

Modelowanie obiektów 3D

Grafika 2D a 3D

- W obu przypadkach efekt jest taki sam: rastrowy obraz 2D.
- W **grafice 2D** od początku operujemy tylko w dwóch wymiarach, przekształcając „obraz świata 3D” w głowie.

Nie ma możliwości uzyskania innego obrazu świata poprzez przekształcenia, trzeba stworzyć obraz od początku.

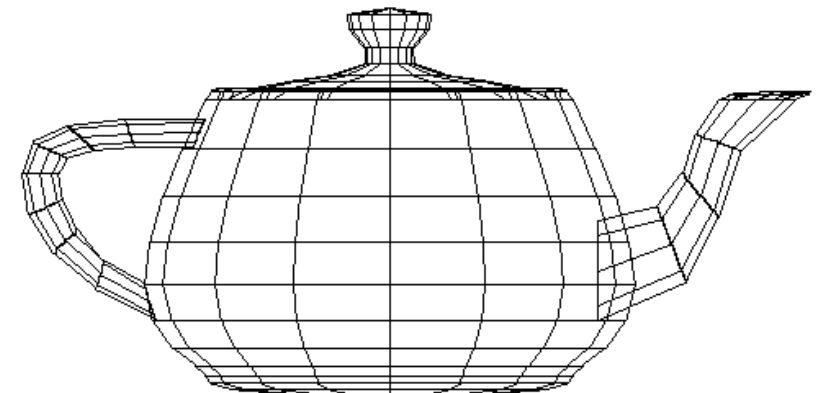
Grafika 2D a 3D

Grafika 3D:

- opis wirtualnego świata w trzech wymiarach
- w procesie **renderingu** uzyskujemy „zdjęcie” tego świata z określonego punktu obserwacji
- możemy poruszać się po wirtualnym świecie i „robić zdjęcia” z różnych miejsc
- możemy przekształcać zawartość świata 3D zmieniając jego opis
- modyfikując oświetlenie świata możemy uzyskać „fotorealistyczne” efekty

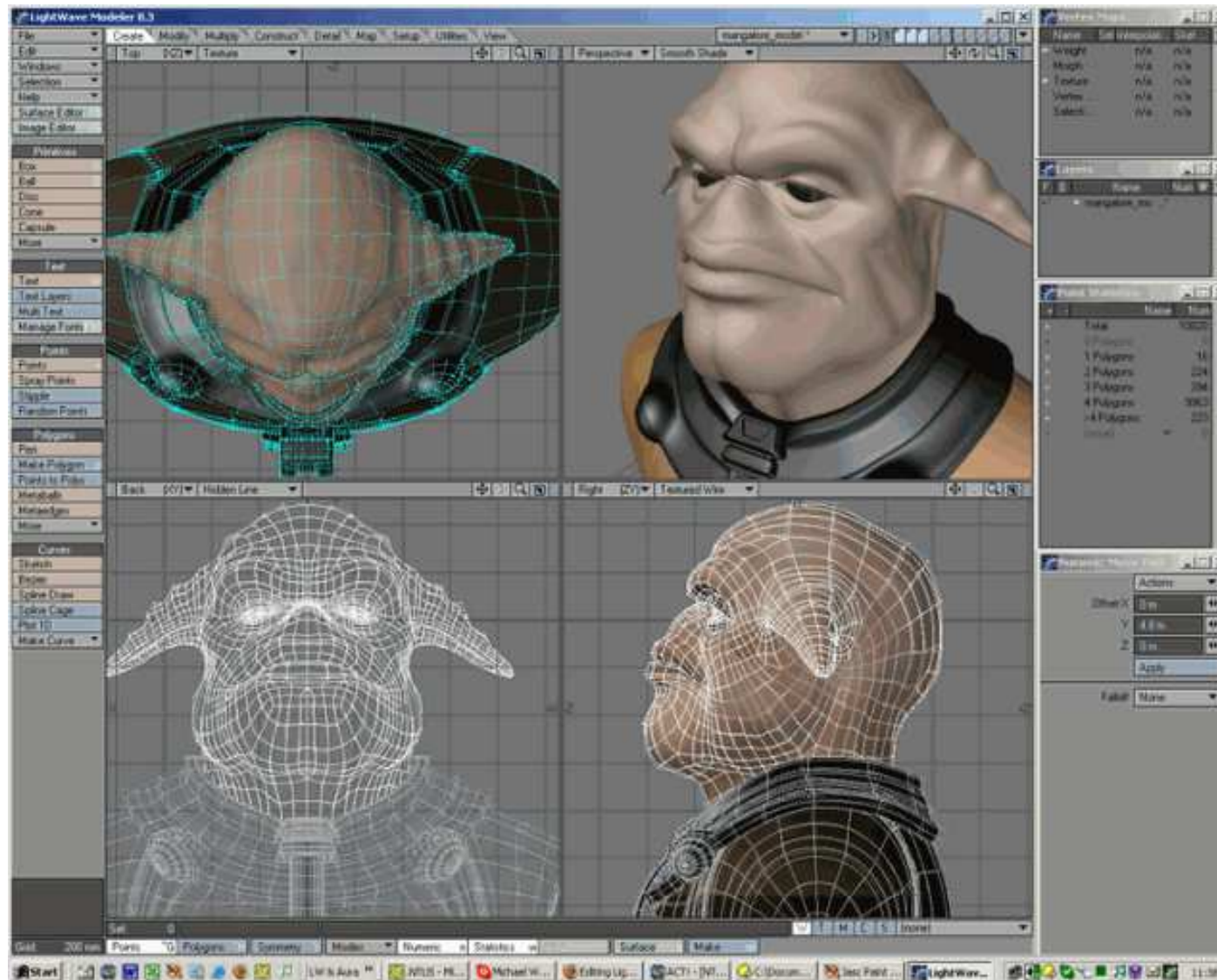
Modelowanie

- Modelowanie – opisanie kształtu obiektu 3D.
- Zwykle stosuje się **reprezentację powierzchniową** – opis powierzchni obiektu.
- Najczęstsza reprezentacja powierzchniowa to **siatka wielokątowa** (*polygonal mesh*).
- **Metody modelowania:**
 - projektowanie komputerowe (ręczne)
 - skanowanie przedmiotów
 - mod. proceduralne
 - mod. fizyczne



Modelowanie komputerowe

Tworzenie modelu za pomocą oprogramowania



Skanery 3D

Skanery 3D próbują powierzchnię obiektów. Wymagane jest wielokrotne skanowanie z różnych kierunków (często kilkaset skanów). Skanery mają różną zasadę działania, np.:

- pomiar czasu przebiegu odbitej wiązki (ToF);
- rzucanie wiązki lasera na obiekt i pomiar położenia punktu za pomocą kamery;
- rzucanie wzoru za pomocą lasera na obiekt i pomiar dyfrakcji wzoru.

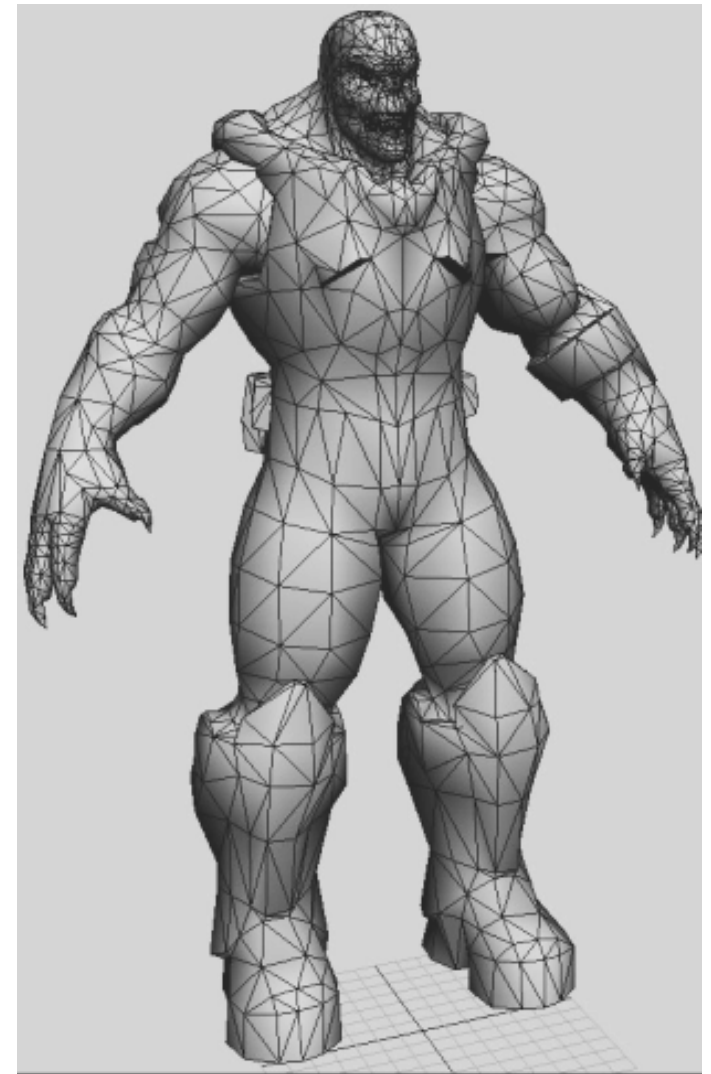


Modelowanie wielokątowe

Modelowanie wielokątowe (*polygonal modeling*)
- aproksymacja powierzchni obiektu za pomocą
siatki tworzącej wielokąty.

Siatka (*mesh*) zawiera:

- **wierzchołki - werteksy**
(*vertex / vertices*)
- krawędzie (*edge*)
- wielokąty
(*polygon, face*)



Modelowanie wielokątowe

- Na etapie modelowania ustala się położenie węzłów siatki.
- Siatka jest obrazowana w postaci wielokątów (trójkąty, czworokąty, itd.) łączących węzły siatki.
- Gotowy model obiektu jest konwertowany zwykle do siatki trójkątowej, składającej się z wierzchołków i trójkątów.
- Systemy renderingu czasu rzeczywistego („rasteryzacji”) operują zazwyczaj na siatkach trójkątowych – DirectX, OpenGL.

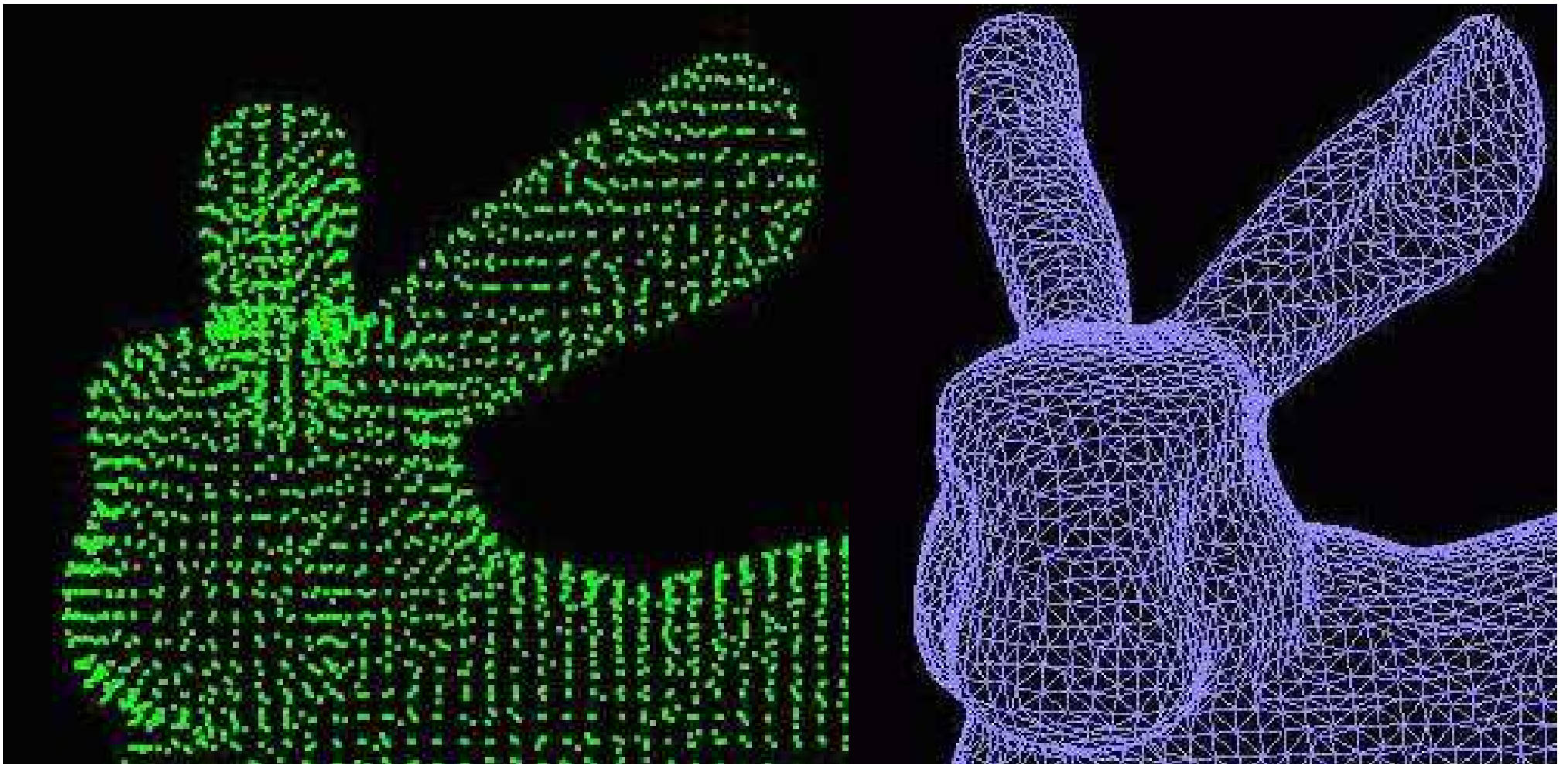
Teselacja

- **Teselacja** (*tesselation*) polega na utworzeniu siatki wielokątowej poprzez łączenie punktów tak, aby utworzone zostały wielokąty.
- Zwykle tworzy się trójkąty, a proces nazywa się triangularyzacją.
- Punkty węzłowe („chmura punktów”) powstałe w wyniku modelowania są przekształcane na wierzchołki i łączone w trójkąty.
- Powstaje w ten sposób szkielet obiektu (*wireframe*), który może być dalej przetwarzany.

Teselacja

„Chmura punktów”
przed teselacją

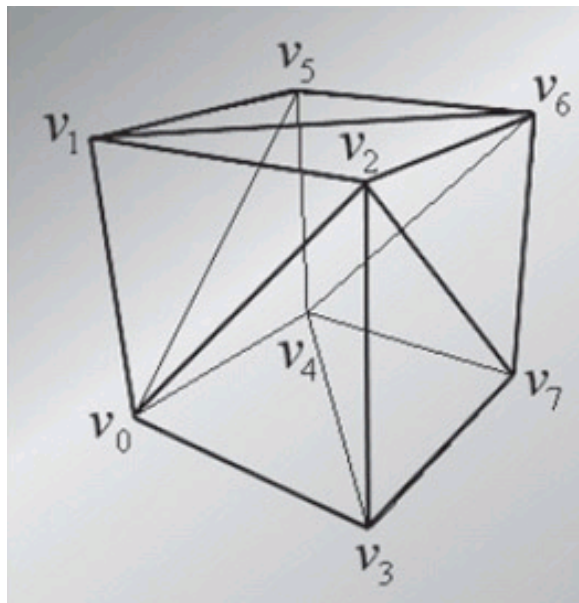
Szkielet
po teselacji



Teselacja

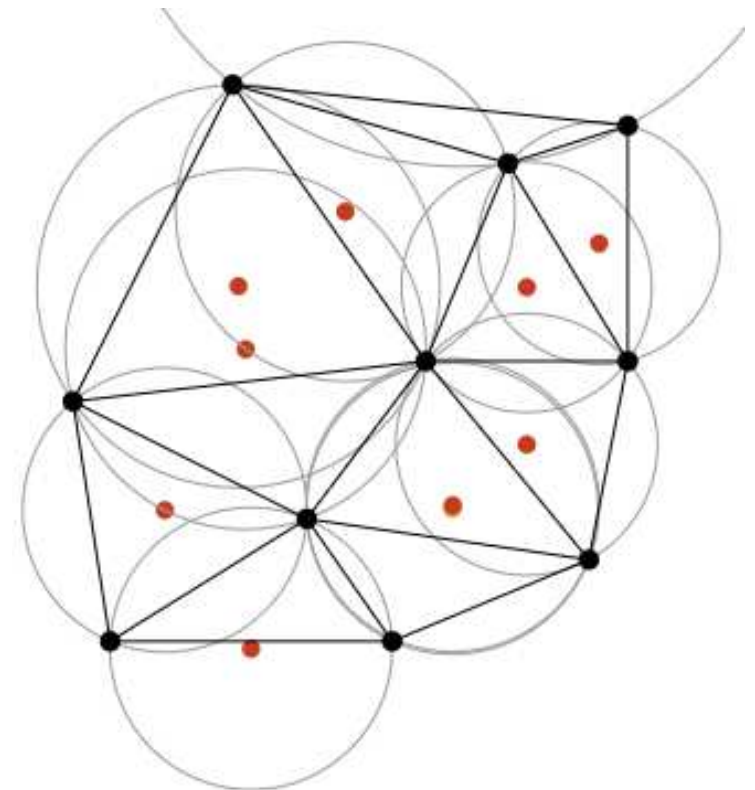
Prosty przykład:

- sześcian jest opisany za pomocą współrzędnych jego ośmiu wierzchołków
- po triangulacji powstaje siatka złożona z 12 trójkątów



Algorytm Delaunaya

- Algorytm triangulacji Delaunaya (Delaunay)
- Optymalna konstrukcja siatki trójkątowej
- W okręgu opisującym trójkąt nie może znaleźć się żaden inny wierzchołek.
- Maksymalizacja minimalnego kąta - unikanie długich i cienkich trójkątów.



Reprezentacje siatki

Typowe sposoby opisu siatki obiektu:

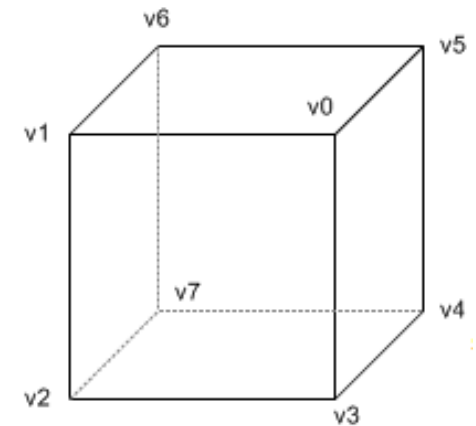
- lista trójkątów
 - współrzędne wierzchołków trójkąt po trójkącie
 - opis nadmiarowy (powtarzamy wierzchołki)
- lista wierzchołków i trójkąty ich indeksów
 - współrzędne wierzchołków
 - indeksy wierzchołków tworzących trójkąty
- bardziej złożone – np. *winged-edge*

Przykład opisu modelu sześcianu

Wierzchołki i indeksy tworzące trójkąty

Vertices:

```
1, 1, 1, -1, 1, 1, -1,-1, 1, 1,-1, 1, // v0,v1,v2,v3 (front)
1, 1, 1, 1,-1, 1, 1,-1,-1, 1, 1,-1, // v0,v3,v4,v5 (right)
1, 1, 1, 1, 1,-1, -1, 1,-1, -1, 1, 1, // v0,v5,v6,v1 (top)
-1, 1, 1, -1, 1,-1, -1,-1,-1, -1,-1, 1, // v1,v6,v7,v2 (left)
-1,-1,-1, 1,-1,-1, 1,-1, 1, -1,-1, 1, // v7,v4,v3,v2 (bottom)
1,-1,-1, -1,-1,-1, -1, 1,-1, 1, 1,-1 // v4,v7,v6,v5 (back)
```



Triangles:

```
0, 1, 2, 2, 3, 0, // front
4, 5, 6, 6, 7, 4, // right
8, 9,10, 10,11, 8, // top
12,13,14, 14,15,12, // left
16,17,18, 18,19,16, // bottom
20,21,22, 22,23,20 // back
```

Modelowanie za pomocą siatek wielokątowych

- Jest szybkie – nadaje się do renderingu czasu rzeczywistego, np. w grach.
- Nie wymaga obliczania – wszystkie dane są już zapisane w modelu.
- Jest mało dokładne – powstaje „kanciasty” model, wygładzany później na etapie cieniowania.
- Liczba trójkątów wpływa na dokładność opisu, ale też na czas renderingu.
- Bardziej istotne elementy obiektu (np. twarz) wymagają większej liczby trójkątów.

NURBS

NURBS - *Non Uniform Rational Basis Spline*

- Reprezentacja powierzchni obiektu za pomocą powierzchni parametrycznych, opisywanych za pomocą równań matematycznych.
- Stosowane głównie w projektowaniu komputerowym (CAD).
- Metoda opracowana w latach 50. XX wieku w laboratoriach firmy Renault, do celów projektowania nadwozi samochodów.

Parametryczne krzywe 3. stopnia

Opis segmentu krzywej za pomocą wielomianów trzeciego stopnia:

$$x(t) = a_x t^3 + b_x t^2 + c_x t + d_x$$

$$y(t) = a_y t^3 + b_y t^2 + c_y t + d_y$$

$$z(t) = a_z t^3 + b_z t^2 + c_z t + d_z$$

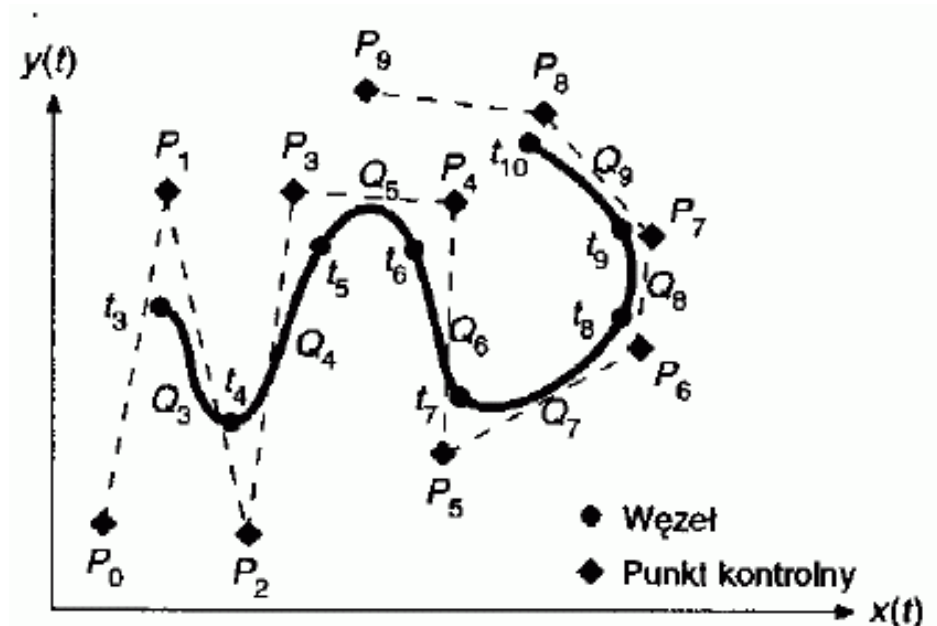
Założenie: $0 \leq t \leq 1$

Opis macierzowy: $Q(t) = C \cdot T$

$$\begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x & b_x & c_x & d_x \\ a_y & b_y & c_y & d_y \\ a_z & b_z & c_z & d_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} t^3 \\ t^2 \\ t \\ 1 \end{bmatrix}$$

Parametryczne krzywe 3. stopnia

- Krzywa jest dzielona na odcinki połączone w sposób ciągły.
- Każdy odcinek jest opisany przez **punkty kontrolne**.
- Odcinek może zostać narysowany poprzez podstawienie za parametr t liczb z zakresu od 0 do 1.



Parametryczne powierzchnie bikubiczne

Uogólnienie parametrycznych krzywych trzeciego stopnia:

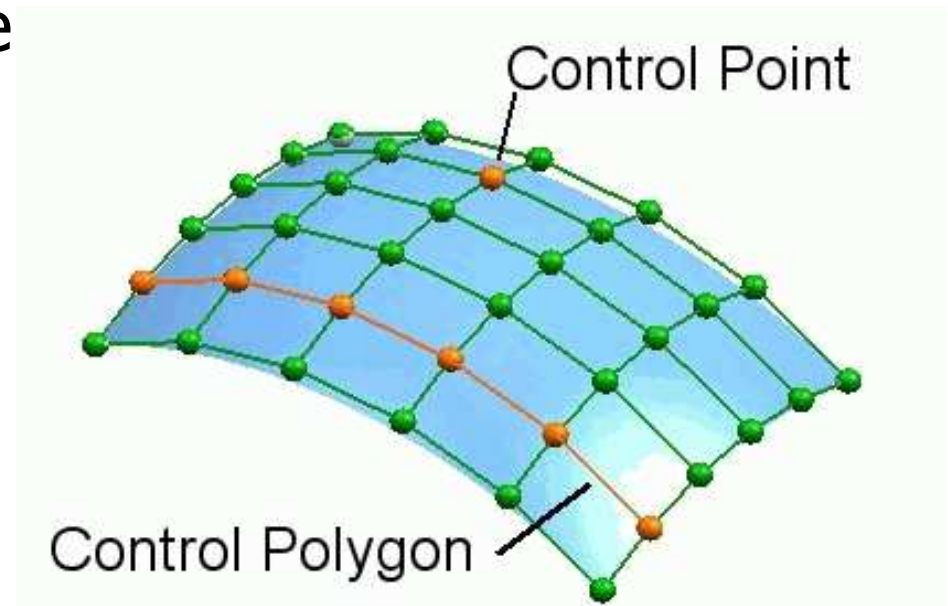
$$Q(s,t) = [G_1(s) \ G_2(s) \ G_3(s) \ G_4(s)] \cdot M \cdot T$$

- Dwie zmienne parametryczne: s, t
- $G_i(s)$ są krzywymi trzeciego stopnia.
- Dla ustalonej wartości s uzyskujemy krzywą.
- Krzywe uzyskane dla wszystkich $s \in \langle 0,1 \rangle$, $t \in \langle 0,1 \rangle$ tworzą parametryczną powierzchnię bikubiczną, nazywaną **płatem**.

NURBS

Metoda NURBS opiera się na opisie powierzchni za pomocą **parametrycznych krzywych NURBS**.

- punkty kontrolne – zwykle leżą poza powierzchnią
- zmieniając ich położenie modyfikujemy kształt powierzchni
- cztery punkty kontrolne wyznaczają płat powierzchni
- płaty tworzą ciągłą powierzchnię



NURBS

- NURBS daje znacznie bardziej dokładny i gładki opis kształtu obiektu.
- Jest więc stosowany tam, gdzie precyzja jest ważniejsza niż szybkość, głównie w projektowaniu komputerowym CAD.
- Rendering wymaga matematycznego obliczania kształtu powierzchni – czasochłonne i wymagające silnego sprzętu.
- Nie nadaje się więc np. do gier.

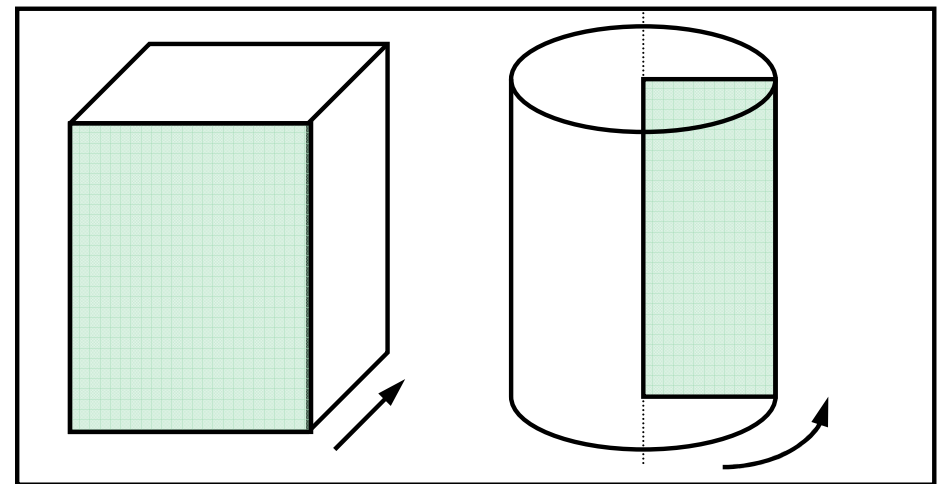
Bryły przesuwane i obrotowe

Modelowanie prostych, symetrycznych brył:

- **bryły przesuwane** („wyciągane”) – przesuwanie płaskiego obiektu wzdłuż trajektorii w przestrzeni
- **bryły obrotowe** (*lathe*) – obracanie płaskiego wzorca wokół osi

Np. z prostokąta można uzyskać:

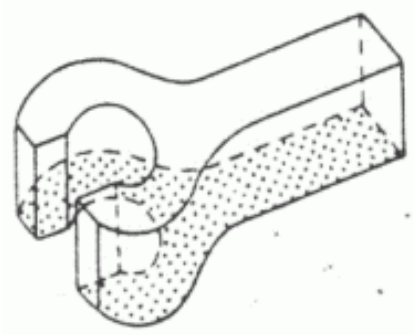
- bryłę przesuwaną – prostopadłościan
- bryłę obrotową – walec



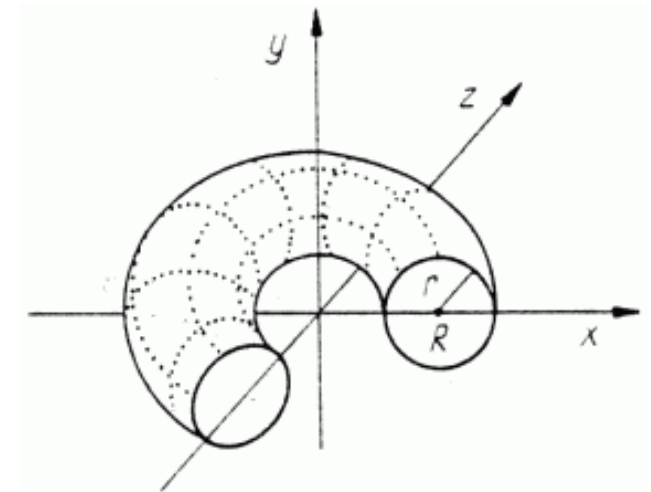
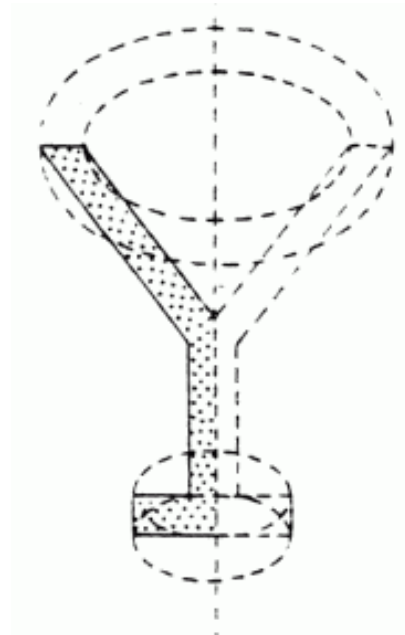
Bryły przesuwane i obrotowe

Przykłady brył modelowanych metodą
zakreślania przestrzeni (przesuwania lub obrotu)

Bryła przesuwana



Bryły obrotowe

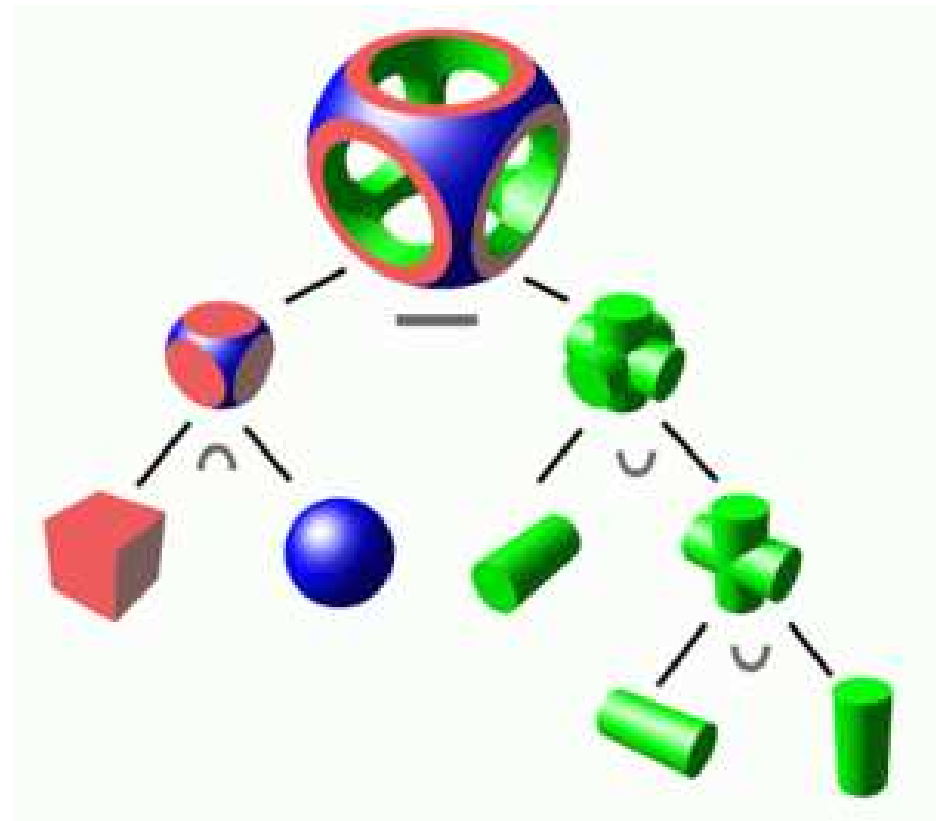


Konstruktywna geometria brył (CSG)

Ang. CSG – *Constructive Solid Geometry*

Reprezentacja obiektu jako drzewa działań logicznych (suma, różnica, iloczyn) wykonywanych na prymitywach.

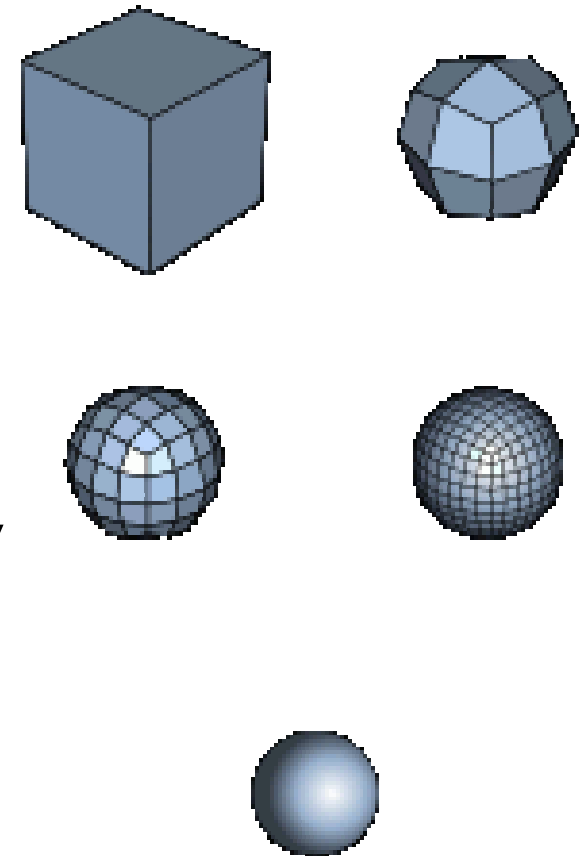
Przykład modelowania proceduralnego.



Metoda podziału powierzchni

Podział powierzchni (*subdivision surface*)

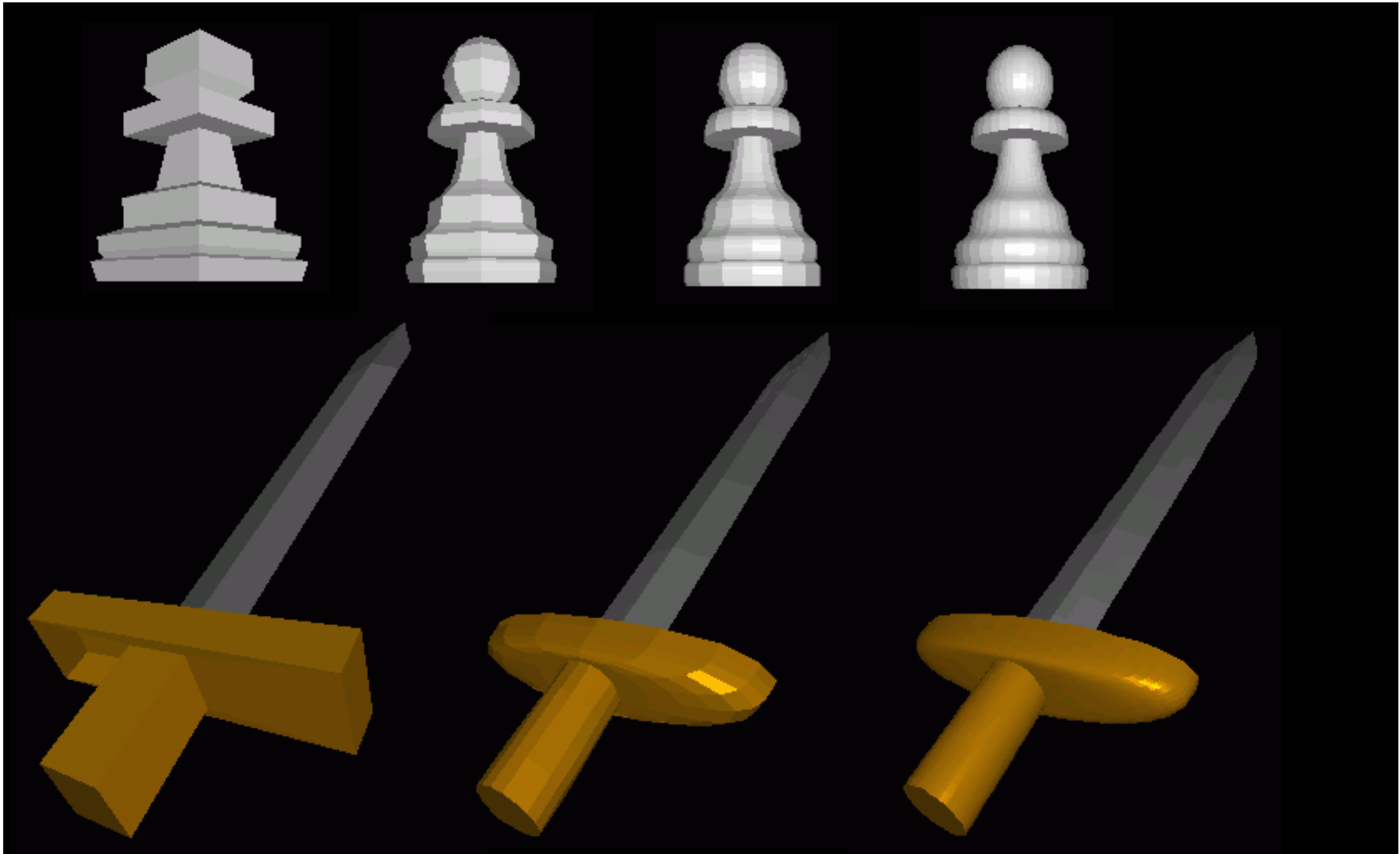
- Rozpoczyna się od zgrubnej siatki wielokątowej (np. prymitywu).
- W kolejnych krokach tworzy się nową siatkę, złożoną z większej liczby wielokątów, poprzez:
 - dodawanie wierzchołków,
 - interpolację.
- Podział kończy się gdy uzyskany zostanie pożądany kształt.



Metoda podziału powierzchni

Przykłady podziału powierzchni

www.subdivision.org



Metoda podziału powierzchni

- Metoda ta nadaje się dobrze do generowania obiektów o symetrycznych kształtach.
- Zaleta: zamiast przechowywać złożoną siatkę obiektu, zapisuje się „surowiec” oraz przepis na uzyskanie końcowego efektu.
- Metoda użyteczna w renderowaniu statycznych scen, raczej nie spotykana w grach.

Model 3D

- Model 3D zawiera informacje opisujące kształt obiektu – np. w metodzie siatki trójkątowej: współrzędne wierzchołków.
- Na etapie modelowania zapisuje się w modelu informacje dodatkowe, potrzebne do renderingu, np.:
 - wektory normalne (prostopadłe do wierzchołków) – upraszczają cieniowanie
 - barwa i „materiał” (zdolność do odbijania światła) – charakter powierzchni obiektu
 - współrzędne tekstury

Utah Teapot

- W 1975 r. Martin Newell z Utah prowadził badania nad modelowaniem komputerowym obiektów. Potrzebował prostego modelu jako wzorca. Żona zaproponowała czajnik.
- Model został stworzony za pomocą parametrycznych krzywych Beziera.
- Wielu innych badaczy użyło modelu Newella do badań.
- Od tamtego czasu „czajnik z Utah” stał się czymś w rodzaju „Hello World” grafiki komputerowej. Model jest zawarty w wielu programach i bibliotekach graficznych (np. GLUT).

