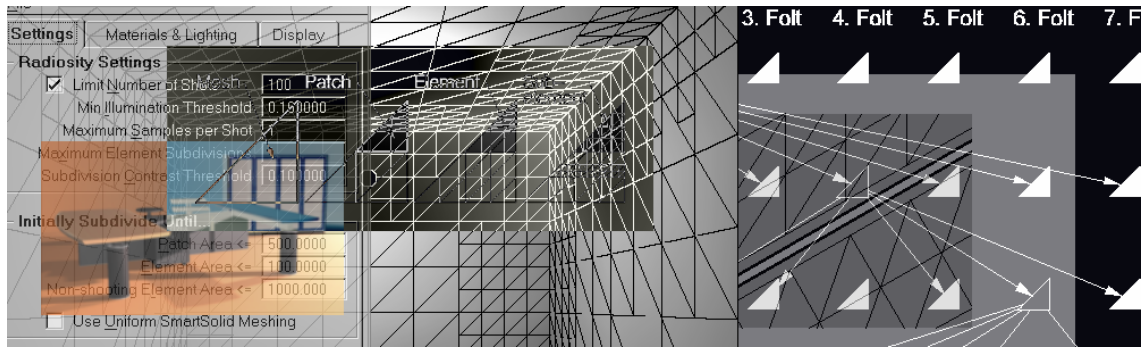




6.6 fejezet.

Radiosity árnyalás

A radiosity árnyalás működtetése a **Render** ikonparanccsal megnyitott **Render** eszközbeállító párbeszédablakból történik. A beállítások a **Settings** nyomógomb paranccsal elérhetők. Az eljárás két menetes.

Az első menetben a felületek közötti többszörös visszaverődés számítása történik, amelynek eredménye megvilágítási értékek nézetfüggetlen táblázatos összesítése. Ez a radiosity megoldás, a beállításai a következők:

- a) Területfelosztás. A visszaverődés-számításból kizárt – nemsugárzó, nemfogadó - területek meghatározása (*Material Usage*). Területfelosztás háromszögekre, foltokra, elemi területekre és nemsugárzó, nemfogadó elemi területekre. (*Initial Patch, Element, Sub-element, Non-Shooting Element Area*). Élbehúzás (*Shootinterior*).
- b) Számítási alternatívák. Sugárnyaláb szaporítás (*Sample per Shot*). Fényértelmezés (*Light Interpretation*). Az első visszaverődés számítása raytrace árnyalással (*Ray Trace Direct Illumination*). Ambiens fénykiegészítés (*Display with Ambient*) és fényerő növelés (*Brightness Multiplier*).
- c) Visszaverődési számítást leállító határértékek (*Limit Number of Shots, Minimum Illumination Threshold*).
- d) Megoldás memória kezelése (*Load, Save, Clear Solution*).

A második menet a megjelenítés, amely történhet raytrace vagy sima árnyalással. A beállítások ellenőrzése érdekében többféle elemző megjelenítési mód egészíti ki.

- c) A megoldás kezelése (*New Solution, Display Current Solution, Add More Shots to the Current Solution*)
 - a) Közbeső elemző megjelenítési módok. A területfelosztás, sugárzó folt, fénykibocsátás és fényelnyelés megjelenítése. (*Wiremesh Overlay, Shooting Patch Highlighted, Luminance, Illuminance stb.*)
 - b) Végso megjelenítési módok: sima, raytrace árnyalás, közvetlen raytrace árnyalás (*Smooth, Raytrace, Raytrace Indirect*).

A raytrace árnyalás hibajavító algoritmusai a *Ray Trace* párbeszédablakból irányíthatók.

Radiosity Solution

A valóságban a fényvisszaverődés a mikrofelületek tükröződésén alapul. A visszaverődés - a felületek anyagi tulajdonságaitól és megmunkálástól függően – szórt, vagy meghatározott irányú. A saját kibocsátással rendelkező anyagok szórt fény sugároznak. A radiosity eljárás (Goral 1984) azon az egyszerűsítésen alapul, hogy a felületek csak szórt fény sugároznak szét. Eszerint a többszörös visszaverődés számításban részt vevő felületeknek lehet saját fénykibocsátásuk, ezek a fényforrások, és lehet diffúz visszaverődésük. Ez utóbbi esetben a felületek a beeső fényt meghatározott hányadát elnyelik, átengedik vagy visszaverik. A saját sugárzás és a visszavert sugárzás összeadódik, mennyiségének kifejezése a radiozítással történik. A radiozítás egységnyi felületről egységnyi idő alatt a félgömb alakú féltérbe szétsugárzott fényenergia fajlagos mennyisége, mértékegysége Watt/egységnyi idő/m².

A radiozítás számítása tehát nem a felületre érkező, hanem a felületről visszaverődő fény (és a saját sugárzás) mennyiségét határozza meg.¹ Ily módon a kapott eredmény egyszerre lehet a kamera számára leolvasható végeredmény, és kiindulópontja egy másik felületre eső fény mennyiség alapján történő visszaverődés számításnak.

A radiosity számítás felületről felületre azt a fény mennyiséget követi, amelyet F_0 fényforrás, mely maga is felület, átad F_1 felületnek, F_1 felület részben elnyel, részben továbbad F_2 felületnek, F_2 felület részben elnyel, továbbad F_3 felületnek, és így tovább. Miközben F_1 felület megvilágításához hozzájárul az F_2 és F_3 felületektől kapott sugárzás is, és így tovább. A felületek önmagukra sugárzott radiozítása = 0.

Figyelemmel arra, hogy a felületek megvilágítottsága gyorsan változhat, a számításhoz a felületeket minnél kisebb terület egységekre kell felosztani. A radiosity számításnál a terület egység elnevezése folt, angolul **Patch**. E folyamat tetszőleges pillanatában j sugárzó folt viszonylatában i fogadó folt B_i radiozítása a következőképpen alakul:

$$B_i = E_i + \rho_i \sum_{1 \leq j \leq n} B_j F_{ji} - j$$

ahol: B_i a fogadó i folt radiozítása.

E_i a fogadó i folt már felhalmozott radiozítása. A fényexpozíció pillanatában csak a fényforrások rendelkeznek saját radiozítással, ekkor még $E_i = 0$. A számítás végén a felhalmozott radiozítást rögzíti a kamera.

ρ_i a fogadó i folt diffúz visszaverődési tényezője. A *Diffuse*, *Specular* és *Transmit* együtthatók alapján megállapított konstans, amely meghatározza, hogy a felület kapott fény mennyiség hányad részét nyeli el, (átlátszó felületnél engedi tovább,) illetőleg sugározza vissza a félgömb alakú térbe. Nincs mértékegysége, értéke nem lehet nagyobb 1-nél, mert akkor a felület sugárzóvá válna, és a számítás nem tud leállni. Mivel a visszaverődési tényező hullámhossz függő, a radiosity számítás a három reprezentatív hullámhosszon külön-külön történik.

B_j a sugárzó j folt teljes felületéről a félgömb alakú térbe sugárzott összes radiozítás.

$F_{i,j}$ fényátadási hányados, elnevezése forma faktor - **Form Factor**, amely meghatározza, hogy B_j radiozításból mennyi esik i foltra.

¹ A radiozítás csak a Lambert féle diffúz felületről a félgömb alakú térbe sugárzott összes fény mennyiség mértékegysége. Nem tévesztendő össze a radianciával, amely bármely típusú felület adott irányú sugárzását minősíti a távolság és a térszög függvényében.

A forma faktor két folt viszonylatában azokat geometriai tényezőket foglalja össze, amelyek meghatározzák, hogy sugárzó j folt (egy pontjából a félgömb alakú térbe sugárzott) B_j radiozításából mennyi esik i foltra. A hányados a két folt méretétől, távolságától, az egymáshoz viszonyított elfordulásuktól és a közbeékelődő más foltoktól függ. Azaz

$$F_{j-i} = \frac{1}{A_j} \frac{A_j \cos \theta_i \cdot A_i \cos \theta_j}{\pi r^2} H_{j-i}$$

Ahol $A_j \cos \theta_i \cdot A_i \cos \theta_j$ a két folt egymás irányából látható vetületi területe.

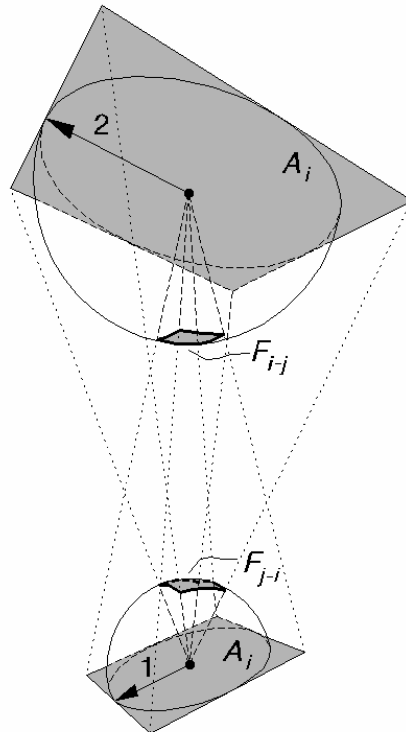
r a két folt egymástól való távolsága.

H_{j-i} láthatósági indikátor függvény, amely 1 értéket vesz fel, ha a két folt látja egymást, illetve 0 értéket, ha a két foltot valami eltakarja egymás elől.

A radiosity egyenlet a fogadó i folt radiozításának megállapítására irányul, ezért a forma faktort célszerűen a i folt szempontjából kell megállapítani. Mivel $F_{j-i} A_j = F_{i-j} A_i$, ezért $i-j$ viszonylatban a forma faktor

$$F_{i-j} = \frac{F_{j-i} A_j}{A_i}$$

ahol A_i és A_j a fogadó és a sugárzó folt területe.



Ábra. **Form Factor.** A forma faktor meghatározza, hogy a sugárzó foltról a félgömb alakú térbe sugárzott fényből mennyi esik a fogadó foltra. Két folt viszonylatában ez a hányados azonos: $F_{i-j} A_i = F_{j-i} A_j$. Az ábrán látható felső folt területe az alsó felület területének a kétszerese.

Light Interpretation

A forma faktornak köszönhetően a radiosity megoldásban a fényerő a valóságnak megfelelően a távolság négyzetével arányosan csökken. Ennek következtében a Phong és raytrace árnyaláshoz igazodó fénybeállításokkal a radiosity számítással készült kép sötétebb lesz. Ugyanis a Phong és a raytrace árnyalások a fényforrások által kibocsátott fénymennyiségét közvetlenül veszik számításba. A fényerőcsökkentő tényező (*Light Attenuation*) is csak egy egyszerű szorzó, amely a képpixel fényességét a felület és fényforrások közötti távolság alapján lineárisan csökkenti. A hiányzó fénymennyiség pótlására a fényforrások fényerősségének alapbeállítása - **Intensity** kiegészül egy szorzóval - **Lumens**, amely egyúttal azt is lehetővé teszi, hogy a szükséges fénymennyiség a radiosity számításhoz külön legyen szabályozható.

E különbségekre figyelemmel a fényértelmezés (*Light Interpretation*) a radiosity számításnál külön is állítható.

- **Standard** módban a radiosity számítás csak az *Intensity* értékét veszi figyelembe, a fényerőcsökkenés a távolsággal lineáris. A végeredmény a Phong és raytrace árnyalások által teremtett fényviszonyokat közelíti

- **Extended** módban a radiosity számítás az *Intensity* és *Brightness* szorzatát veszi figyelembe, a távolsággal arányos fényerőcsökkenés négyzetes. Ez a beállítás eredményez szebb képet.

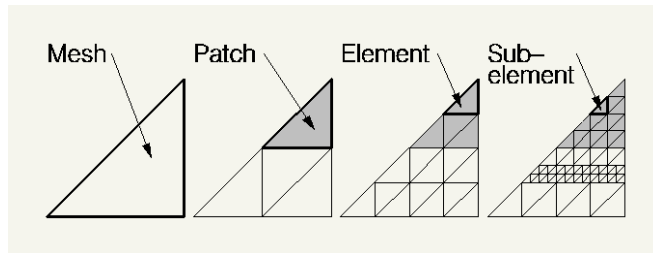
A forma faktor számítás következménye az is, hogy a radiosity számítás a geometriai kiértékeléséhez valódi mértékegység megnevezését igényli. A radiosity számítás méterben történik, azaz 1 *Master Unit* = 1 méter távolságnak felel meg. Ekkor a fényforrások *Brightness* beállítása a Lumen-t közelíti, ha az *Intensity* – 1. Például, ha az *Intensity* – 1, a *Brightness* – 50, akkor a fényforrás által kibocsátott fényerő - 50 Lumen.

A *Working Units* párbeszédablakban a radiosity számítás számára értelmezhető mértékegységet kell megnevezni. A metrikus méretrendszerből elfogadott mértékegységek a **km** (kilométer), **m** (méter), **cm** (centiméter) és a **mm** (milliméter). Szükség szerint a RAYTRACE SET METERPERMU <Érték> szöveges paranccsal az ezektől eltérő mértékegység értelmezése is megoldható. A megadott szorzó növeli vagy csökkenti a radiosity egyenlethez felhasznált távolságokat. Például, ha a *MU* - *inch*, akkor a szorzó - 40, azaz $39.37 \times 0.0254 = 1$ méter.

Megjegyzés: a MicroStation a radiosity számításán kívül csak az AEC méretezés igényli a mértékegység megnevezését. Mindenütt másutt a *Master Unit* (és a *Sub Unit*) jelenthet métert, mikront vagy fényévet.

Adaptive Subdivision

Az egységnyi terület, a folt területén a radiozitás állandó. Ezért minnél kisebb a folt területe, annál pontosabb eredményhez vezetnek a többszörös visszaverődés számítás. A folt mérete azonban nem csökkenthető korlátlanul, mert a radiozitást elvben valamennyi folt-folt viszonylatban meg kellene állapítani, miközben a foltszám növekedése meghatványozza a számítási időt. A foltok közötti megvilágítás különbség lineáris interpolációval elsimítható, de az árnyék határon gyorsan változó radiozitás követésére már a kisméretű foltok sem képesek. Ezért a foltokat tovább kell osztani. Az alkalmazott felület-felosztó rendszer három lépcsőre tagolódik, háromszögekre, foltokra és elemi területekre.



Ábra. **Initially Subdivide Until...** beállítások három lépcsőben határozzák meg a felületek felosztását. a) **Stroke Tolerance: Polygon Mesh**, b) **Patch Area: Patch**, c) **Element area: Element**: d) Az elemi terület mérete alkalmazkodik a fényviszonyokhoz - **Maximum Element Subdivisions: Sub-element**.

a) Az első felosztás a háromszögekből alkotott háló - **Mesh**. A háromszögek meghatározzák a foltok térbeli elhelyezkedését, és ezzel a visszaverődések irányát, egyúttal kiindulópontjai a további felosztásnak.

A poligonok $N-2$ háromszögre oszthatók, ahol N az alkotóélek száma. Például a négyzetet két háromszög helyettesíti.

A görbével határolt síkokat és görbült felületek felosztása közelítéssel történik. A lapok mérete a **Stroke Tolerance** tényezővel állítható, amely síkban vagy térben meghatározza a lap és görbület közötti legnagyobb megengedett távolságot. Az ajánlott mértékegység a **Master Unit**, így a felosztás több nézpontról is megfelelő lesz. (A nézetfüggő árnyalási módok számára az ajánlott mértékegység a képpixel, így a küszöbérték a perspektívikus nézet mélységében csökken: a kamerához közelebb eső felületeken a háromszögháló sűrűbb, távolabbi felületeken pedig ritkább.

A **Uniform SmartSolid Meshing - On | Off** beállítás segítségével a felosztás egyenletesebb lesz, mert a háromszögelés a folt (második felosztás) területe alapján történik. Erre akkor lehet szükség, ha bizonyos alakzatokon, például lyukas felületeken a háló alakja rendellenes. A beállítás megváltoztathatja a textúrák irányát, és ez hátrányosan érinti a radiosity és a többi képalkotó eljárás közötti kompatibilitást.

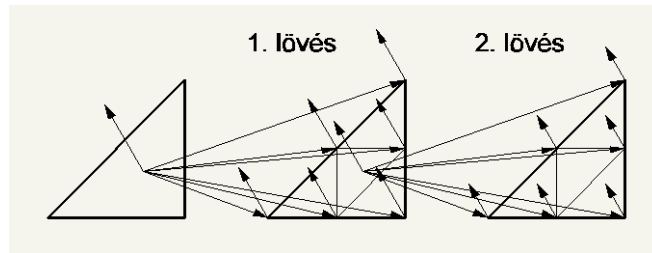
b) A második felosztás a háromszögek felosztásával a folt - **Patch**, amely a radiosity számítás alapegysége. A foltok fogadják a területükre érkező fényenergiát, és tovább sugározzák a foltok továbbosztásával (harmadik felosztás) létrehozott elemi területek irányába.

A foltok méretét felső küszöb, úgymint a legnagyobb megengedett foltterület határozza meg. Eszerint háromszögek négyesével addig osztódnak, amíg területük nagyobb, mint az **Initially Subdivide Until Patch Area** beállítása. Mértékegység a **MU** négyzete. Így módon a különböző nagyságú háromszögek közel azonos méretű foltokra oszthatók. A tájékoztató alapbeállítás a folt területét a modell térben talált legnagyobb háromszög területének tizedrészére állítja. Ez a beállítás helytelen, ha a geometriában egy felület, például az alapsík mérete kiugróan nagy.

A **Patch Area** beállítás érvényesíthető a legkisebb megengedett foltméretként is. Ezt teszi a **RAYTRACE SUBDIVIDEALLOBJECTS** szöveges parancs, amely szerint a háromszögek négyesével addig osztódnak, amíg a területük nem kisebb az előírtnál. Ez a parancs váltókapcsolóként működik, és valamennyi felosztó beállítás értelmezését megfordítja.

Példa: Ha 5 cm^2 a folt legnagyobb megengedett területe, akkor egy 500 cm^2 -es háromszög 128 foltra osztódik, amelyeknek területe egyenként 3.9 cm^2 . Ugyanis 64 folt esetén a terület 7.8 cm^2 lenne, ami már nagyobb, mint az előírt 5 cm^2 .

Fordított esetben viszont a háromszög csak 64 foltra osztható, mert 128 folt esetén a terület 3.9 cm^2 lenne, ami már kisebb az előírtnál. A példából az is kitűnik, hogy a RAYTRACE SUBDIVIDEALLOBJECTS parancs egy lépcsővel csökkenti a felosztást.



Ábra. A Radiosity számítás az elemi terület csúcspontjain mért megvilágítás értéket átlagolja. A foltokhoz tartozó elemi területek (átlagolt) értékét ismét átlagolja, majd szétsugározza a foltról látható elemek felé. A vektorok a radiozítás fokozatos csökkenését mutatják.

c) A harmadik felosztás az a foltok továbbosztásával alkotott elemi területek - **Element**. Rendeltetésük kettős, egyrészt a csúcspontokon mért radiozítás a megjelenítés kiindulópontja, másrészt a folt által tovább sugárzott fényenergia az elemi területeken felhalmozódó radiozítás összesítése alapján történik. Ily módon felosztás anélkül finomítható, hogy a folt-folt viszonylatok száma meghatványozódna, azaz $F \times F$ helyett csak $F \times E$, ahol E az összes elemi terület száma. Az elemi területfelosztás is növeli a számítási időt, de a számítási igény így is lényegesen kevesebb lesz, mintha a foltok számát növelnénk.

Az elemi terület mérete változó, követi a fényviszonyok alakulását. Az eljárás elnevezése adaptív továbbosztás, angolul *Adaptive Subdivision*, mert a felosztás alkalmazkodik a felületen változó radiozításhoz. Az elemi terület továbbosztódik, ha a csúcspontjain mért radiozítás jelentős eltérést mutat, ami jellemzően az árnyéknál fordulhat elő. Az így kialakuló kisebb elemi területek elnevezése szub-elemi terület - **Sub-element**.

Mivel a folt területén a radiozítás állandó, nem képes elindítani az adaptív továbbosztást. Ezért az elemi területek kiinduló (*initial*) felosztását sajátkezűleg kell megadni. A felosztás beállítások összefoglaló elnevezése „kezdő felosztás, amíg...”, angolul *Initial Subdivide Until* arra utal, hogy a folt felosztás mellett az elemi területfelosztás kezdő paramétereit is a felhasználónak kell meghatároznia. Fentiek alapján az elemi területfelosztás beállításai a következők:

A kiinduló elemi területek méretét felső küszöb, úgymint a legnagyobb megengedett elemi terület határozza meg. Eszerint az elemi területek négyesével addig oszthatók, amíg a méretük nagyobb, mint az *Initially Divide Until Element Area* beállítása. Mértékegység a *MU* négyzete. Így módon a különböző nagyságú foltok közel azonos méretű elemi területekre oszthatók. A tájékoztató alapbeállítás az elemi terület területét a modell térben található legnagyobb háromszög területének ötvened részére állítja. Ez a beállítás helytelen, ha egy felület, például az alapsík mérete kiugróan nagy.

A sub-elemi területek méretét számuk alapján lehet beállítani. A **Maximum Element Subdivisions** egészszám határozza meg, hogy az elemi terület négyesével meddig osztható tovább. 1 – négy kis háromszög, 2 – tizenhat kis háromszög, és így tovább. Ez a továbbosztás azonban csak akkor és csak addig létesül, amíg a csúcspontokon mért értékek különbsége **Subdivison Contrast Threshold** beállítással meghatározott küszöb alá nem kerül. Magasabb küszöb kiterjedtebb területű és finomabb felosztást eredményez. Alacsonyabb küszöb szűkebb területű és durvább felosztást eredményez. Az alapbeállítás - 0.1, azaz az elemi terület továbbosztódik, ha az egyik csúcspont radiozítása 10 százalékkal eltér a másik kettő átlagától.

Non-shooting Element Area

Külön állítható a sugárzásból kizárt felületek elemi terület felosztása, mivel azoknál nincs igény részletes felosztásra. A nem sugárzó felületek fogadják a más felületekről érkező fényenergiát, de nem adják tovább. Ezzel is csökkenthető a számítás idő- és memória igénye. A nem sugárzó felületek az anyag használati beállításokkal (*Material Usage*) határozhatók meg. (Lásd lejjebb.)

Az *Initially Subdivide Until Non-shooting Element Area* beállítás a nem sugárzó elemi területek méretének felső küszöbértéke. Mértékegység az *MU* négyzete. A tájékoztató alapbeállítás a nem sugárzó elemi terület területét a modell térben található legnagyobb háromszög területének ötöd részére állítja. Ez a beállítás helytelen, ha a geometriában egy felület, például az alapsík mérete kiugróan nagy.

Controlling calculation time and accuracy

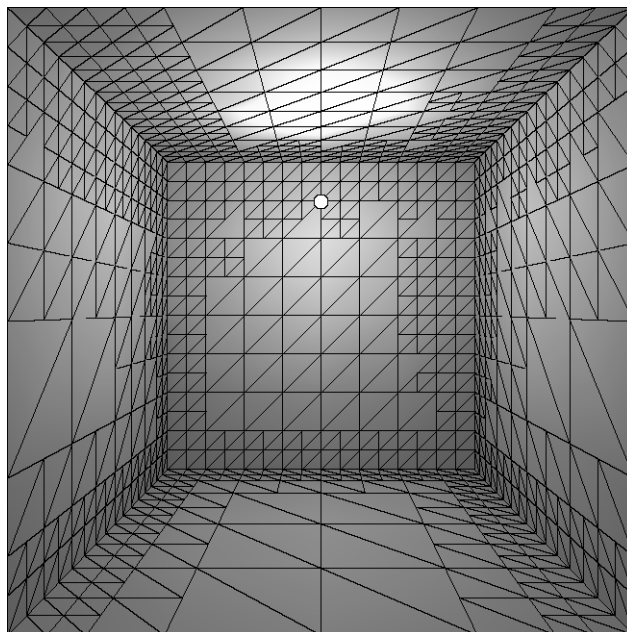
A többlépcsős felosztás szempontjai a következők. Általánosságban elmondható, hogy a sűrűbb osztás szebb képet eredményez, de természetesen növeli a növeli a számítási időt.

A számítás fénytani pontossága a folt méretén múlik. Elvileg minden foltról sugár indul minden folt irányába, így a számítási idő négyzetesen arányos a foltok számával. Kétszer annyi folt négyszeres, tízszer annyi folt pedig százszoros számítási időt igényel, - feltételezve, hogy a foltok továbbosztása változatlan.

Az elemi területek mérete a spekuláris fényfolt és az árnyékhatárok rajzolata szempontjából fontos. Ha a fények változása folyamatos, nagyobb elemi területek is megfelelőek, ha a változások hirtelenek, az elemi területek méretét csökkenteni kell.

A szub-elemi területek alkalmazása viszonylag magas kontraszt küszöb mellett indokolt, ugyanis alacsony küszöb esetén a szub-elemi területfelosztás ott is kialakul, ahol egyébként az elemi terület kiinduló mérete is megfelelő lenne.

Az elemi területek száma egyenes arányban növeli a számítási időt, kétszer annyi elemi terület kétszer annyi, háromszor annyi elemi terület háromszor annyi számítási időt igényel. A szub-elemi területekre ugyanez a szabály vonatkozik, de a számuk a kontraszt küszöbtől függ, így az közvetlenül nem befolyásolható.



Ábra. Területfelosztás

Maximum Samples per Shot

Az adaptív továbbosztás követi a fényváltozásokat a folt területén, de a sugárzás továbbra is a foltok középpontjából indul ki. Ennek következtében a nagyméretű foltok kúpfényként viselkednek, és a közelükben elhelyezkedő tárgyak puha árnyék helyett, egyszerre több éles árnyékot vetnek. Ezen segít a mintavételi szám növelése. - **Maximum Samples per Shot**, amely a foltról indított sugárnyalábok (lövések) számát szaporítja. A folt radiozítása megoszlik a mintavételi helyek között, a mintavételi szám növelése tehát változatlan felosztás mellett szórtaabb árnyékot eredményez.

Ez a módszer is adaptív. A megadott mintavétel szám a legnagyobb folt méretéhez igazodik: kisebb folthoz kevesebb mintavétel tartozik, de foltonként legalább egy mintavétel létesül. Előny az is, hogy a mintavételi szám anélkül állítható, hogy területfelosztást módosítani kellene.

A mintavételi szám a sugárnyalábok számát csak egyenes arányban növeli, hiszen a foltok száma nem növekedett. A sugárnyalábok száma hozzávetőlegesen $F \times M$, ahol M a mintavételi szám. Ennek megfelelően két minta megduplázza, három minta megháromszorozza a számítási időt, és így tovább.

A mintavételek számát akkor érdemes növelni, ha a geometria nagy és kis foltokra különül el, például egy szobabelsőben falakra és bútorokra. Mivel a legtöbb minta a nagyobb foltokon létesül, a kisebb foltokon pedig arányosan kevesebb, a mintavételi megosztás alacsonyan tartott foltszám mellett is egyenletesen alakul. Nincs értelme viszont a mintavétel számot növelni akkor, ha nincsenek közel eső árnyékvetítő felületek. A mintavételi szám növelése nem finomítja az árnyékkontúr rajzolatát, a legfeljebb a megvilágított és árnyékban fekvő felületek közötti megvilágításkülönbséget csökkenti.

Material Usage

A anyaghasználati beállításokkal (*Material Usage*) a felületek bevonhatók vagy kizárhatók a radiosity megoldásból. Erre a számítás idő és memóriaigény csökkentése érdekében lehet szükség. A szűrés alapja a **Radiosity – On | Off** anyag-tulajdonság, amely a *Define Materials* párbeszédablakban állítható. A felületek részvétele a radiosity számításban a következő:

A **Material Receives Lights** beállítások meghatározzák, hogy a felületek hogyan fogadják a fényenergiát:

- **Always**: mindig, azaz valamennyi felület fogadja a fényenergiát,
- **If Radiosity On**, csak azok a felületek fogadják a fényenergiát, amelyeknek anyagtulajdonsága *Radiosity – On*.
- **If Radiosity Off**, csak azok a felületek fogadják a fényenergiát, amelyeknek anyagtulajdonsága *Radiosity – Off*.

A **Receiver Reflects Lights** beállítások meghatározzák, hogy az anyagok hogyan sugározzák tovább a kapott fényenergiát. A nem sugárzó felületek felosztása külön is állítható (*Non-Shooting Element Area*).

- **Always**: mindig, azaz valamennyi felület visszaveri a fényenergiát,
- **If Radiosity On**, csak azok a felületek verik vissza a fényenergiát, amelyeknek anyagtulajdonsága *Radiosity – On*.
- **If Radiosity Off**, csak azok a felületek verik vissza a fényenergiát, amelyeknek anyagtulajdonsága *Radiosity – Off*.

A *Material Useage* beállításoknál vegyük tekintetbe, hogy a radiosity megoldásból teljesen kizárt felületeken a vetett árnyékok és a spekuláris fényfoltok feltűnően élesek lesznek. Szébb eredmény kapunk, ha valamennyi felület fogadja (*Receive*) a fényt, de csak a kitüntetett felületek adják tovább. E beállítás elemei a következők:

<i>Material Receives Lights</i>	<i>Always</i>
<i>Receiver Reflects Lights</i>	<i>If Radiosity On</i>
<i>Material Attributes \ Radiosity</i>	<i>On*</i>
<i>Material Attributes \ Radiosity</i>	<i>Off**</i>

* A Radiosity On attributúmmal rendelkező felületek visszaverik a kapott fényt.

** A Radiosity Off attributúmmal rendelkező felületek nem verik vissza a kapott fényt.

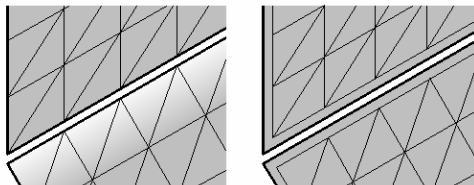
Az ambiens (*Ambient*) és a villanó (*Flashbulb*) fényeket célszerű kikapcsolni, mert a radiosity megoldásban részt vevő felületeken nem érvényesülnek, viszont a radiosity megoldásból kizárt területeknél igen. Erre a számítás megkezdése előtt üzenet figyelmeztet.

- ***Illuminate Both Sides of Surfaces - On*** beállítással a felületek mindkét oldala részt vesz a visszaverődés számításban, a számítási idő kétszeres, - ***Off*** beállítással csak a pozitív normális felőli oldal. A pozitív normális rendszerint kifelé mutat. A felületek normálisa a **Change Surface Normal** ikonparanccsal megfordítható.

Shootinterior

A poligon és raytrace árnyalásoknál a testek és síkok áthatása és a T alakú csatlakozások nem okoznak zavart, mert a megvilágítás számítását megelőzi a takarási feladatok megoldása. A radiosity számításhoz épített modellben azonban kerülni kell az ilyen megoldásokat, mert a metszésvonalon a háromszögek áthúzódnak. A következmény, hamis visszaverődések keletkeznek, sőt az interpolált közbenes megvilágítási értékek az árnyékos oldalon is megjelennek. A külső fény átszűrődik, mint a fény a küszöb alatt.

Ez a jelenség az L alakban csatlakozó felületeknél is kialakul, ha például fal és padló találkozásánál külső fény éri, mert a geometria pontatlansága miatt a háromszögek csúcspontjai az él mentén fényt kapnak. Ezen segít a **RADIOSITY SET SHOOTINTERIOR [ON|OFF]** szövegparancs, amely behúzza a csúcspontokat a felületek széléről. A behúzás mértéke a **RADIOSITY SET EDGEDELTA <érték>** szövegparanccsal állítható. Mértékegység a háromszögek (*Mesh*) átfogója. Az alapértelmezés - 0.0002 általában elegendő. A **RADIOSITY SHOOTINTERIOR** szövegparancs váltókapcsoló a be- és a kikapcsolt állapot között.

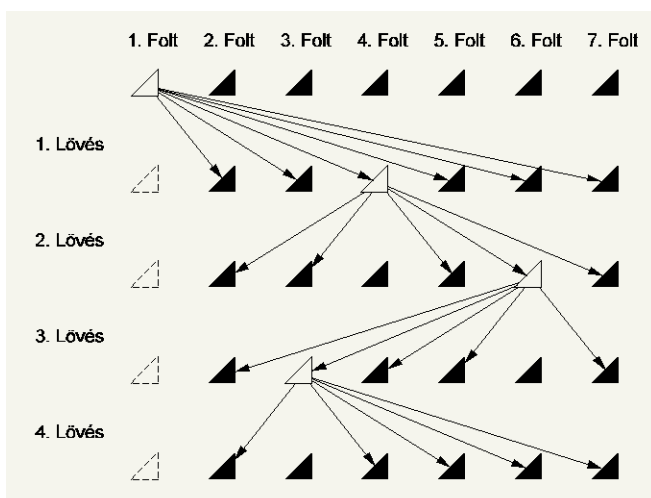


Ábra. **Set Shootinterior Off** és **On**.

Progressive Refinement

A radiozítás számítás valamennyi fogadó folt radiozítását valamennyi sugárzó folt viszonylatában megoldja, s az eredmény a folt radiozításához lépésről-lépésre hozzáadódik. Mivel a sugárzó felületek radiozítása a többi felületek radiozításától függ, a tökéletes megoldás valamennyi viszonylat ismétlődő újraszámolását igényelné. Az ilyen számítás idő- és memória igénye óriási, ráadásul a foltok többsége nem is látja

egymást, és az átadott fénymennyiség a viszonylatok többségében jelentéktelen. Ezért a számítás a progresszív finomítás módszerével történik (*Progressive Refinement*, Cohen 88), amelynek az a lényege, hogy minden visszaverődési lépésben csak a legfényesebb felületegység radioiztása kerül továbbadásra.



Ábra. **Progressive Refinement.** A radiosity számítás minden lépés után kiválasztja a legfényesebb foltot, és annak radioiztását lövi a többi folt irányába. Az ábrán lövésenként fehér háromszög jelzi a legfényesebb foltot. Az 1. sz. folt a fényforrás. A foltok önmagukra nem sugároznak.

A fokozatos finomítás kiindulópontja a modell térben elhelyezett fényforrások saját sugárzása, amelyet az **Intensity** és a **Brightness** értékük szorzata határoz meg. Az első lépés (vagy lépések) a fényforrások radioiztását szétsugározzák a valamennyi folt irányába. Majd mindig a legfényesebb foltot radioiztását szétlövik (*shot*) a többi folt irányába. A szétlövés annyiszor ismétlődik, ameddig a kiinduláskor rendelkezésre álló energia el nem enyészik, vagy a folyamatot az előre beállított küszöbértékek egyike le nem állítja. A számítás végét szükségtelen megvárni, mert a foltok radioiztásához egyre kisebb többlet adódik hozzá.

Minthogy egy folt többször lehet a legfényesebb, mindig az utolsó lövéséhez képest ΔB_i radioiztással felhalmozódott folt kerül sorra. Az expozíció pillanatában a fényforrások kivételével valamennyi folt radioiztása $B_i = \Delta B_j = E_i = 0$. A radiosity számítás lépésenként kiválasztja $\Delta B_i \cdot A_i$ legfényesebb i foltot, és kiszámítja annak az összes j foltra eső radioiztását. ($j \neq i$) Mivel a számítás mindig a legfényesebb felületegységgel folytatódik, és az nem feltétlenül a következő fényforrás, hibás árnyékvetést eredményezne, ha a fényforrások feldolgozása közé megvilágított területek feldolgozása ékelődik. Ezért a fényforrások feldolgozása megelőzi a visszaverődések számítását.

A számítást leállító küszöbértékek a következők:

- **Limit Number of Shots**, lépés szám korlát: a feldolgozás leáll, ha a lépésszám elérte a megadott értéket.
- **Minimum Illumination Threshold**, megvilágítási küszöb: a feldolgozás leáll, ha a továbbadásra váró $\Sigma \Delta B$ radioiztás a megvilágítási küszöb alá kerül.

Példa: Ha a modell térben 2 lámpa került elhelyezésre 100 – 100 fényegységgel, és a megvilágítási küszöb 0.1, akkor 180 fényegység kibocsátása után a feldolgozás leáll.

A számítási folyamat nyomon követhető az információs sávban is, amely folyamatosan tájékoztat a következő adatokról:

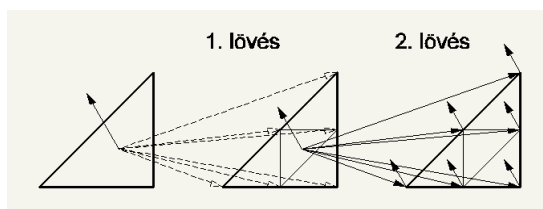
- **Radiosity shot:** a jelenlegi lövésszám,
- **Energy:** a jelenlegi lövéssel szétszóró fényenergia,
- **Unshot:** a fennmaradó fényenergia,
- **Stop:** megvilágítási küszöb (*Min. Illumination Threshold*) által meghatározott energiamennyiség, amelyet elérve a számítás megáll.

A számítás végeredménye háromszög lista, amely tartalmazza az elemi területek csúcspontjainak koordinátáit, továbbá a három reprezentatív hullámhosszon számított szétsugárzott (*Luminance*) és fogadott (*Illuminance*) radiozítás értékeit. Ha a számítás eredménye a memóriában van, az adatok a **Query Radiosity** paranccsal modell bármely pontján lekérdezhetők. Mértékegység: *Lumen / Master Unit²*.

Ray Trace Direct Illumination

A közvetlen megvilágítás raytrace árnyalással (*Ray Trace Direct Illumination*) olyan eljárás, amely a radiosity megoldásból kiiktatja a közvetlen megvilágítás hatását. A fényforrásoktól kapott fényt a foltok anélkül sugározzák tovább, hogy a közvetlen erős fény a területükön a későbbiekben felhalmozódó radiozításukhoz hozzáadódna. Ez a szellemes egyszerűsítés a kezdő lépésekben a foltok ezreit apró fényforrásokként működteti, így azok elsimítják a felületi fényesség hirtelen változásait. Következésképp nagyobb foltmérettel és lényegesen kevesebb lépésszámmal is kedvező fényvisszaverődési hatás érhető el. Elemi területfelosztásra esetleg egyáltalán nincs szükség.

A hiányzó fénymennyiség pótlása a raytrace árnyalásra marad. Az első visszaverődés kiértékelése és fényforrások irányába indított árnyéksugarakkal történik. A fénytöbblet radiozítás RGB értékeihez utólag adódik hozzá, ezért az árnyékok élesek lesznek. Ez a módszer hátránya.



Ábra. **Ray Trace Direct Illumination.** A fényforrástól kapott fényt a foltok anélkül sugározzák tovább, hogy a közvetlen erős fények a területükön a későbbiekben felhalmozódó radiozításhoz hozzáadódniak.

Az eljárás alkalmat ad a radiosity és a raytrace árnyalás közvetlen összehasonlítására, egyúttal lehetővé teszi a fényesség módosító szorzó (*Brightness Multiplier*) alkalmazását a raytrace árnyalásnál is, sőt *Extended* fényértelmezési módban a raytrace árnyalás is a távolsággal négyzetesen arányos fényerőcsökkentéssel készül.

Ahhoz, hogy a radiosity számítás elmaradjon, és csak a raytrace árnyalás készüljön, a következő beállítások szükségesek:

Limit Number of Shots – 0,
Ray Trace Direct Illumination – On,
Final Display: RayTrace.

Display with Ambient

Mivel fényforrások energiája lépésről-lépésre adódik hozzá a felületek megvilágításához, a modell fokozatosan világosodik ki. Ez szükségtelenül megnyújthatja a számítási időt, a fényviszonyok már megfelelőek lennének, de a felvétel még sötét. Ezen segít a *Display with Ambient* beállítás, amely a felületek radiozításához ambiens fényt tesz hozzá. Az ambiens fény mennyisége a még szét nem sugárzott fény mennyiségétől függ, tehát a mennyisége lövésenként csökken, és a megoldás végén elenyészik.

A megvilágítás belső arányainak megőrzése érdekében a felületekre eső ambiens fény mennyiségét egy becsléssel számított ambiens visszaverődési tényező határozza meg. A folt radiozítása az ambiens kiegészítéssel a következő:

$$B' = B + \rho_i I_a \cdot R$$

Ahol B' a folt ambiens fénnel kiegészített radiozítása, B a folt radiozítása, ρ_i a folt becsléssel számított ambiens visszaverődési tényezője, I_a a még szét nem sugárzott fény mennyiség becsült középértékének a folt területével arányos része, R szorzótényező.

Brightness Adaption

A felületek radiozítása a **Brightness Multiplier**, fényesség módosító szorzóval egységesen növelhető vagy csökkenthető, tehát a felvétel világosabb vagy sötétebb lesz. Ez a fajta fényerőmódosítás előnyösebb, mint az utólagos fényerőállítás (*Contrast / Brightness*) vagy a gamma kiegyenlítés, mert fenntartható a megvilágítási értékek különbözősége, s a felvétel kontrasztos marad. Az utólagos fényerőállítás az alsó (fekete), felső (fehér) vagy a középső értékeket mindig összenyomja. Ez a fényesség módosító szorzóval csak akkor fordulhat elő, ha a világos és sötét színek a szín-koordinátarendszer szélein összetorlódnak.

A **Select** paranccsal segítségével megállapítható, hogy valamely felületi pont radiozítása mennyivel tér el az összes többi pont átlagától. Ha ezt az értéket alkalmazzuk fényesség módosító szorzóként, akkor a választott pont radiozítása, és egyúttal a pixelszín fényessége, az átlag közelébe kerül.

Final Display

A radiosity megoldás végső megjelenítésére (*Final Display*) három árnyalási mód áll rendelkezésre, a sima, raytrace és a közvetlen raytrace.

- **Smooth Shaded** sima árnyalás a háromszögek belső pontjainak színét a csúcspontokon számított radiozítás értékekből interpolálja. Nem képes megjeleníteni sem a spekuláris visszaverődést, sem a tükröződést, az átlátszóságot, valamint a radiosity számításból kizárt területeken a textúra leképzést.

- **Raytrace** sugárkövető árnyalás háromszögek belső pontjainak színét a csúcspontokon számított radiozítás értékekből normálvektor módszerrel interpolálja. A dőféspontokból másodlagos sugarakat indít a spekuláris a visszaverődések, az átlátszóság és a tükröződés leképzése érdekében. A következőképpen:

A spekuláris fényvisszaverődéssel érkező többlet fényenergiát a másodlagos sugárnyaláb szolgáltatja, amelyeknek centruma a tökéletes visszaverődési irány. A spekuláris visszaverődési kitevő (*Specular*) a sugárnyaláb széttartását, a *Finish* együttható a spekuláris fény intenzitását szabályozza. Az így számított spekuláris

fénytöbblet hozzáadódik a radiozítás RGB értékeihez. A módszer hátránya, hogy ez a többlet már nincs hatással az első lépcsőben számolt diffúz visszaverődésre.

Az átlátszóság számítása ennél egyszerűbb, átlátszósági-sugár indul a törésmutatóval módosított irányba. Így diffúz átlátszóság megjelenítésére nincs lehetőség.

A visszatükröződés számítása tükör-sugárral történik. A fénytöbblet hozzáadódik a radiosity megoldás RGB értékeihez. A módszer hátránya, hogy a megnövelt fényvisszaverő képesség az első lépcsőben nem kerül beszámításra, sőt a tükör esetében a diffúz visszaverődési tényezőt alacsonyan kell tartani. Így a tükörre jellemző fényvetés elmarad, a tárgy látszik a tükörben, de nem vet árnyékot, és a tükör felőli oldala sötétben marad.

- **Raytrace Direct** árnyalás a raytrace árnyalás módosított változata, akkor lép működésbe, ha a megoldás *Ray Trace Direct Illumination – On* beállítással készül. A két változat közötti váltás automatikus.

Intermediate Display

A radiositás számítás fokozatosan finomodó eljárás, ezért a felületeken felhalmozódó radiozítás minden lövés után kiértékelhető. A végeredmény már néhány lövés után előrelátható, de a megoldás kibontakozása folyamatosan nyomon követhető közbenső felvételekkel is (*Intermediate Display*).

A közbenső megjelenítés gyakorisága meghatározható a **Display Frequency** beállítással a mértékegység a lövésszám. Ezen kívül alkalmazható a **Reset** parancs is, amelynek segítségével a számítás bármely pillanatban megszakítható, akár lövés közben is, és az eredmény megjelenítődik. Újabb **Reset** paranccsal a megjelenítés is megszakítható. Ha a megszakítás közbenső megjelenítés alatt történik, az újabb **Reset** a számítást folytatja, a következő **Reset** megszakítja a számítást, és a következő **Reset** megszakítja a végső megjelenítést.

A közbenső megjelenítést alkalmat teremt a számítások járulékos eredményeinek hasznosítására. Az ún. analitikus megjelenítési módok segítségével kielemezhető a területfelosztást, valamint a felhalmozott és a továbbadott radiozítás alakulása. A közbenső analitikus és a végső megjelenítés módok egyesíthetők, időben felcserélhetők.

Az **Intermediate Display**, **Final Display** beállítások a következők:

- **Wiremesh** dróthálós árnyalás, amely vonalakkal ábrázolja a radiosity számításban résztvevő felületek területfelosztását.
- **Luminance** (fénykibocsátás), sima árnyaláson alapuló elemző megjelenítés, amely jelzőszínekkel szemlélteti a leginkább és legkevésbé sugárzó felületeket. A színskála a következő: vörös > narancs > sárga > zöld > kék. Vörös – a leginkább visszaverődő, kék – a legkevésbé visszaverődő felület.
- **Illuminance** (megvilágítás), sima árnyaláson alapuló elemző megjelenítés, amely jelzőszínekkel szemlélteti a leginkább és legkevésbé megvilágított felületeket. A színskála a következő: vörös > narancs > sárga > zöld > kék. Vörös – leginkább megvilágított, kék – a legkevésbé megvilágított felület.
- **Display with Ambient** beállítás ambiens fény kiegészítéssel megkönnyíti az első lövések kiértékelését, amikor a felvétel még sötét.
- **Display with Wiremesh Overlay**, a dróthálós megjelenítést egyesíti a többi képalkotási móddal.

- **Display with Shooting Patch Highlighted**, lövésenként megjeleníti az éppen sugárzó foltot.

- **Color Mode - Color / Grey Scale**, közbenső és végső megjelenítés történhet színekkel és szürke fokozatokkal.

Ha radiosity megoldás a „közvetlen megvilágítás raytrace árnyalással” módszer számára készül, a sima (*Smooth*) árnyalással készült felvételek sötétebbek lesznek, mert csak a raytrace árnyalás képes pótolni az első szétlövés hiányzó fény mennyiségét. Erre figyelemmel a *Ray Trace Direct Illumination – On* beállításnál megkülönböztető elnevezés figyelmeztet arra, hogy a sima árnyaláson alapuló elemző megjelenítési módok megvilágítási egyenlege eltér a raytrace árnyalásokétól - **Smooth (Indirect)**, **Luminance (indirect)**, **Illuminance (indirect)**. Ezen kívül az elemző megjelenítési módok alkalmazhatók raytrace alapú árnyalási módokkal is - **Luminance (ray traced)**, **Illuminance (ray traced)**.

A **Final Display: None** beállítással a képernyőn történő megjelenítés elmarad. Ha a felvételt file rögzíti, az árnyalási mód raytrace. Ez az opció például az animációs felvételeknél használható.

Táblázat Radiosity közbenső és végső megjelenítési módok.

Ray Trace Direct Illumination - Off	Ray Trace Direct Illumination - On
Wiremesh – Wiremesh Overlay	
Luminance	Luminance Indirect*
Illuminance	Illuminance Indirect*
	Luminance (ray trace direct)
	Illuminance (ray traced direct)
Smooth	Smooth Indirect*
Raytrace	Ray Trace Direct
None**	

* A megoldásból hiányzik az első szétlövés fény mennyisége.

** *Save Image* parancs esetén az árnyalási mód *Ray Trace* vagy *Ray Trace Direct*.

Radiosity Database

A radiosity megoldás tartalmazó adatbázis külön file-ba elmenthető, kiterjesztése **Rad**, mint **Radiosity Database**. Mivel a fokozatosan finomodó számítások eredménye többletként adódik hozzá a foltok előzőleg felhalmozott radiozitásához, az adatbázis aktualizálása folyamatos, és az eredmény akár minden egyes folt számítása után átvezethető az adatbázis file-ba. A számítás tehát tetszés szerinti pillanatban leállítható, az addig kiszámított megoldás elmenthető, majd a számítás a memóriában tárolt vagy betöltött megoldás alapján folytatható. A **Radiosity / File** menüből legördülő parancsok az adatbázis kezelésére szolgálnak:

- **Save Solution** menüparancs a kiszámított megoldást a radiosity adatbázis file-ba menti.

- **Load Solution** menüparancs az adatbázis file-ban elmentett megoldást betölti a memóriába. Ha a modell geometriája időközben megváltozott, a megjelenítés esetleg nem lesz megfelelő.

- **Clear Solution** menüparancs törli a radiosity megoldást a memóriából. Erre akkor lehet szükség, ha módosul a geometria, a területfelosztás, az anyagtulajdonságok és hivatkozások, az anyaghasználat és a fényforrások beállítások.

- **Reset Default Settings** menüparancs a radiosity beállításokat visszaállítja az alapbeállításokra. Ne feledjük, hogy területfelosztás (*Patch Area*, *Element Area*, *Non-Shooting Element Area*) alapbeállítása a modell térben található legnagyobb területhez

igazodik. Az alapbeállítás helytelen lesz, ha a geometriában egy felület, például az alapsík mérete kiugróan nagy.

A beállítások elmenthetők és betölthetők a **Rendering Setup** párbeszédablakban található parancsokkal. Az ismertetést lásd a Bevezető fejezetében.

Render Action

A **Render** ikon- és a **Save Image** menüparancsokkal megnyitott párbeszédablakokban található **Action** parancsok a radiosity megoldás és a megoldás alapján készülő megjelenítés egymást követő lépéseit irányítják.

- **Create New Solution** ikonparancs törli a memóriában lévő radiosity megoldást, elindítja az új megoldás számítását, majd annak eredményét megjeleníti a kiválasztott nézeti ablakban, illetve a **Save Image** parancs használata esetén a felvételt képfile-ban is rögzíti. A megoldás elmentésére a **Save Solution** menüparancs szolgál. A beállítások a következők:

- **Target: View / Fence** A nézeti megjelenítés képkivágása lehet adatponttal kiválasztott ablak vagy *Fence* kerítéssel szűkített nézeti terület.

- **Render Mode: Radiosity** Tekintettel arra, hogy a radiosity megoldás tíznél több árnyalási móddal is megjeleníthető, az árnyalási mód a végső megjelenítéssel - *Final Display* választható. A **Save Image** és a *Record* parancsok számára is a végső megjelenítési mód az irányadó.

- **Shading Type: Normal / Antialias / Stereo** A megjelenítési típusa lehet normál, képjavítással kiegészülő és térhatású. A képjavítás a raytrace eljárashoz tartozó adaptív többlet-mintavételezés, amelynek a beállításai a *Ray Tracing* párbeszédablakban találhatók.

- **Display Current Solution** ikonparancs a memóriában lévő radiosity megoldást megjeleníti a kiválasztott nézeti ablakban, illetve a **Save Image** és a *Record* animációs parancsok használata esetén a felvételeket kép- illetve mozgóképfájlban is rögzíti. Ha a *Final Display: None* beállítást használjuk, a képernyőn történő megjelenítés elmarad, a fájlba írt felvétel(ek) árnyalási módja raytrace. A radiosity megoldás több nézőpontból készült felvételhez is használható, mert a radiozítás adatok a nézőponttól függetlenek.

A megoldás elvben minden árnyalási móddal megjeleníthető, de ha a megoldás a *Ray Trace Direct Illumination* árnyalás számára készült, a *Smooth* árnyalással a felvételek sötétebbek lesznek. Szükség szerint a felvétel megvilágítása a fényesség módosító szorzóval (*Brightness Multiplier*) növelhető vagy csökkenthető.

- **Add More Shots to the Current Solution** ikonparancs folytatja a radiosity megoldás finomítását, majd a megoldást megjeleníti a kiválasztott nézeti ablakban, illetve a **Save Image** parancs használata esetén a felvételt képfile-ban is rögzíti. A megoldás elmentésére a **Save Solution** menüparancs szolgál.

Ahhoz, hogy a számítás folytatódjon, csökkenteni kell a számítást leállító küszöbértéket, azaz magasabb lövésszám és/vagy alacsonyabb megvilágítási érték szükséges.

- **Clear Solution** nyomógomb parancs eltávolítja a radiosity megoldást a memóriából. Erre a parancsra akkor lehet szükség, ha módosul a geometria, a területfelosztás, az anyagtulajdonságok és anyaghivatkozások, az anyaghasználat és a fényforrás beállítások. Ezek az adatok ugyanis a számítás megkezdése után már nem módosíthatók.

Táblázat. Raytrace és radiosity beállítások módosítása menet közben

Beállítások	Módosítás
Geometria	Csak a számítás előtt.
Fényforrás (<i>Light Source</i>)	
Anyag attribútumok (<i>Material Attributes</i>)	
Textúra interpoláció (<i>Texture Interpolation</i>)	
Környezet-kép (<i>Environmental Map</i>)	
Lapfelosztó határérték (<i>Stroke Tolerance</i>)	
Léptékmódosítás (<i>Raytrace Set Meterspermu</i>)	
Mindkét oldal (<i>Illuminate Both Sides</i>)	
Egyenletes hálósztás (<i>Uniform Meshing</i>)	
Kezdő terület felosztás (<i>Initial Subdivision</i>)	
Adaptív továbbosztás (<i>Adaptive Subdivision</i>)	
Élbehúzás (<i>Shootinterior, Edge Delta</i>)	
Anyaghasználat (<i>Material Useage</i>)	
Mintavételi szám (<i>Sample per Shot</i>)	
Fényértelmezés (<i>Light Interpretation</i>)	
Közvetlen megvilágítás (<i>Direct Illumination</i>)	
Lövesszám (<i>Limit Number of Shoots</i>)	Számítás előtt, számítás közben megjelenítés előtt.
Megvilágítási küszöb (<i>Illumination Threshold</i>)	
Megjelenítési lövésköz (<i>Display Frequency</i>)	
Ambiens fénykiegészítés (<i>Display with Ambient</i>)	
Fényesség módosítás (<i>Brightness Multiplier</i>)	
Képkivágás (<i>Target</i>)	
Megjelenítési mód (<i>Display Mode</i>)	
Hibajavítás (<i>Antialias</i>)	
Nézőpont (<i>Change View</i>)	
Hibajavító beállítások (<i>Antialiasing Settings</i>)	
Hibajavító beállítások (<i>Adjust Mesh, Render Scale</i>)	
Raytrace arnyékvetés (<i>Shadows</i>)	
Raytrace visszatükröződés (<i>Reflection</i>)	
Raytrace átlátszóság (<i>Transparency</i>)	
Raytrace gyors megjelenítés (<i>Quick Display</i>)	
Távolságarányos színmoduláció (<i>Distant Cueing</i>)	
Radiozítás mérés (<i>Query Radiosity</i>)	