

fejezet.

Poligon Render

A poligon árnyalás a számítógépes megjelenítés hoskorából származik. Számítása az akkori gépek számára a megterhelo volt, a mai gépeken azonban folyamatosan muködtetheto. Ma már 3D-s modellezés közben a modell ellenorzésére, vagy a fejlettebb képkotó eljárás beállításainak elozetes ellenorzésére használják. Ezért azután a poligon árnyalás beállításai részben általános nézeti tulajdonságok csoportjába kerültek (*Rendering View Attributes*) találhatók, részben az általános megjelenítő beállítások közé (*Rendering Settings*). A beállítások a következok:

a) Folyamatos megjelenítéshez választható poligon árnyalási eljárás lehet a konvencionális vagy gyorsított (*Graphics Acceleration On / Off*).

Ha az árnyalás konvencionális, az árnyalás számítást a nézetkezelő műveletek újraindítják; ha gyorsított, a képkotás a számítógép teljesítményétől függő sebességgel folyamatos.

c) Poligon árnyalási módok (*Wireframe, Wiremesh, Hidden Line, Filled Hidden Line, Constant, Smooth, Phong*).

c) Rövidítések. Az árnyalás kiegészülhet textúra-és buckakép leképzéssel (*Pattern / Bump Maps*), árnyék- és átlátszóság számítással (*Shadows, Transparency*), vonalas rajzelem és a betű megjelenítéssel (*Ignore Open Elements and Text*). A voanal megjelenítés valamennyi képkotó eljárásnál alkalmazható.

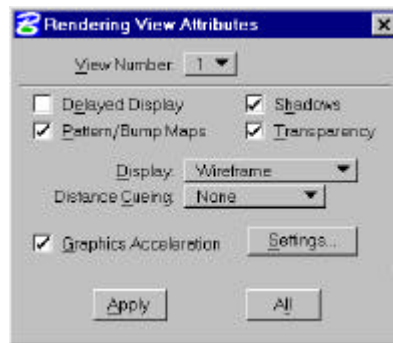
d) Határérték görbült felületek poligon felosztásához (*Stroke Tolerance*). A beállítást valamennyi képkotó eljárás használja. a sík felületek felosztására nincs hatással.

d) Antialias hibajavítások: többmenetes túlmintavételezés (*Antialiasing Grid Size*), textúra eloszurés (*Interpolate Textures, Multilevel Texture Interpolation*), ditéráló utószurés késleltetett megjelenítéssel (*Delayed Display Dithering*). A textúra eloszurés valamennyi képkotó eljárásnál alkalmazható.

c) Phong árnyékbeállítások (*Shadow Filter Size, Shadow Tolerance, Save Shadow Maps*).

d) Távolessággal arányos színmoduláció (*Depth / Fog Cueing, Near Distance, Near Density, Far Density, Fog Color*). Valamennyi képkotó eljárásnál alkalmazható.

e) Statisztika (*Display Rendering Statistics, Log Rendering Statistics*). Valamennyi képkotó eljárásnál alkalmazható.

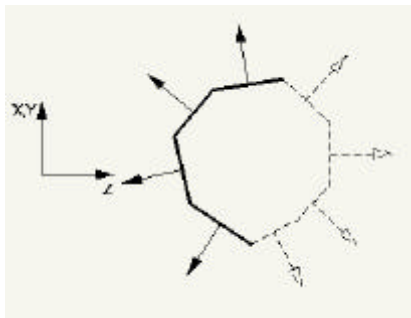


Ábra. *Rendering View Attributes* párbeszédablakban állíthatók a grafikus gyorsítás lépései

Graphics Pipeline

A poligon árnyalás lépései a következők. A közbenso lépések megjeleníthetők, a sorrend az árnyalás típusától függően változó.

1. Display Traversal, háromszögelés. A felületeket háromszöghálól helyettesíti, a görbült felületeket pedig háromszögháló közelíti. A közelítés mértéke a *Stroke Tolerance* tényezővel állítható. A poligonháló magával viszi az eredeti felületek normálvektorait, amelyekre a megvilágítás számításnál lesz szükség.



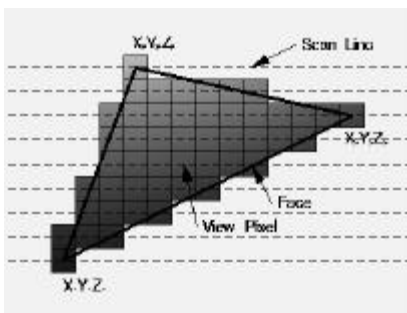
Ábra. *Back-Face Culling*

2. Back-Face Culling (triviális hátsólap eldobás, skalpolás). Eldobja azokat a lapokat, amelyeknek a normálvektor koordinátái pozitívak, azok ugyanis hátrafelé néznek, így biztosan nem láthatók.

3. Lighting (világítás). Kiértékeli a fényforrások hatását laponként (*Constant*), csúcspontonként (*Smooth*), képpixelenként (*Phong*).

4. Viewing Transformation (nézeti transzformáció). A háromszögeket a képkivágásnak megfelelő koordináta-rendszerbe transzformálja, de megtartja a csúcspontok z irányú koordinátáit.

5. Clipping (vágás): Eltávolítja azon lapokat vagy laprészeket, amelyek kívül esnek a nézeti ablak vagy a *Fence* kijelöléssel meghatározott képkivágáson.



Ábra. *Scan Conversion*

6. Scan Conversion (raszterizáció - pásztázó konverzió). A lapokat vízszintes pásztavonalak mentén nézeti pixelekre osztja. Az alternatívák a következők:

Wiremesh (drótháló), a háromszögelés eredményét közvetlenül megjeleníti, a további árnyalási feladatok elmaradnak. Nem tévesztendő össze **Wireframe** (drótváz) ábrázolással, amely a geometria közvetlen megjelenítésére szolgál, és a poligon árnyalástól független eljárás.

7. Z-Buffer Algorithm (takart pixelek eltávolítása). A z irányú koordináták mélységi összevetése alapján eltávolítja a takart pixeleket. Az alternatívák a következők:

Hidden Line (takartvonalas poligon kitöltés), a megvilágítás számítás elmarad, a látható felületeket a háttérszín tölti ki.

Filled Hidden Line (takartvonalas poligon kitöltés saját vonalszínnel), a megvilágítás számítás elmarad, a látható felületeket a saját vonalszín tölti ki.

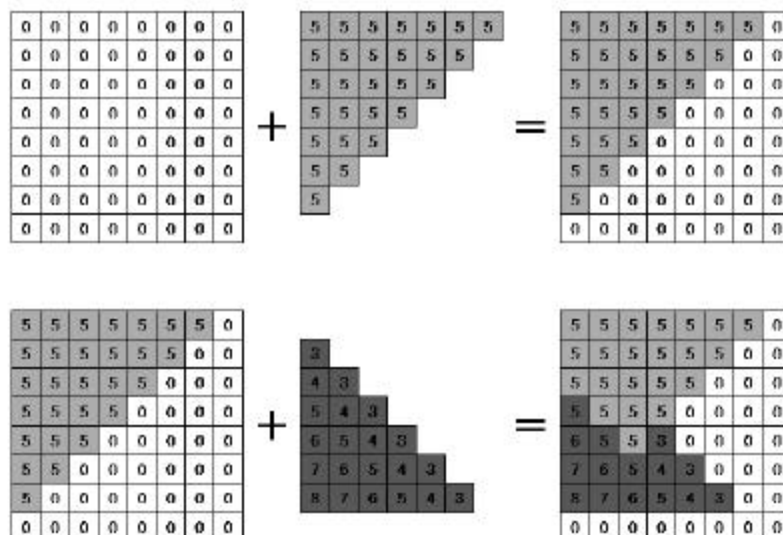
Constants Shading (lapos poligon árnyalás vagy konstans árnyalás), a háromszögekre csak egyszer számítja ki a fényforrások hatását, így a háromszögek színe állandó, konstans.

8. Shading (Árnyalás) Laponként elvégzi az árnyalási feladatokat: (textúra leképezés, bucka-kép leképezés, árnyék-leképezés).

Smooth, intenzitás interpoláló poligon árnyalás (*Gouraud*),

Phong, normál vektor interpoláló poligon árnyalás.

9. Utólagos módosítások: távolsággal arányos színmoduláció (*Distance Cueing*), többmenetes túlmintavételezéssel készült képek egyesítése (*Antialias*), több nézőpontból készült felvétel egyesítése (*Stereo*), ditheráló hibajavítás (*Delayed Display*).

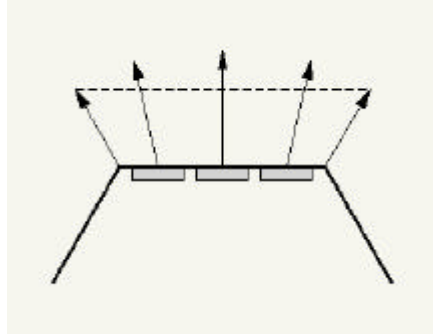


Ábra. **Z-buffer**. A pixelek mélységi elhelyezkedését szám jelöli. Felső sor: az üres Z-bufferbe egy állandó mélységű poligon kerül. Alsó sor: egy másik poligon metszi az elsőt. (Forrás: *Computer Graphics: Principles and Practice*.)

Smooth shading

Sima vagy *Gouraud* féle árnyalás (H. Gouraud 1971) a háromszögek csúcspontjaira ráméri az eredeti felület normálvektorait, és azok alapján kiértékeli a fényforrásokból érkező fényt. Majd az így meghatározott színekből soronként lineárisan interpolálja a háromszögeket lefedő belső képpixelek színeit.

A sima árnyalás akkor megfelelő, ha a háromszögeken belül a fényintenzitás változása megközelítőleg lineáris. Ez nagyjából igaz az egyenletes visszaverődésű diffúz



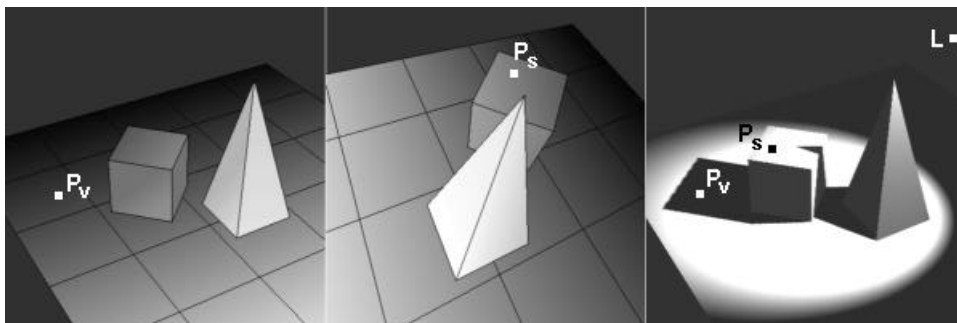
felületekre, a spekuláris visszaverődésű felületeknél viszont a fényfolt elkenődik, árnyékvetésre pedig egyáltalán nincs lehetőség.

Ábra. Normálvektor interpoláció a Phong árnyalásnál.

Phong shading

A Phong féle árnyalás (Bui-Tuong Phong 1975) a csúcspontokon érvényes normálvektorok alapján a háromszögeket lefedő belső képpixelek normálvektorait interpolálja, és pixelenként értékeli ki a fényforrásokból érkező fényt. Így Phong féle árnyalás a nagyobb poligonokon is megbirkózik a spekuláris visszaverődésű felületek gyorsan változó radianciájával, és alkalmas árnyékszámításra is.

A Phong árnyalás a sima árnyalás olyan határesetének is elképzelhető, amikor a tesszelláció finomításával a poligonok vetített területe a pixelek méretével összevethető. Ebből adódik, hogy a sima árnyalás minősége a szűk poligonhálójával közelített ívelt felületeken megközelíti a Phong árnyalását.



Ábra. Z-buffer algoritmussal készített árnyék Phong árnyaláshoz. A balról jobbra: a) a kamera nézőpontjából készített mélységi pixeltáblázat, b) L fényforrás nézőpontjából készített mélységi pixeltáblázat. c) P_v nézeti pixel, P_s árnyékpixel z irányú koordinátáinak összevetése eldönti, hogy P_v nézeti pixel takarásban van. Az a) és b) kép szemléltető rekonstrukció, a Z-buffer nem kép, csak a pixelek koordinátáit tartalmazó táblázat, a mélységet szürkefokozatok jelzik.

A Phong árnyaláshoz tartozó vetett árnyékot két menetes Z-buffer algoritmus készíti (Williams 1978). Két pixel alapú felvétel készül, az egyik a kamera, a másik pedig a fényforrás nézőpontjából. A két felvétel mélységi összevetése eldönti, hogy a nézeti

pixel P_v vagy az árnyékpixel P_s van a távolabb a fényforráshoz. Ha a nézeti pixel van távolabb a fényforrástól, akkor árnyékban van. A fényforrások felol készített képek elnevezése árnyékkép (*Shadow Map*), a beállításai a következők:

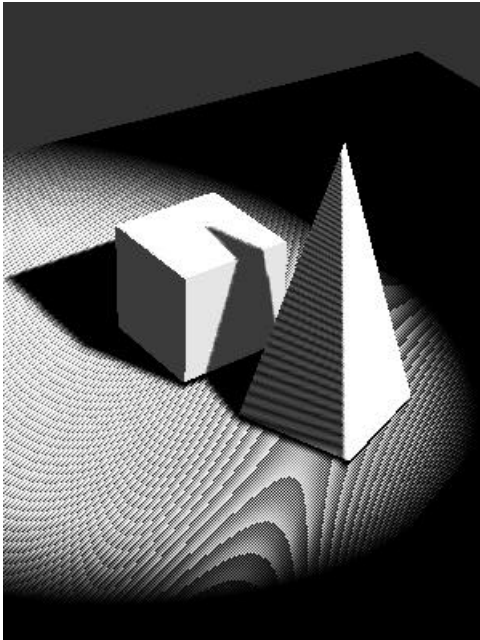
Save Shadow Map - On beállítással az árnyékképek – mivel a nézőponttól függetlenek, és több nézőpontból készülő felvételhez felhasználhatók - a memóriában tarthatók, illetve ideiglenes file-okként a *Temp* könyvtárban elmenthetők. Ha a modellben árnyékot módosító változás történik, például módosul a geometria vagy a fényforrások elhelyezkedése stb., az árnyékképet el kell távolítani.

Shadow Filter Size beállítással az árnyékkép ditherálható. 0 – nincs ditherálás, az árnyék éles, 15 – teljes ditherálás, az árnyék puha. Mértékegység árnyékkép pixel.

Shadow Resolution, az árnyékkép felbontása fényforrásonként állítható. Nagyobb felbontás pontosabb árnyékot eredményez, de növeli a számítási időt. A felvétel és az árnyékkép felbontása közel azonos legyen.

Minthogy az eljárás pixel pontosságú, ha az árnyékkép felbontása alacsony (vagy magas), *alias* típusú mintavételi hibák keletkeznek. Így például surló fényben a megvilágított felület és vetett árnyéka láthatóan elcsúszik egymástól, és a tárgy lebegni látszik. Ilyen esetben növelni kell az árnyék-kép felbontását, vagy meg kell változtatni a fény beesési szögét. A geometria módosítása a jelenséget nem szünteti meg.

Elofordulhat az is, hogy a pixelek pontatlan mélységi összevetése következtében a megvilágított nézeti pixel az árnyékpixel mögé kerül, így tulajdonképpen önmagára vett árnyékot (*Self-shadowing*). Ez a hiba a **Shadow Tolerancia**, árnyékturés tényező növelésével javítható, amely a nézeti pixeleket közelebb viszik a fényforrásokhoz. A túl magas árnyékturés pontatlan árnyékot, a túl alacsony árnyékturés hibás önárnyékot eredményez. Az önárnyék megelőzésére a 0.02 százalékos nagyítás általában elegendő.

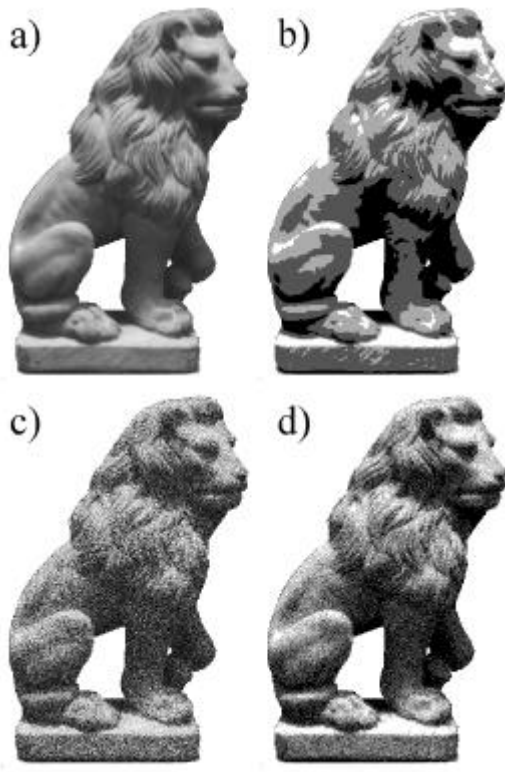


Ábra. Phong árnyalással készített árnyék hibái: a) Elcsúszó árnyék a kocka alatt, - túl alacsony az árnyékkép felbontása. b) Önárnyék a gúla oldalán, - surló fény és túl alacsony árnyékturés. c) Interferencia az alapsíkon, - túl magas vagy túl alacsony az árnyék-kép felbontás.

Phong antialias

A Phong árnyaláshoz tartozó *alias* hibajavítás többmenetes túlmintavétel (*Multipass Oversampling*). Egymás után több felvétel készül x és y irányban enyhén eltolva nézőponttal. A végso pixelszín a képpixekek átlagából adódik.

Antialiasing Grid Size, rácsméret a felvételek illetve az eltolások számát határozza meg. Az alapbeállítás 2 egység, amely 2 x és 2 y irányú eltolást, azaz 4 felvételt eredményez. Minél több felvétel készül, annál jobb minőségű lesz az árnyalási kép.



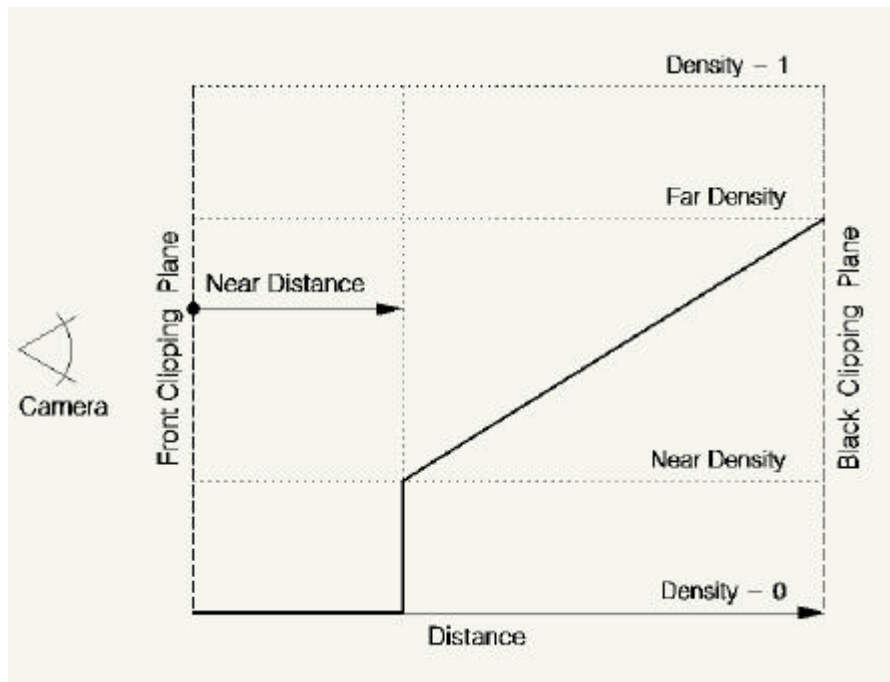
Ábra. **Delayed Display Dithering** hibajavítás 16-bites vagy annál alacsonyabb színmodelnél megszünteti a szem számára zavaró ugrásszerű változásokat. a) Kiinduló kép – nyomdatechnikai okokból 64 fokozattal. b) Kvantált kép - 4 fokozat, c) Nagyfrekvenciás zajjal kevert kép - 64 fokozat. d) Kvantált zajos kép - 4 fokozat.

Delayed Display Dithering

A késleltetett megjelenítés (*Delayed Display*) az árnyalási képet előbb a memóriába menti, és csak a kész képet küldi a képernyőre. Ha a képernyő színmélysége 16-bites, vagy annál alacsonyabb, a késleltetés kiegészül ditheráló hibajavítással.

Az árnyalás számítások 24-bites színekoordinátákkal történnek, az alacsonyabb színmélység esetén a pixelszíneket kvantálni kell, hogy beférjenek a képernyő rasztértárba. (Az alacsonyabb színmodell tehát nem növeli, hanem csökkenti az árnyalás sebességét.) A kvantálás a lassan változó színátmenetek esetében a szem számára zavaró ugrásszerű változásokat eredményez. Mivel a késleltetett megjelenítésnél az egész kép előzetesen a memóriában kerül, a kvantálás előtt a színek 0 várható értékű nagyfrekvenciás zajjal keverhetők. Ez a ditherálás, amelynek eredményeképpen a kép ugyan zajosabb, viszont az ugrásszerű változások eltűnnek. 24-bites megjelenítésnél, nincs kvantálás, így az útósűrés is elmarad.

Az eljárás előnyei nem számottevőek, csak lassú számítógépen gyorsítja a megjelenítést, a 24-bites képernyő általánosan elterjedt.



Ábra. **Distance Cueing**. A **Near Distance** közeli távolság után kezdődik fényelnyelés. A közeli távolság mértékegysége az első és hátsó képvágósík közötti távolsága százaléka. Például 0.25 – a mélység első negyedében nincs halványulás.

Distance Cueing

A **Distance Cueing** eljárás a rasztterárba történő beírás előtt a távolsággal arányosan módosítja a képpixelek színét, segítségével a levegő fényelnyelő, fényszóró hatása utánozható. A fényforrások távolság arányos fényerő csökkentésétől (*Attenuation*) függetlenül működik. A **Rendering View Attributes** párbeszédablakból választható típusai a következők:

None, nincs módosítás.

Depth Cueing, a képpixelek intenzitása csökken a távolsággal arányosan. A csökkenés mértékét a 0 – 1 érték között választható „sűrűség” tényező (*Density*) határozza meg. Teljes intenzitáscsökkentés mellett a háttér színe fekete lesz.

Fog (köd), a képpixelek színe egy előírt szín (**Fog Color**, ködszín) irányába tolódik el a távolsággal arányosan. Teljes színeltolás mellett a háttér színe a választott szín lesz.

A ködszín és a sűrűség tényező a **Rendering Settings** párbeszédablakban állítható:

Fog Color, szinkordinátákkal meghatározható módosító szín. (A **Depth Cueing** eljárásnál e beállítására nincs szükség, mert az a fényintenzitás csökkentésén alapul.)

Near Distance, közeli távolság, amely után kezdődik a képpixel módosítás. Mértékegység a mellso és hátsó kép-vágósík közötti távolság százaléka.

Near Density, a suruság tényező közeli távolságnál előírt kezdő értéke, a teljes színérték illetve a teljes intenzitáscsökkenés (nincs fény) százalékában kifejezve.

Far Density, a suruság tényező hátsó kép-vágósíknál előírt befejező értéke, a teljes színérték illetve teljes intenzitáscsökkenés (nincs fény) százalékában kifejezve.

Graphics Acceleration

A poligon alapú árnyalási módok grafikus gyorsítás (*Graphics Acceleration*) segítségével folyamatosan működtethetők. A folyamatosság hardveres gyorsításra is alkalmas nézeti csövezetéknek (**Graphics Pipeline**) köszönhető, amely poligon árnyalások lépéseit inkrementáló algoritmus sorozatba szervezi. A csövezetékben az adatok végig folynak, és a végeredmény nézetenként elkülönített memória területbe kerül (**View Cache**).

Az eredeti poligon árnyalás és gyorsított változat egymástól függetlenül dolgozik, de beállításai az áttekinthetőség érdekében közösek. A külön beállítások a nézőpont változtatása közben történő számításokat érintik, hogy megelőzzék az elégtelen teljesítményű rendszereknél előforduló lelassulást. Ezek a következők:

Dynamics Texture, Transparency, Face Outline - On a nézőpont változása közben is számítják a textúra leképezést, az átlátszóságot, valamint – *Constants* vagy *Smooth* árnyalás esetében – a felületek körvonalát.

Display Options: Highlights Edges Only - On a készülő rajzelemeket drótvázként jeleníti meg, ha az árnyalási mód *Filled Hidden Line*, *Constant*, vagy *Smooth*.

Display Options: Update to Screen - On csak az elkészült árnyalási képet jeleníti meg.

A grafikus csövezeték a Windows NT/2000 operációs rendszer működteti, az algoritmusokat az az operációs rendszer **OpenGL** könyvtára tartalmazza. A számításokat osztott munkaidőben elvégezheti a számítógép processzora, ez a szoftveres gyorsítás, és elvállalhatja ezt a feladatot a külön e feladatok elvégzésére optimalizált külső, rendszerint a video kártyán elhelyezett grafikus processzor, ez a hardveres gyorsítás.

A grafikus kártyák – kevés kivétellektől eltekintve – a számítógép processzorát az árnyalási feladatok elvégzésében segíteni nem tudják, mert a képernyőben végződő csövezeték egyirányú. A grafikus kártyák tehát csak a képernyőn történő megjelenítést gyorsítják, a file-ba mentett árnyalási számításokat nem.

A grafikus kártyák különböző felhasználói kör számára készülnek (általános-üzleti, játék-animáció, 2D-s grafika, építészeti-mérnöki), ezért különböző könyvtár-rutinokat használnak (*DirectDraw*, *OpenGL* stb), és különböző képernyő felbontásnál (1600 x 1200, 1280 x 1024 stb.) érik el a legnagyobb teljesítményt. A CAD munkahelyhez a kártyaválasztás szempontjai fontossági sorrendben a következők:

1. *OpenGL* támogatás.
2. A megszokott képernyőfelbontásnál a gyorsaság / ár arány.
3. Textúra memória / ár arány.
4. Egyéb szolgáltatások / ár arány.

Az összevetéshez a szokásos méretű modell poligonszáma (*Triangles*) lekérdezhető a *Display Rendering Statistics* beállítással, a szokásosan használt textúra képek mérete KB-ban összesítendő.

Quick Vision

A grafikus gyorsítás elkülönült memória területen tárolt eredménye a **QuickVision** külső program segítségével, folyamatosan változtatható nézőpontból megtekinthető.

Az kiválasztott ablak tartalma a **File \ Export \ QuickVision** menüparanccsal megnyitott **Export 3D View** file-kezelő párbeszédablakból exportálható.

View Size

Valamennyi megjelenítő eljárás (- a radiosity és PT számítás kivételével -) már a geometriai felvétel elkészítéséhez igényli az ablak, azaz képkivágás méretét, vagy legalábbis a képkivágás arányát, mert ebben a fázisban történik az adatbázis leszukítása. A file-ba íródó felvétel esetén az ablak nézet felbontás megváltoztatható, az arány azonban nem. A beállítás történhet az operációs rendszer ablakmódosító eszközeivel, a **View Size** párbeszédablak beállításai a pixel pontosságú meghatározásához nyújt segítséget.

XY, képszélesség, magasság. Mértékegység képernyő pixel.

Aspect (ratio), képarány, gyakori képméretek valamint video szabványok (amerikai NTSC, európai PAL).

Proportional Resize, a szélesség vagy magasság módosításánál megtartja a képarányt.

Maintain View Parameters, a szélesség vagy magasság módosításánál fenntartja a nézetbeállításokat, a képképet.

Background, háttérként raszterkép illeszthető a nézetbe. A raszterkép kitölti a nézetet, ezért az arányai torzulhatnak. A nézetben egyébként a raszterkép más módon is elhelyezhető.

Stroke Tolerance

Valamennyi árnyalási mód a görbült felületeket poligonhálóval közelíti, ezért a görbült felületek kontúrján érzékelhető a poligonháló éle. Ez a hiba a poligonháló felbontásának növelésével javítható. A közelítés mértéke a **Rendering Settings** párbeszédablakban a **Stroke Tolerance** tényezővel állítható, amely a görbület és a lapok közötti legnagyobb megengedett távolságot állítja, a mértékegység képpixel. A *Stroke Tolerance* beállítás a síkfelületek felosztását nem módosítja.

