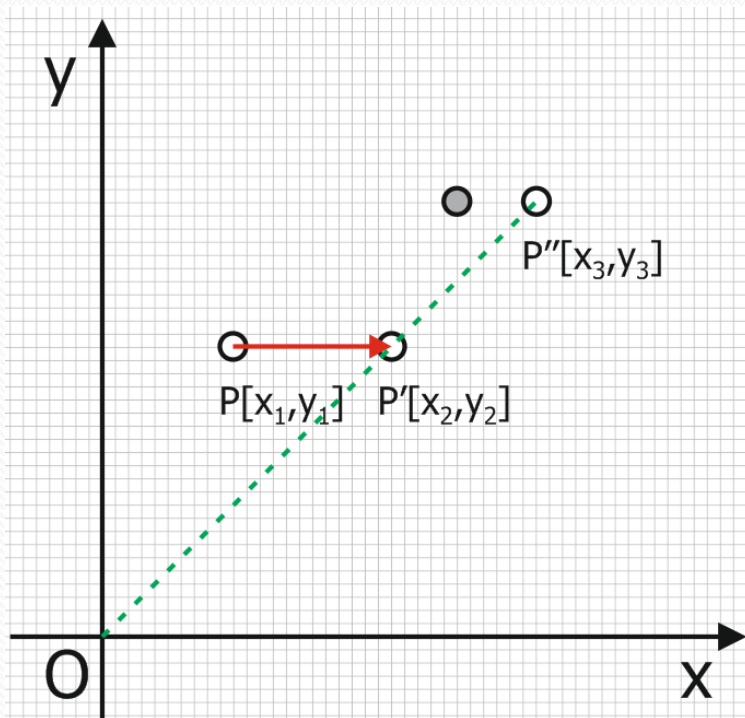
- Násobenie matíc je asociatívne
- $A.B.C = (A.B).C = A.(B.C)$
- Kombinované transformácie môžu byť použité opakovane

$$(x', y', 1) = (x, y, 1) \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -t_x & -t_y & 1 \end{pmatrix}$$

$$(x', y', 1) = (x, y, 1) \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ t_x \cos \varphi - t_y \sin \varphi - t_x & t_x \sin \varphi + t_y \cos \varphi - t_y & 1 \end{pmatrix}$$

Poradie transformácií

- Násobenie matíc nie je komutatívne – poradie transformácií je dôležité



3D transformácie

- škálovanie

$$\begin{pmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

posunutie

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & t_z & 1 \end{pmatrix}$$

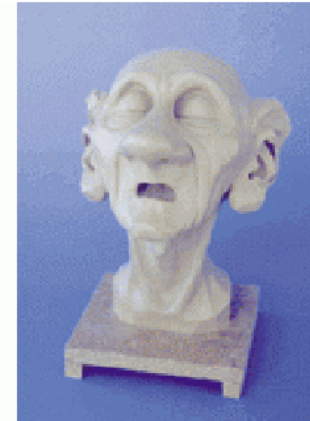
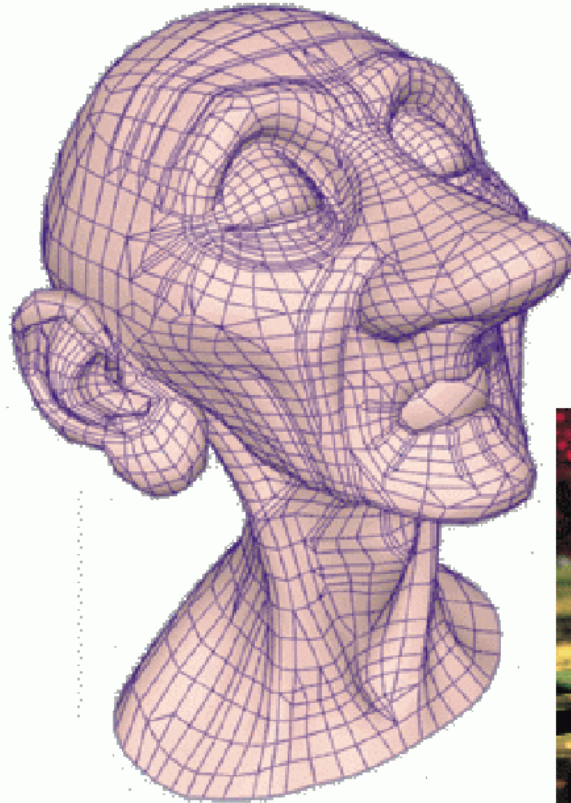
- rotácia

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_x & -\sin \varphi_x & 0 \\ 0 & \sin \varphi_x & \cos \varphi_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \varphi_y & 0 & \sin \varphi_y & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \varphi_y & 0 & \cos \varphi_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \varphi_z & \sin \varphi_z & 0 & 0 \\ -\sin \varphi_z & \cos \varphi_z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Reprezentácia objektov

- Geri`s Game

- Pixar 1997
- Subdivision surfaces
- Polhemus 3d scan
- Over 700 controls



Test

- Dobrovoľníci – popíšte obraz ostatným
- Ostatní – zreprodukuje obraz

Test

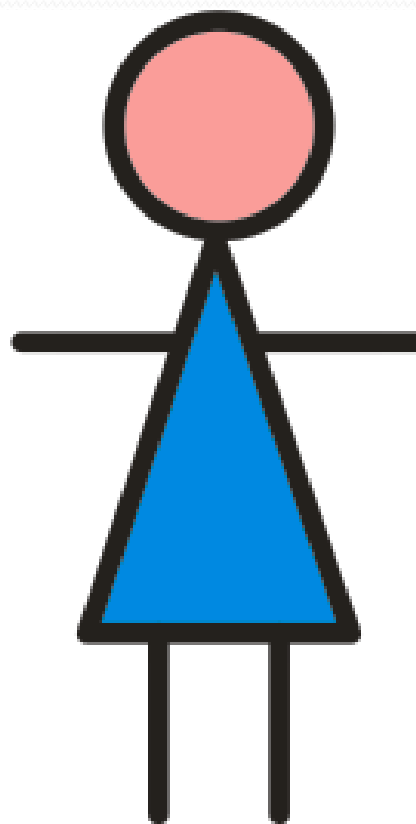
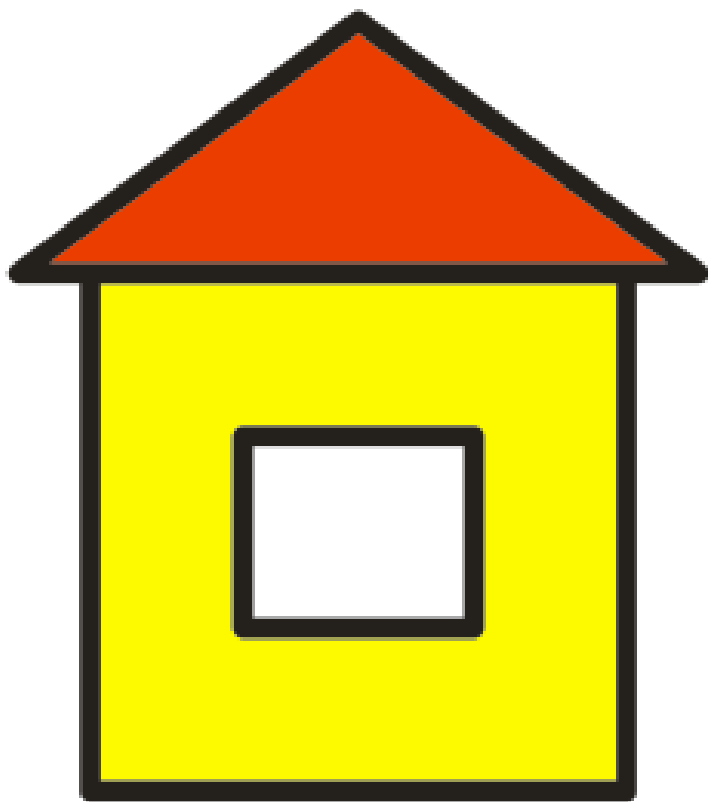
- Dobrovoľníci – popíšte obraz ostatným
- Ostatní – zreprodukuje obraz



Sémantika vs numerická rep.

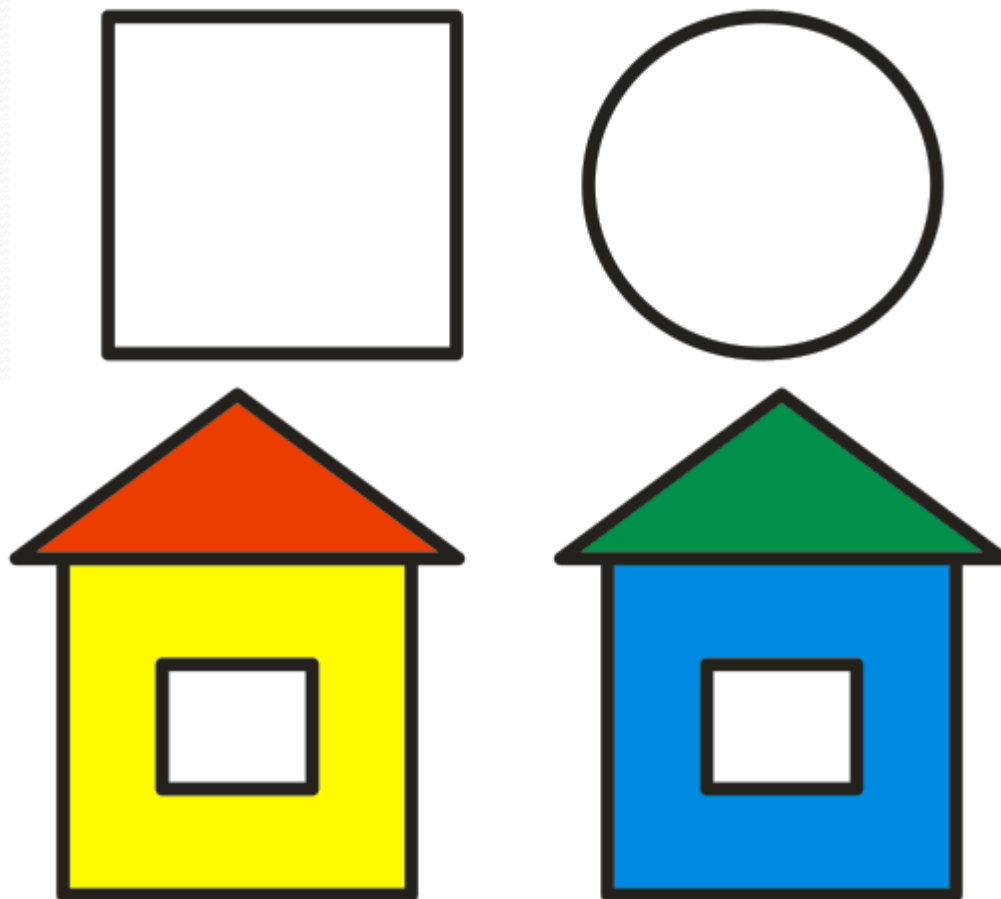
- Ľudia – sémantická reprezentácia
 - Koncept, pojmy, význam, emócie,
 - Nepresný, nejednoznačný
- Počítače – numerická reprezentácia
 - Presná, matematická, priamočiara

Detailná reprezentácia



Základné vlastnosti objektu

- Aké sú tieto vlastnosti?



Pokročilé vlastnosti objektu

- Vlastnosti fyzikálneho objektu
 - Hmota, rigidita (stuhlosť), elasticita
- Vlastnosti materiálu
 - Lesklosť, drsnosť
 - Správanie sa svetla
 - Trenie

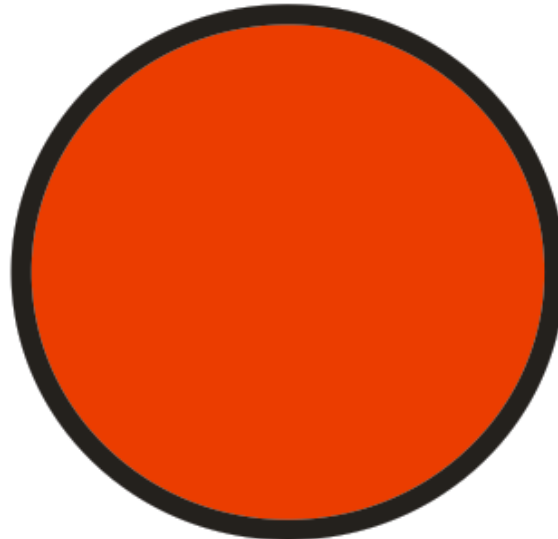
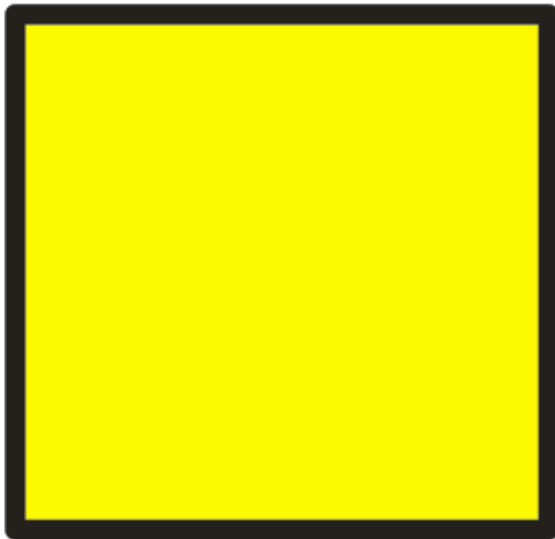


Definovanie objektu

- Geometria
 - Plus transformácie objektu (lokálne → globálne)
- Materiál
 - Farba, lesklosť, index odrazu
- Vlastnosti objektu
 - Váha, elasticita

2D objekty

- Popíšte tento objekt

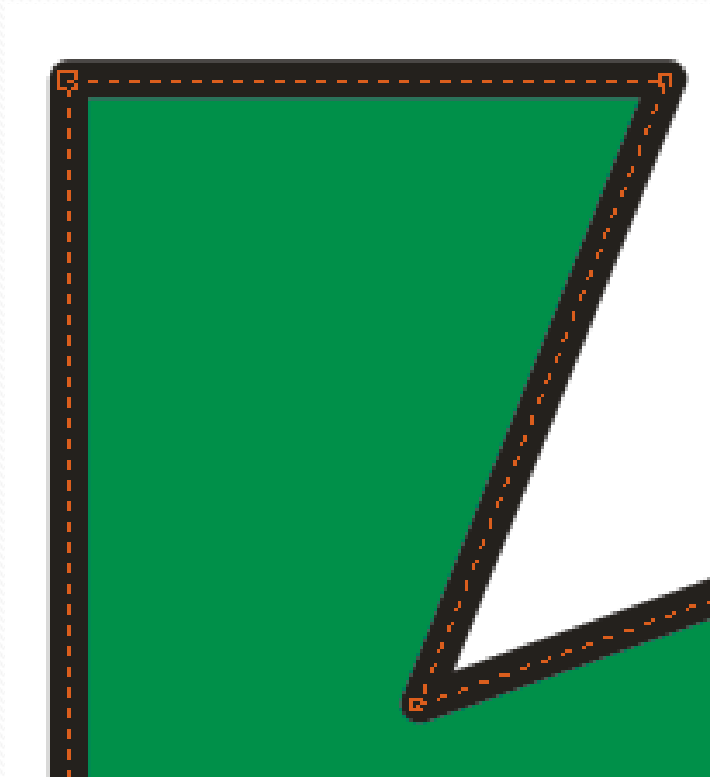


2D objekty

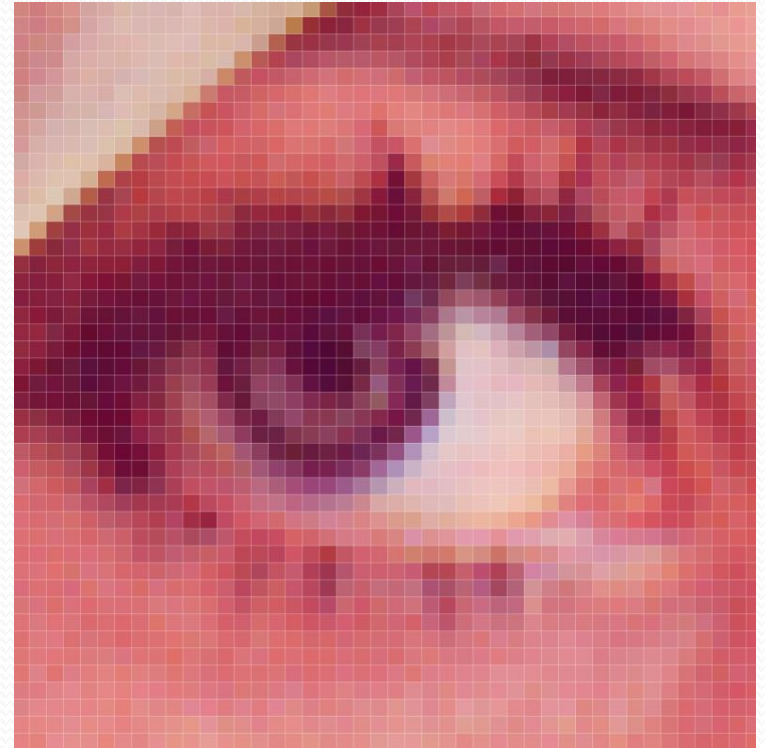
- Popíšte tento objekt



Tvary vs. bitmapy



Tvar, vektor, krivka,
parametrické, implicitné

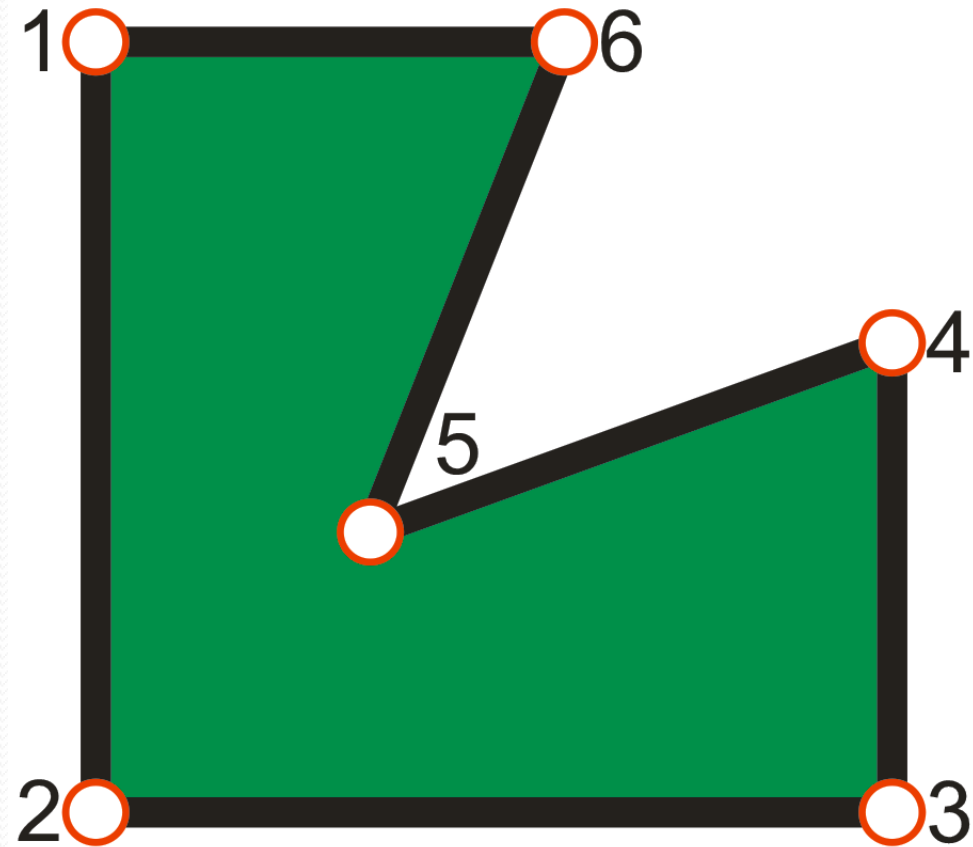


Bitmapa, raster, pixel,
explicitné

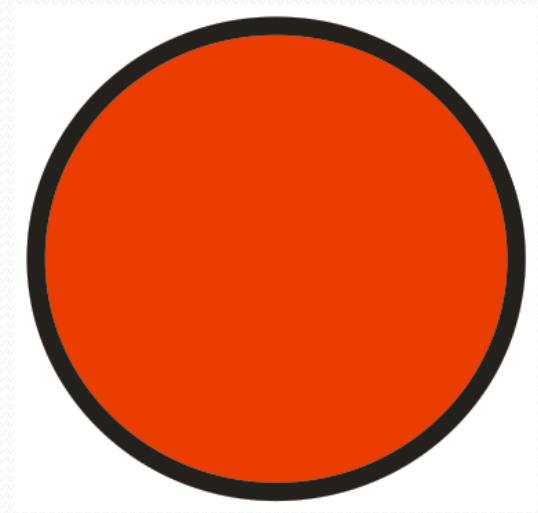
2D geometria

Polygóny

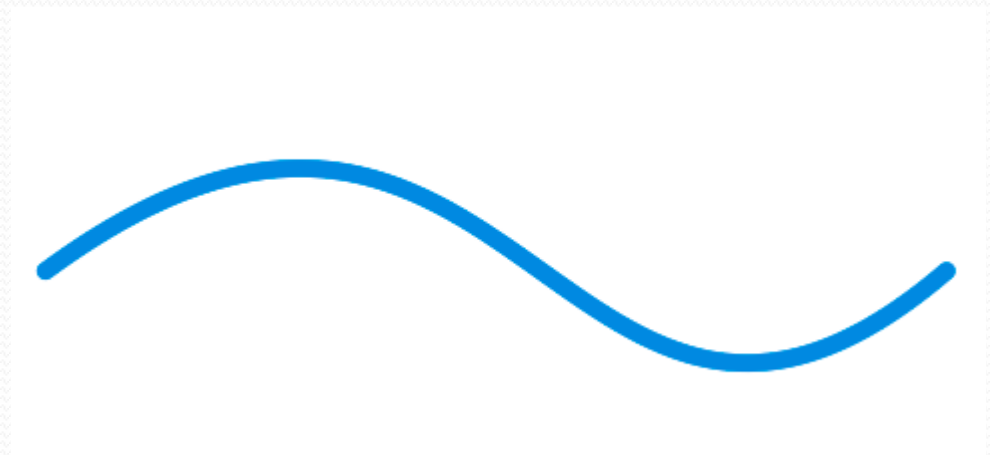
- Kontrolné vrcholy
 - Súradnice x,y
 - V poradí
- Hrany
 - Hrúbka
 - Tvar
 - Štýl (celá, bodkovaná,...)



Krivky



- Primitívy, výstupné prvky
 - kruh, elipsa
- Všeobecné
 - parametrické krivky
 - Bézierove krivky
 - Spline krivky



Parametrické krivky

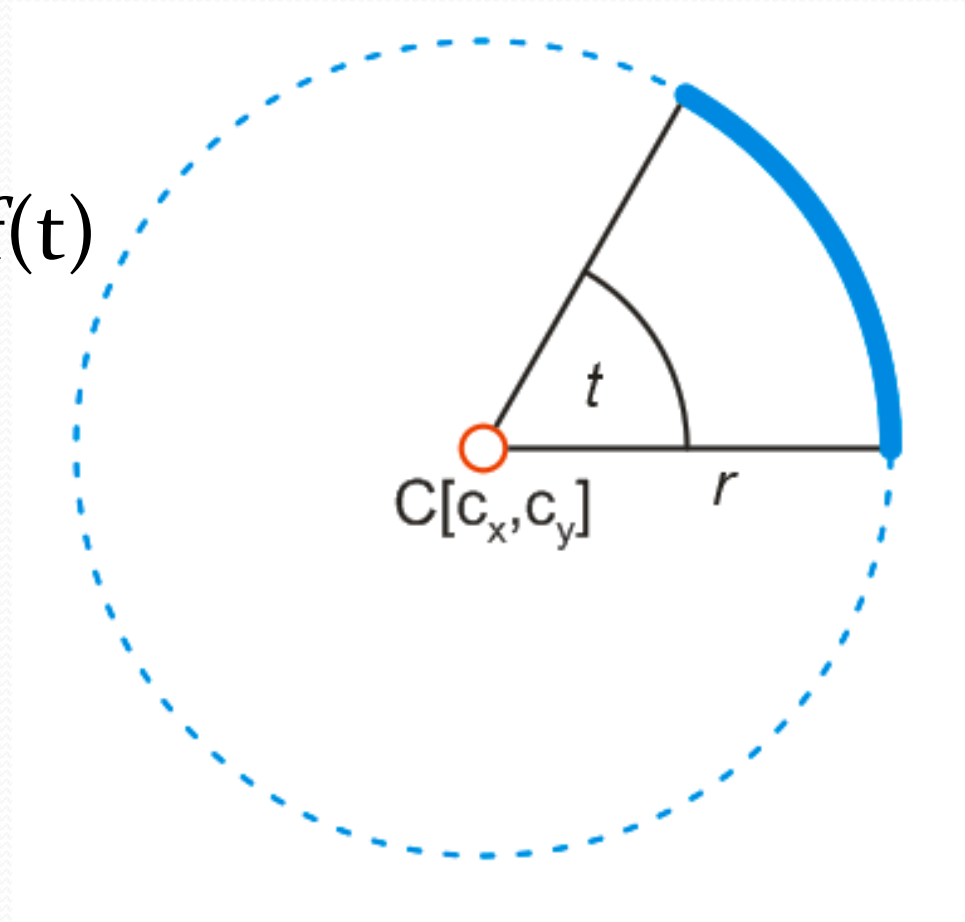
- Zovšeobecnenie

- $x=f_1(t)$
- $y=f_2(t)$

$$\left. \begin{array}{l} x=f_1(t) \\ y=f_2(t) \end{array} \right\} C(x,y) = f(t)$$

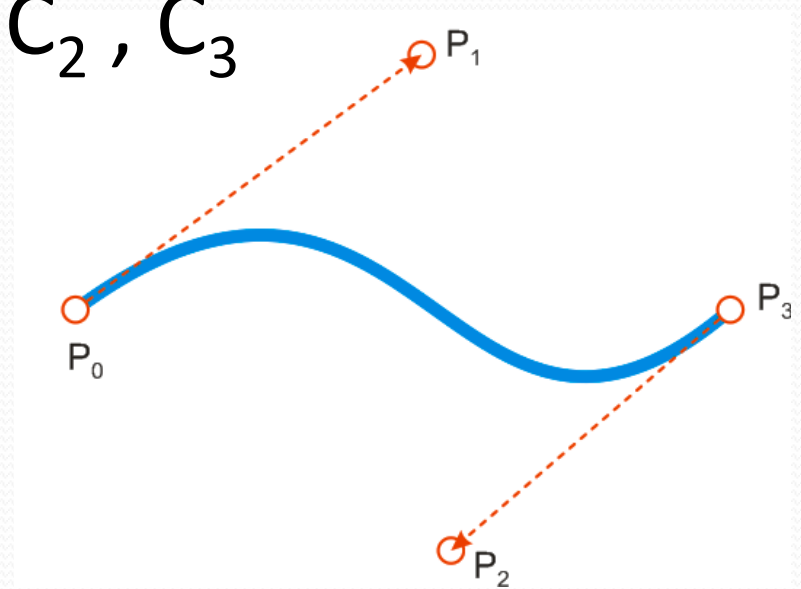
- Kruh

- $y = c_x + r.\cos(t)$
- $x = c_y + r.\sin(t)$
- $t \in \langle 0,2\pi \rangle$



Kubická Bézierova krivka

- 4 kontrolné body C_0, C_1, C_2, C_3
- C_0 a C_3 koncové body
- C_1 a C_2 definujú tvar
- Môžu byť zapísané maticovo



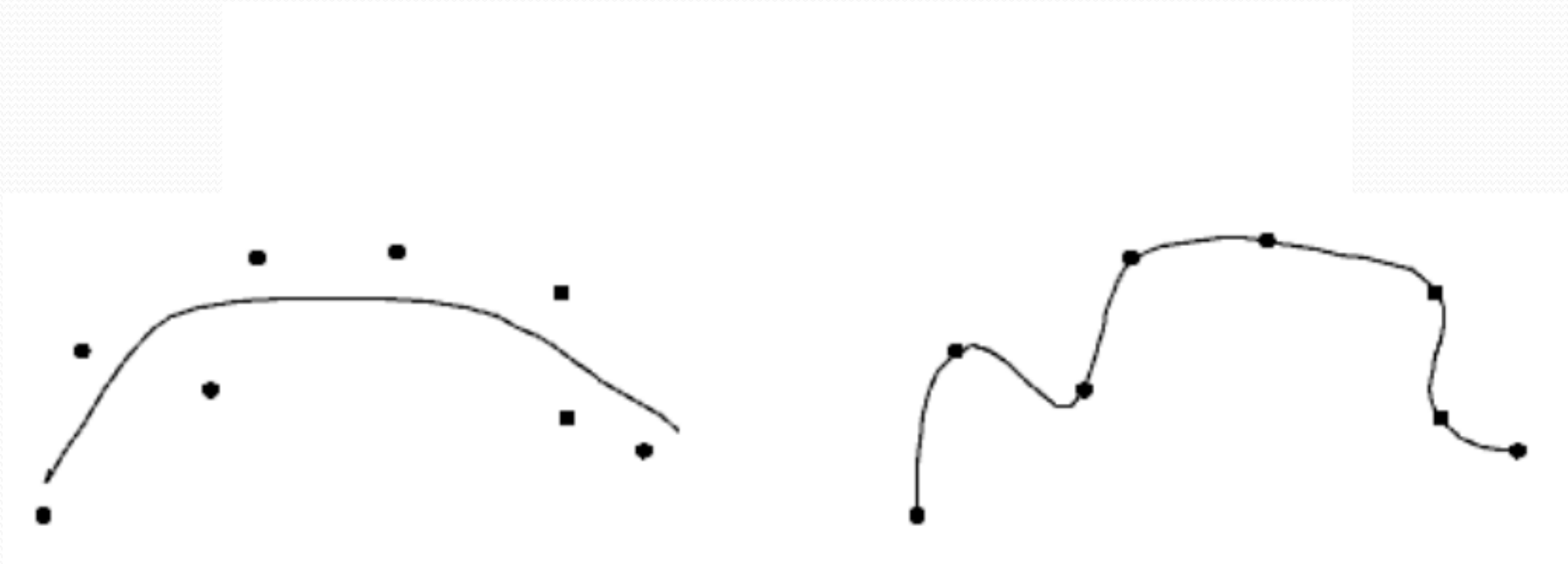
$$\mathbf{B}(t) = (1 - t)^3 \mathbf{P}_0 + 3(1 - t)^2 t \mathbf{P}_1 + 3(1 - t) t^2 \mathbf{P}_2 + t^3 \mathbf{P}_3, \quad t \in [0, 1].$$

Parametrické → polygonálne

- $C(x,y) = f(t)$
- $t = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$

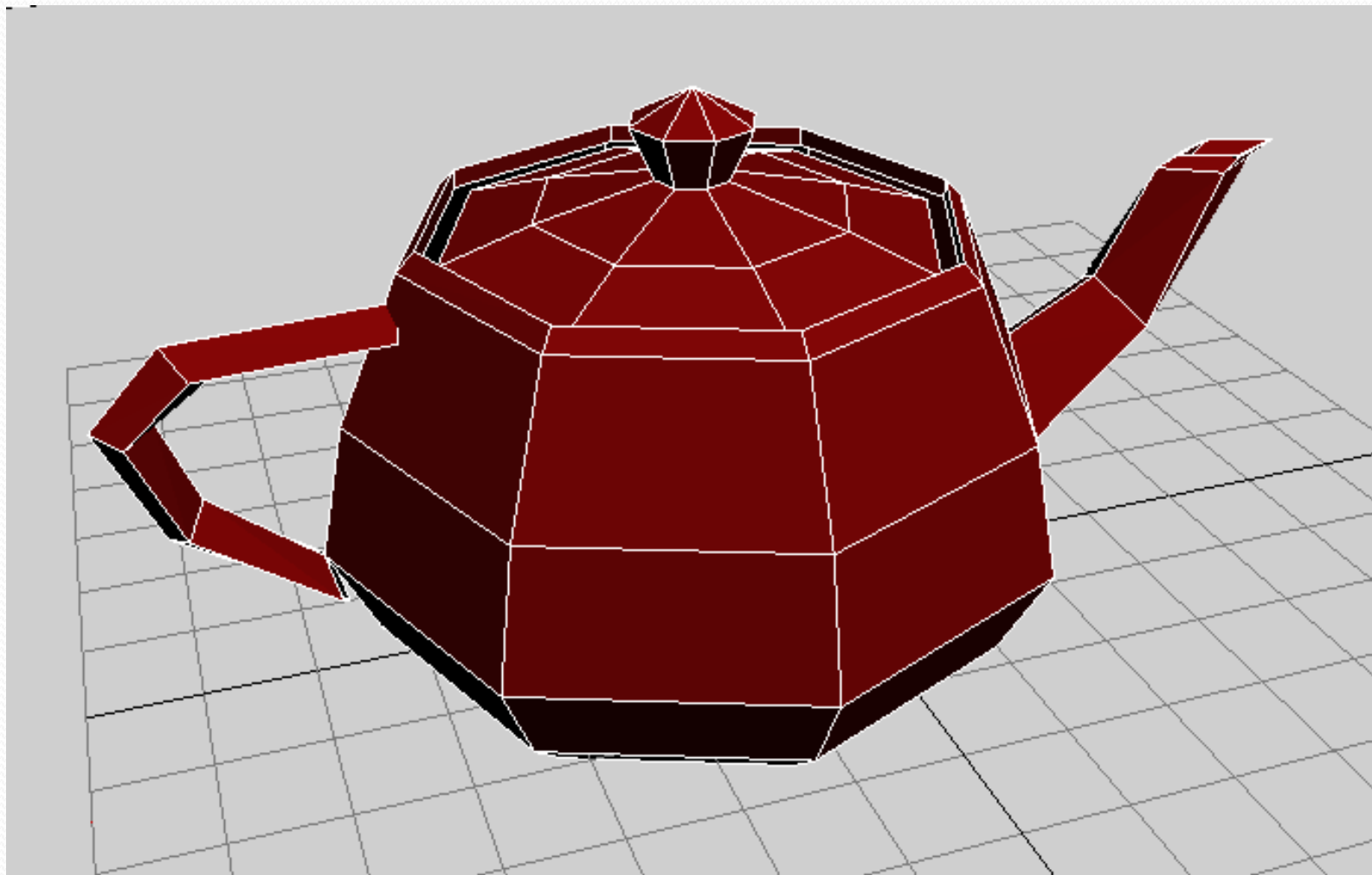


Aproximácia / Interpolácia

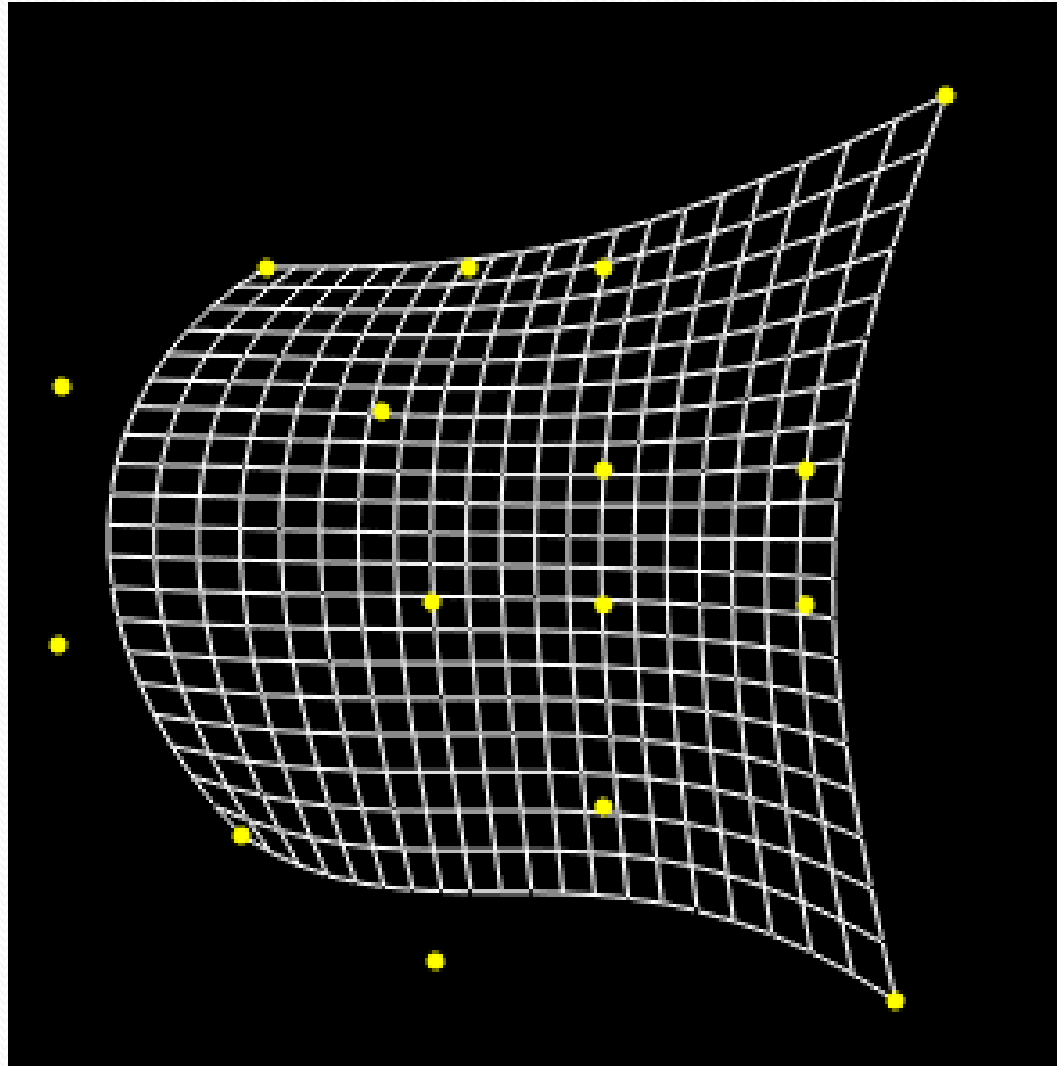


3D geometria

Polygón → Mnohosten



Krivka \rightarrow Plocha



Reprezentácia hranice

- Opísaný iba povrch objektov
- Žiadna informácia o vnútri objektu

- Mračno/oblak bodov (point cloud)
- Mriežka (Wireframe)
- Polygoniálna sieť (Polygonal mesh)
- Parametrické povrchy (Parametric surfaces)
- Subdivision surfaces
- Implicitné povrchy (Implicit surfaces)

Mračno/oblak bodov

- Množina bodov, ktorých pozícia je na hranici objektu
- Získané pomocou 3D skenovania
- Spojitá informácia?

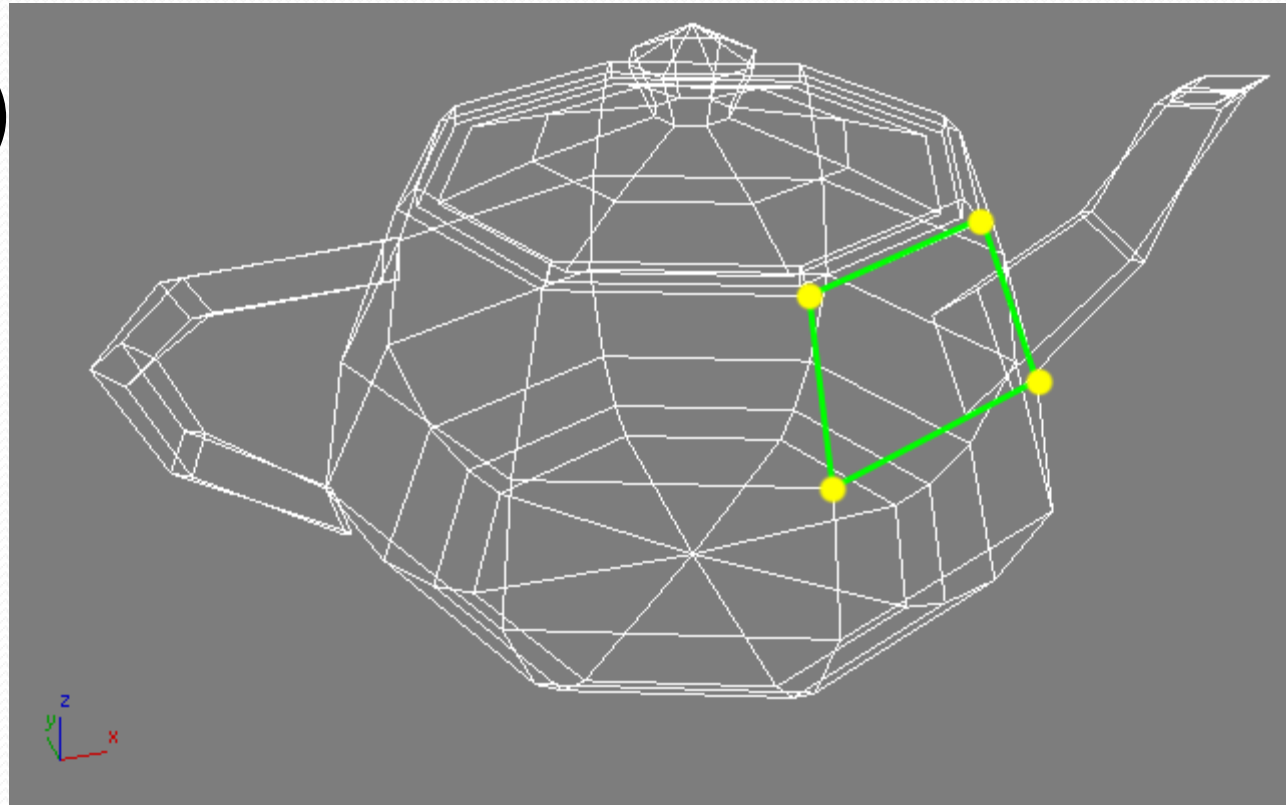


<http://www.photomodeler.com>

Mriežka (Wireframe)

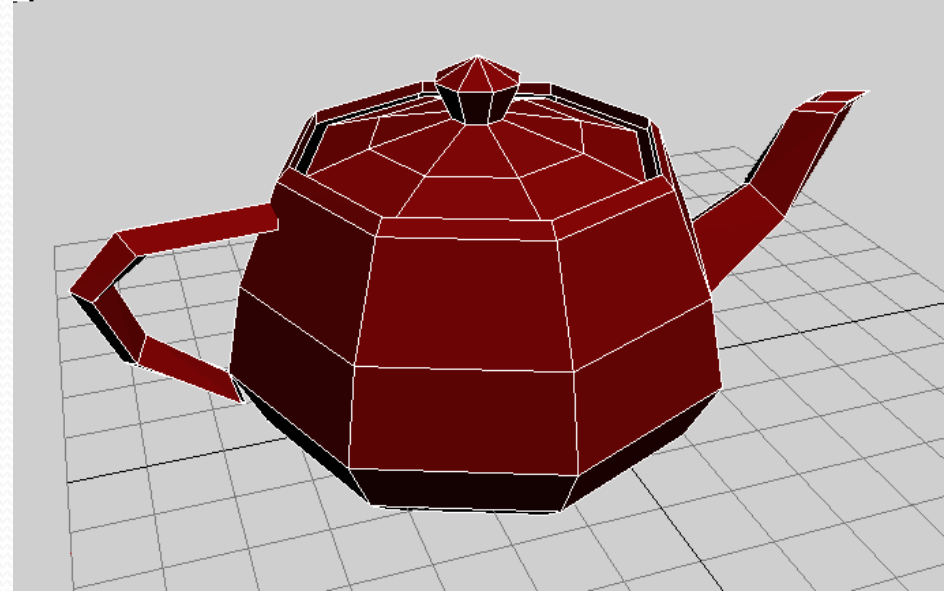
- Množina

- Bodov $V(x,y,z)$
- Hrán $E(V_i, V_j)$



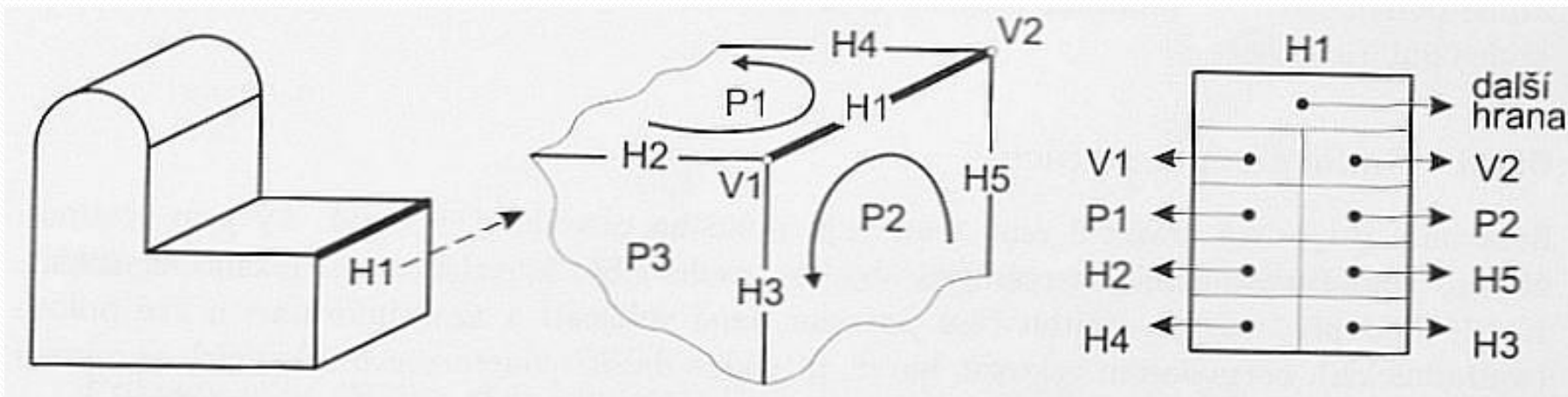
Reprezentácia pomocou polygónov

- Polygonálna mriežka
 - Vrcholy $V(x,y,z)$
 - Hrany $E(V_i,V_j)$
 - Plochy $F(V_1,V_2, \dots, V_n)$



Príklad – okrídlená hrana

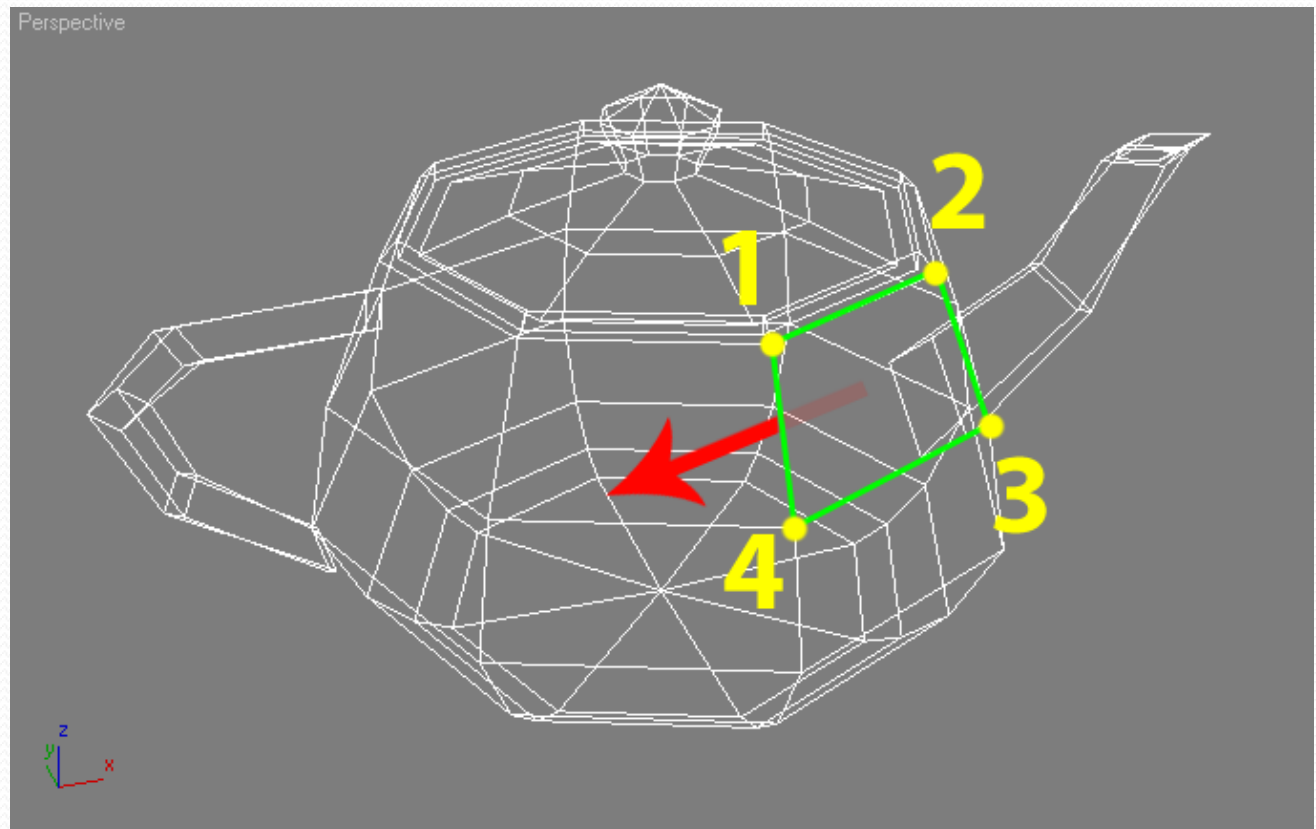
- Okrídlená hrana (winged edge)



- Rýchly prechod mriežkou
- Rozdeľovacie / spájacie operácie

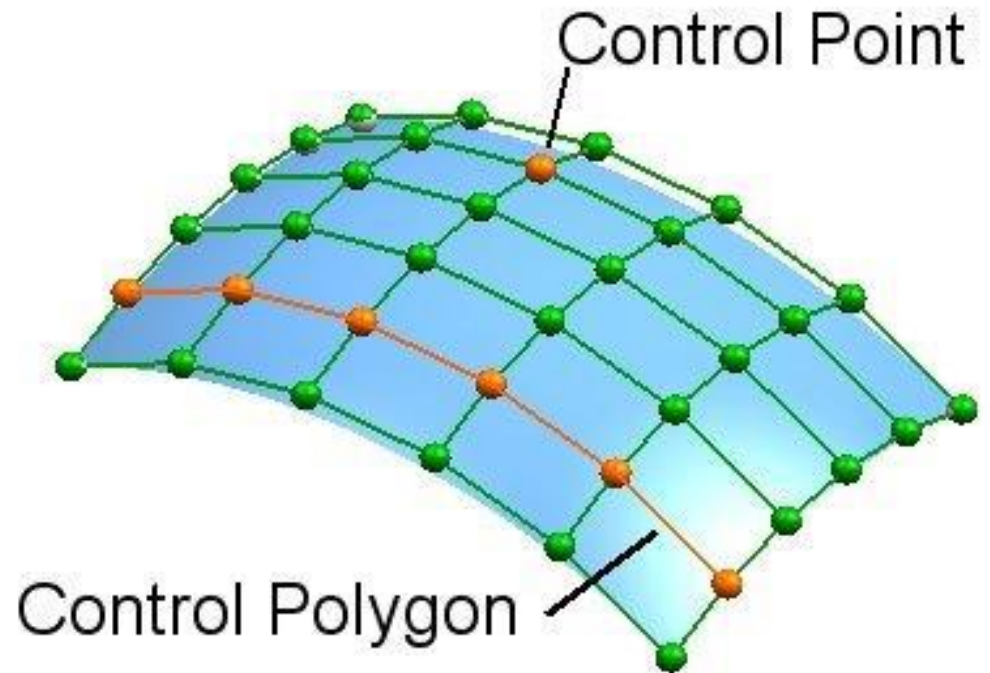
Orientácia polygónov - normála

- Pravotočivý súradnicový systém



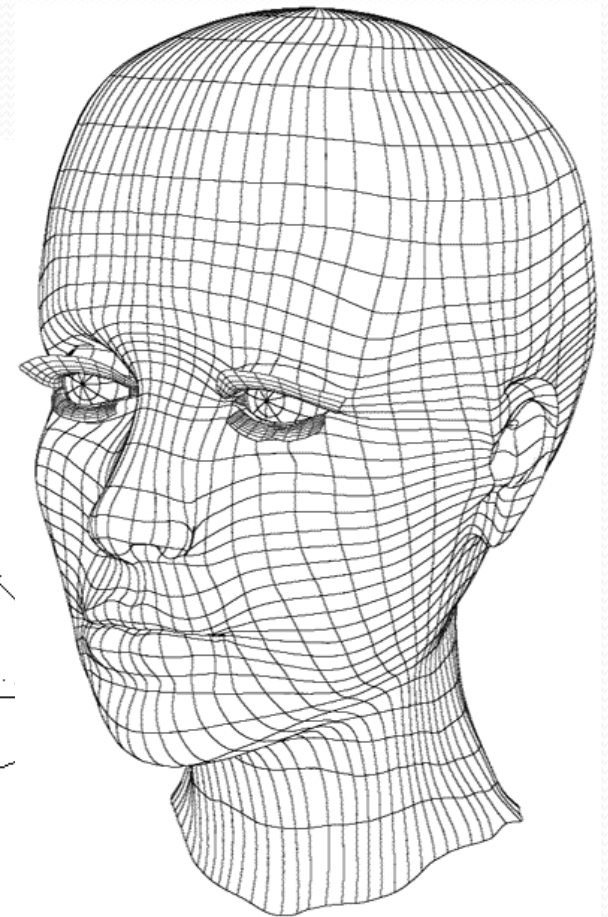
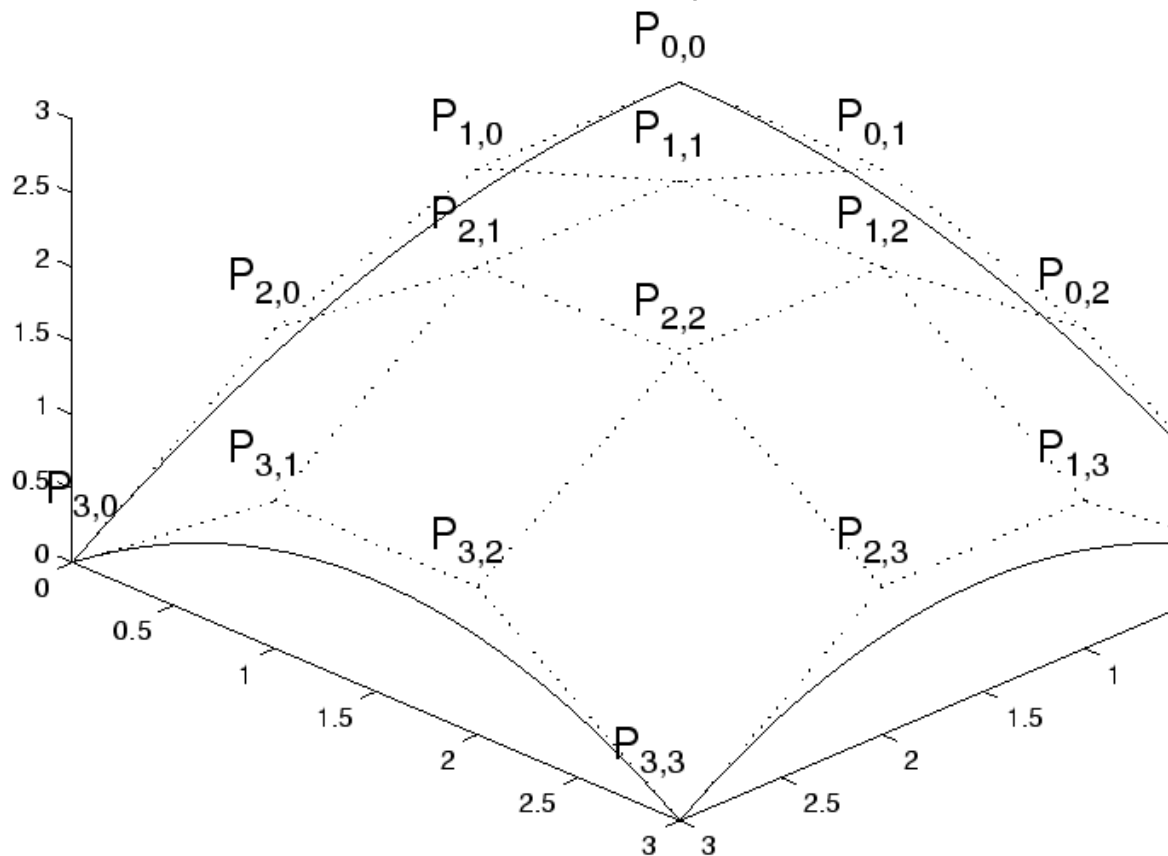
Parametrické povrchy

- 3D zovšeobecnenie parametrických kriviek
- $m \times n$ kontrolných bodov
- parametre u, v
- $C(x, y, z) = f(u, v)$



Parametrické povrchy

- Cubic Bezier surface, NURBS

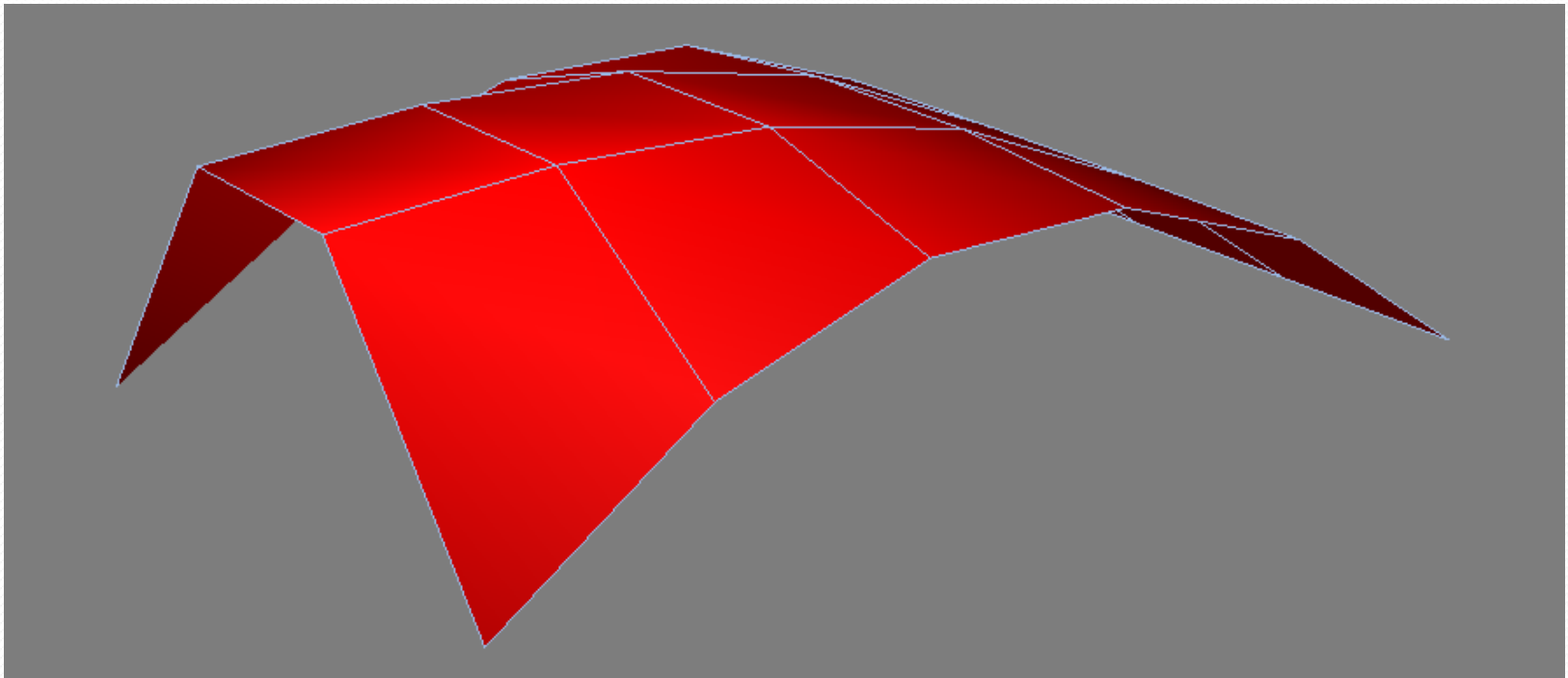


Parametrické vs. polygonálne

- Parametrické
 - Hladké, reparametrizovateľné
 - Ťažšie renderovanie
 - Presné renderovanie
- Polygonálne
 - Diskrétne, ťažšie reparametrizovateľné
 - Rýchlejšie renderovanie alebo rasterizácia
 - Aproximatívne renderovanie

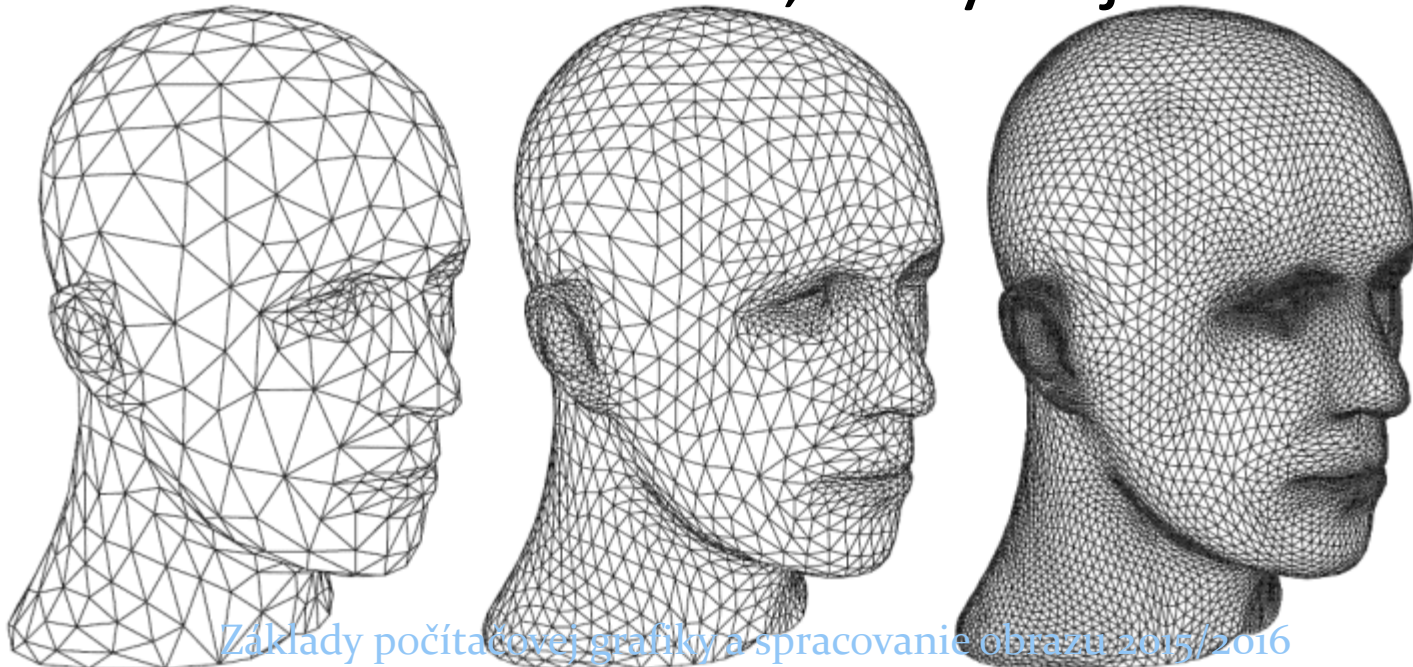
Parametrické → Polygonálne

- $C(x,y,z) = f(u,v)$
- $u = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, v = 0.0, 0.33, 0.66, 1.0$



Subdivision surfaces

- Rekurzívne podrozdeľovanie polygonálneho modelu
- Limitný povrch – spojitý
- Jednoduché modelovanie, malý objem dát



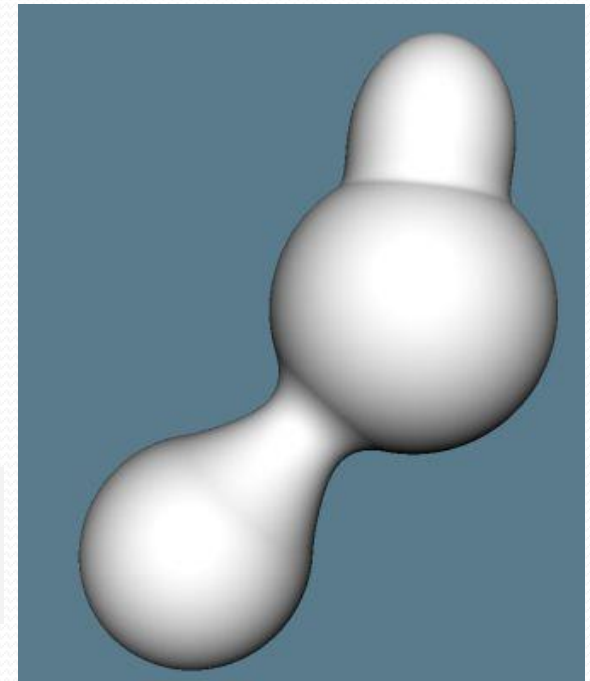
Implicitné povrchy

- $F(x,y,z) = 0$

- guľa $x^2 + y^2 + z^2 - r^2 = 0$

- metaballs:

$$\sum_m R / ((x - x_m)^2 + (y - y_m)^2 + (z - z_m)^2) - c = 0$$



Otázka

- Čo sa stane, keď zmeníme na

$$F(x,y,z) = 0$$

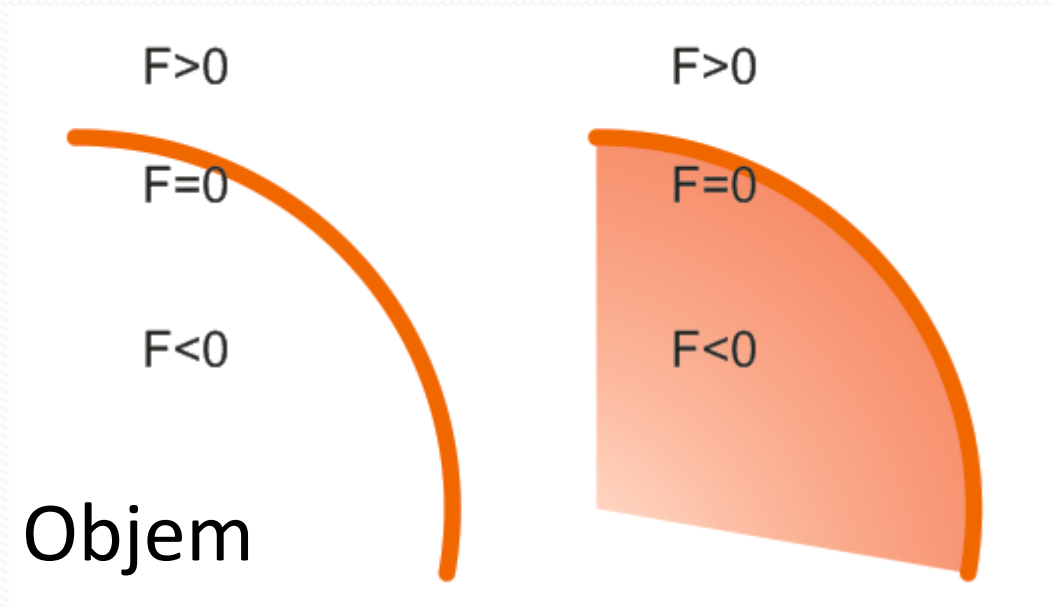
$$F(x,y,z) \leq 0$$

Otázka

- Čo sa stane, keď zmeníme na

$$F(x,y,z) = 0$$

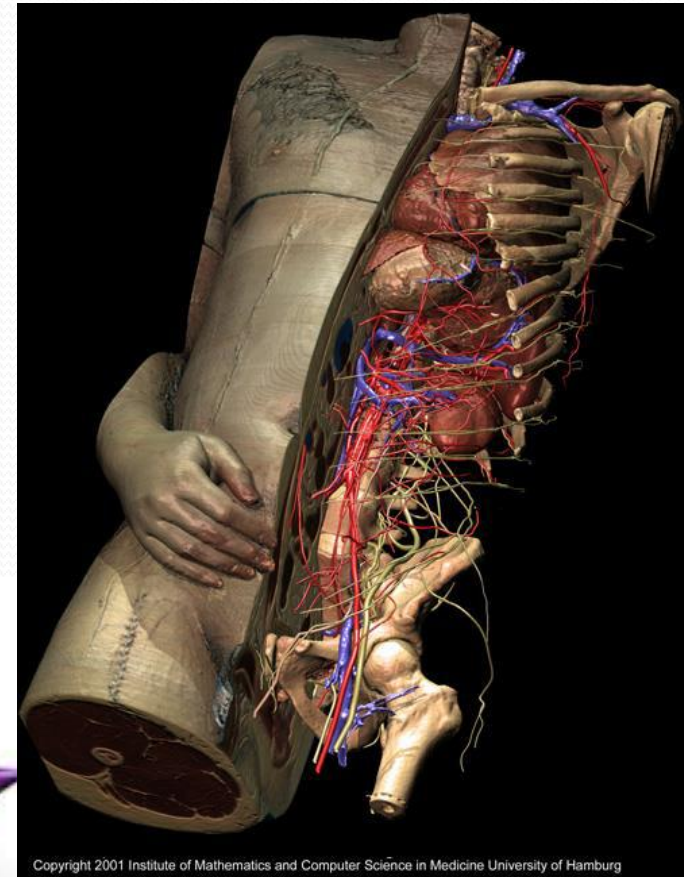
$$F(x,y,z) \leq 0$$



- Povrch \rightarrow Objem

Volumetrická reprezentácia

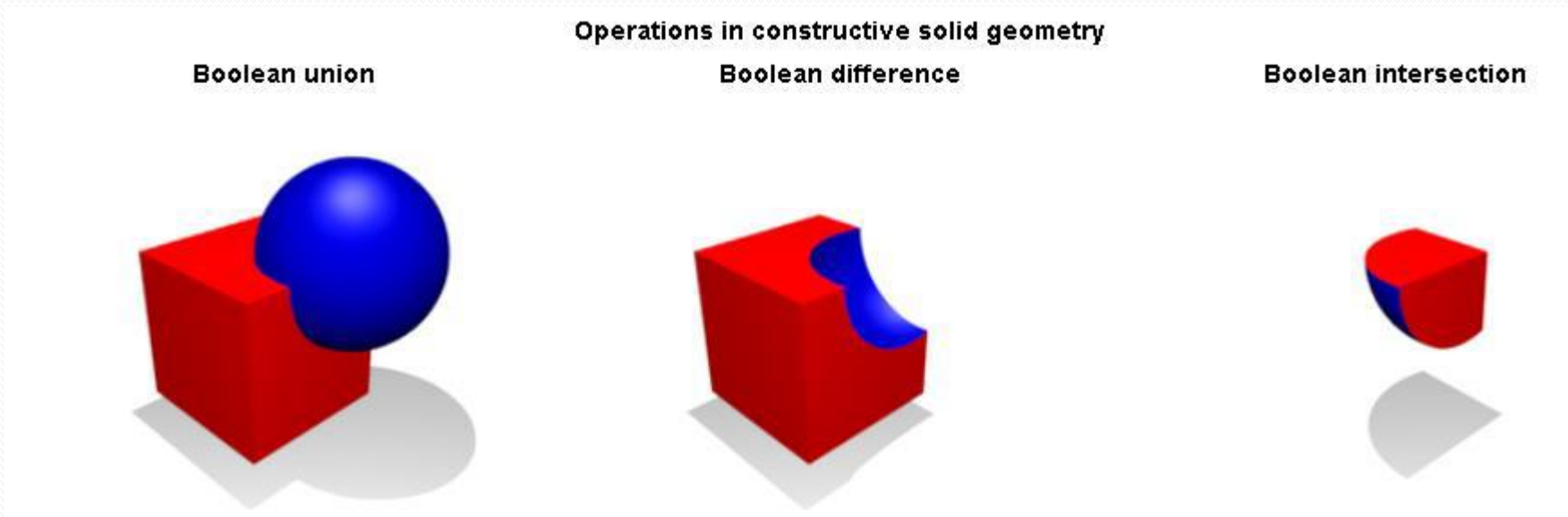
- Reprezentácia nielen povrchu, ale aj vnútra objektu
- Medicína, fyzika, simulácie, animácia
- Voxely
 - Objemové elementy, „3D pixely“
 - Diskrétne
 - Binárne hodnoty
 - Float hodnoty



Copyright 2001 Institute of Mathematics and Computer Science in Medicine University of Hamburg

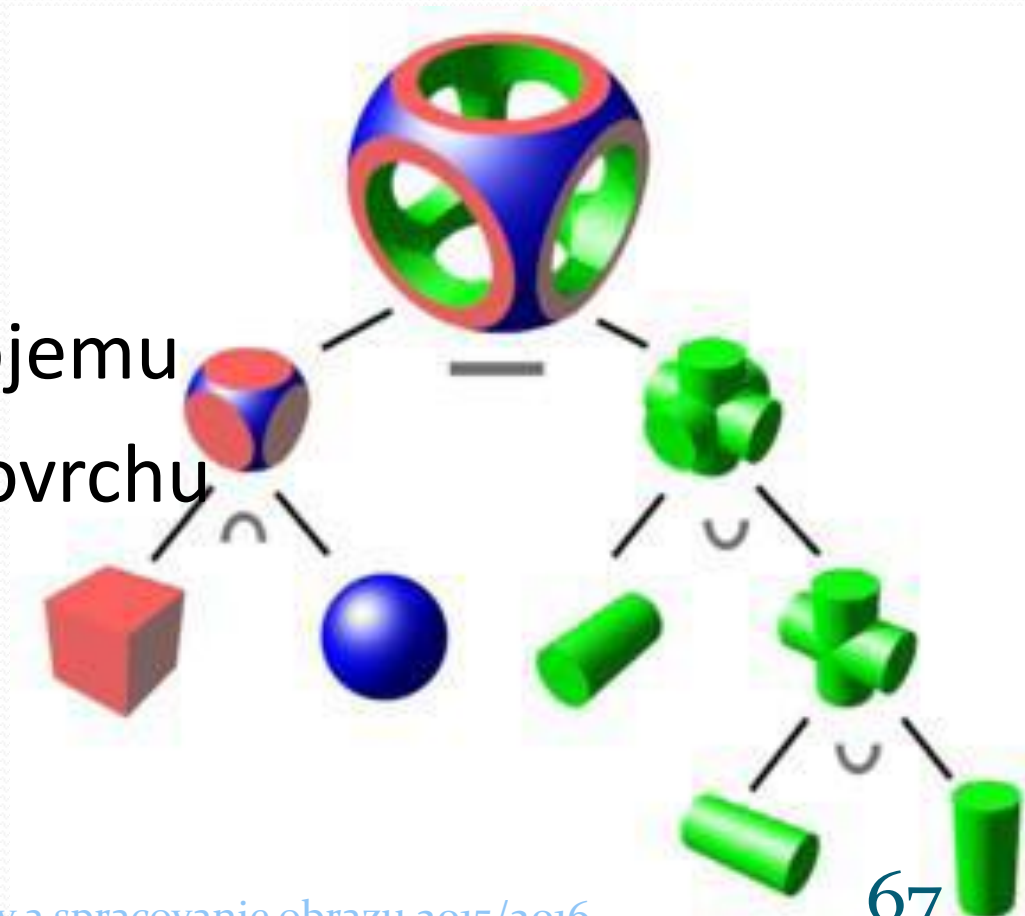
CSG Constructive solid geometry

- Základné objekty + Boolovské operácie
 - AND, OR, NOT



CSG

- Hierarchia
 - Listy – objekty
 - Hrany+uzly – operácie
- Dobrá reprezentácia objemu
- Zložitá reprezentácia povrchu



Funkcionálna reprezentácia

- F-rep \sim zovšeobecnenie CSG
- Viac funkcií - operácií
 - napr. object blending

```
center = [0, 0.5, 0];  
se = hfSuperell(x, center, 8, 2.5, 8, 0.3, 0.3);  
  
center = [0, -0.5, 0];  
el_cly = hfEllCylZ(x, center, 4, 2);  
  
wrist = el_cly & (8-x[3]) & (x[3]+20);  
  
center = [0, 3.5, 0];  
el1 = hfEllipsoid(x, center, 8, 1, 8);  
  
center = [-2, 3.5, 0];  
el2 = hfEllipsoid(x, center, 8, 1, 8);  
  
center = [2, 3.5, 0];  
el3 = hfEllipsoid(x, center, 8, 1, 8);  
  
center = [-0.5, 3.5, -2];  
el4 = hfEllipsoid(x, center, 8, 1, 8);  
  
el = el1 | el2 | el3 | el4;  
  
palm = hfBlendUni(se, wrist, 5, 2, 2) \ el;
```



Špeciálne objekty

- Časticové systémy

- Emitor + fyzikálne zákony + elementárne častice
- voda, sneh, dážď, dym, hmla, oblaky, oheň, multi-agentové systémy

- Billboardy

- Komplexné objekty nahradené obrázkami
- Stromy, tráva, oheň, dym, svetelné efekty,...
- Môžu byť animované

