Tallinna Ülikool Informaatika instituut

# Valgustuse visualiseerimine *mental ray*® meetodiga 3ds Max'i näidetel

Bakalaureusetöö

Autor: Timmo Tammemäe Juhendaja: Andrus Rinde

Autor:	 ,, 2010
Juhendaja:	 ,, 2010
Instituudi direktor:	 ,, 2010

Tallinn 2010

Olen koostanud bakalaureusetöö iseseisvalt. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, põhimõttelised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

5.mai.2010

..... / Timmo Tammemäe

## Sisukord

Sissejuhatus	5
1. Bakalaureusetöö ülesehitus	7
2. Visualiseerimine ja meetodid	8
2.1. mental ray	9
2.2. Visualiseerimise esialgne seadistamine	13
2.2.1. Visualiseerimismeetodite määramine	13
2.2.2. Kontrastsustegur ehk gamma	14
2.2.3. Mõõtühikute tähtsus stseenis	17
2.3. Stseen	20
2.3.1. Valgus ja värvid	20
2.3.2. Materjalid ja nende varjutajad ehk <i>shader</i> 'id	24
2.3.3. Stseeni realistlik keskkond	27
2.3.4. Valgusallikad	30
2.3.4.1. Mittefotomeetrilised valgusobjektid	30
2.3.4.2. Fotomeetrilised valgusobjektid	33
2.4. Otsene valgustatus ehk <i>direct illumination</i>	36
2.4.1. Kiirtejälitus ehk Ray tracing	37
2.4.2. Varjude üldised parameetrid	38
2.4.3. Varjud <i>Raytraced</i> meetodiga	48
2.4.4. Varjukaart ehk <i>shadow map</i>	50
2.4.5. Mental ray varjukaart	53
2.5. Kaudne valgustatus ehk indirect illumination	56
2.5.1. Üldine varjustatus ehk ambient occlusion	56
2.5.2. Footonite liikumine	58
2.5.3. Globaalne valgustatus ehk global illumination	60
2.5.4. Kaustilised footonid	63
2.5.5. Kaudse valgustatuse seadistused	64
2.6. Final gather	65
2.7. 3D stseeni visualiseerimine	68
2.7.1. Säritus ehk <i>exposure control</i> ja tooni vastendamine ehk <i>tone mapping</i>	68
2.7.2. Kvaliteedi seadistamine	71
Kokkuvõte	78

Sõnastik	80
Kasutatud kirjandus	85
Summary	87

#### Sissejuhatus

Viimasel kümnendil on infotehnoloogia arenenud nii võimsalt, et arvutigraafikaga tegelemiseks piisab praktiliselt tavalisest personaalarvutist. Lisaks riistvarale ja rohketele tarkvaralistele võimalustele on vaja aga ka oskusi. Stseeni graafiline ettevalmistamine on vaid üks osa lõpptulemusest, millest tihti aeganõudvam on just materjalide ja valguse seadmine. Valgustus ja valgustatus on lahutamatud objekti kuju, ruumi ja valguse osad. Need on asjad, mis loovad õhkkonna ja tunde, muudab tekstuuri, valgustab pinna ja annab objektidele elu. Sellest tulenevalt ongi valgustuse ja varjude visualiseerimine üks keerulisemaid ülesandeid loomutruu visualiseeringu saamisel ning sellega ollakse pidevalt raskustes. Eriti puutuvad sellega kokku kogenematud kasutajad. Paljud 3D-huvilised soovivad luua ja visualiseerida kauneid stseene, kuid kahjuks pole tulemus sageli ootuspärane ning selle põhjus jääb teadmata. Erinevad 3Dprogrammid pakuvad mitmesuguseid visualiseerimismeetodeid, kuid sageli ei osata nende vahel valida, kuna ei osata pakutud võimalusi kasutada. Lisaks puudub ka nõuandja. Käesoleva töö teema on valitud põhjusel, et autor ei ole siiani leidnud eesti keeles ühtegi põhjalikku materjali 3D-visualiseerimise kohta. Selle asjaolu tulemusena võib oletada, et nii mõnigi potentsiaalne ja andekas 3D-huviline loobub üritamisest, kuna tema huvi jääb keelebarjääri taha keerukate tehniliste terminite osas, mõistmata sealjuures asja olemust. Visualiseerimine on protsess, mille käigus tekitatakse väljund loodud 3D-stseenist pildi või video kujul ning mida teatakse inglise keelse sõnana "rendering" ja eesti kõnekeelse sõnana renderdamine. Olgugi, et võõrkeelse kirjandusena on internetis ja juhendites piisavalt lugemismaterjali, ei ole seal sisalduv informatsioon tihti kasutajasõbralik ning võib osutuda algajatele liialt keeruliseks, mis kujuneb takistuseks soovitud tulemuse saavutamisel. Kuna visualiseerimise lõpptulemus sõltub otseselt seadistamisest ja oskustest kasutada pakutavat tarkvara, siis nii mõnigi iseõppinud 3Dmodelleerija rikub oma töö, kuna ei oska eelpool mainitut ette valmistada ega kasutada. Seetõttu on käesoleva töö põhieesmärk pakkuda just eestikeelset 3D-visualiseerimise alast kirjandust. Lisaks on see vahend kõikidele 3D-huvilistele, kes kõnealuse teemaga kas esmakordselt tutvuvad või soovivad lihtsalt rohkem teada. Samuti neile, kes tahavad paremini mõista algtõdesid ja mõningaid spetsiifilisemaid põhimõtteid, mis peituvad 3D-visualiseerimises, sealhulgas tavamõisteid.

Käesolevas bakalaureusetöös autor kasutab ja kirjeldab *mental ray*® visualiseerimismeetodit, mis on lihtsa ülesehitusega ja iseseisev visualiseerimismootor. See on üks populaarsemaid professionaalide seas ja autor peab seda parimaks fotorealistlike kujutiste loomisel. Seda saab edukalt kasutada koos mitmete 3D-programmidega, mille ühe võimalusena on autor

käesolevasse töösse valinud Autodesk'i 3ds Max'i. Olgugi, et tegu ei ole vabavaralise programmiga, on see üks kahest enimkasutatud<sup>1</sup> 3D-tarkvarast eriefektide tööstuses. Lisaks on 3ds Max® autorile kõige tuttavam ning seega on teema lugejateni viimisel kasutusele võetud just see. Töö annab ülevaade *mental ray* meetodist, võimalustest ning selle kasutamiseks 3ds Max'i näidetel. Kõike neid teadmisi saab aga rakendada tarkvarast sõltumatult, ka teiste *mental ray*'d kasutavate 3D-programmide korral. Lugeja ei tohiks segadusse sattuda piltidest, mis on võetud Autodesk 3ds Max'ist, sest sarnase sisuga menüüd on olemas ka kõikides teistes 3D-tarkvarades.

Töös iga peatükk näitab, kuidas mingit *mental ray* pakutavat võimalust kasutada, millistele seadetele peaks pöörama tähelepanu ja kuidas tehtu mõjutab tulemust. Seda kõike illustreerivad näited. Siiski peaks lugeja olema tuttav kasutatava tarkvaraga ja teadma, kuidas paigutada stseeni kaameraid, valgust, varjutajaid (*shaders*) ja teostada visualiseerimist. Keskendunud on *mental ray* valguse ja varjude visualiseerimisele, kasutades selleks 3ds Max'i. Neile, kes on *mental ray* visualiseerimisega juba tuttavad, antakse kasutatavatest vahenditest ja tehnikatest põhjalikum ülevaade.

Kuna tänapäeva arvutigraafikas on vaja nii loovust, tarkvara kui ka füüsika põhjalikku tundmist ja valgusega seotud parameetrite seadmine vajab teadmisi optikast, siis sisaldab töö ka sissejuhatust optilisse füüsikasse ja valguse omadustesse. See aitab lugejal paremini mõista varjude ja valguse kasutamist 3D's. Lisaks täita teadmiste tühimikku, viidates pidevalt päris maailmas toimunule ja kuidas saaks seda kujutada 3D's, kasutades selleks *mental ray*'d. Omandades uusi teadmisi, on võimalik leida alternatiivseid võimalusi nende valikute kasutamiseks, sest selleks, et tegeleda väikeste nüanssidega, tuleb mõista tervikpilti. Loodetavasti avardab käesolev töö lugeja silmaringi ning tekitab huvi teemasse sügavamalt süüvida ja asja ise järele proovida. Antud materjali kaugem eesmärk on lihtne: panna kasutaja mõistma, mida ta teeb, ja seda nõnda, et tema loomingulisus saaks edaspidistes tegevustes võitu vähese tarkvara mõistmise üle.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> (3DS Max Vs Maya: 3D Animation / Rendering Software Comparison. 2009)

## 1. Bakalaureusetöö ülesehitus

Käesoleva bakalaureusetöö on üles ehitatud vastavalt 3D-modelleerimise tavapärasele töövoole. Algselt pannakse paika vajalikud seaded, siis ehitatakse valmis stseen, mille all mõistame igasuguse füüsilise keskkonna ülekandmist inimesele tajutavasse süsteemi, milleks käesoleva töö puhul on 3ds Max. Järgnevalt määratakse stseeni objekti materjalid, animeeritakse keskkond ning paigaldatakse ja seadistatakse valgusobjektid. Kokkuvõtvalt võib öelda, et "Valguse visualiseerimine mental ray meetodiga 3ds Max'i näidetel" algab ülevaatega kasutatavast tehnoloogiast ja lõppeb viimaste seadete sättimisega enne visualiseerima asumist. Selle käigus tutvustatakse vajalikke teadmisi põhiliste ja keerulisemate *mental ray*'ga tehtavate visualiseerimiste kohta, lisaks ideid ja reegleid, mida tuleks jälgida. Autor on püüdnud materjalis kirjeldada kõiki peamiseid valguse ja varjude visualiseerimisega seotud teemasid. Sellest tulenevalt kirjeldatakse visualiseerimisprotsessis esmalt otsest (direct illumination) ja siis kaudset valgustatust (indirect illumination), nende tööpõhimõtteid, seadeid ja varje. Selgitatakse, kuidas kasutada erinevat tüüpi valgustust mental ray sees ja kuidas kasutada mental ray enda valgustust ning päevavalgussüsteemi, milliseid efekte on võimalik saavutada mental ray filtrite ehk varjutajatega (shaders). Teema lõpetab final gather ning lõpetuseks jõutakse visualiseerimise endani. Paljud näited ja soovitused pärinevad autori isiklikest kogemustest. Lugeja saab seda tööd kasutada vastavalt pooleli olevale tegevusele, olemata kohustatud seda koheselt täielikult läbi lugema

Töös on kasutatud jutumärke, eesmärgiga näidata, et tegu on sama nimega nupu või menüüpunktiga 3ds Max'i keskkonnas. Kaldkirjas trükitud sõnad on võõrkeelsed mõisted, mis aitavad juba teemat rohkem omandanud lugejal kokku viia eestikeelse vaste inglise keelsega. Kasutatud illustratsioonid ja tarkvara ekraanipildid pärinevad autori loomingust. Suurem osa visualiseeritud piltidest võib leida ka \*.max-failina tööga kaasas oleval DVD'l. Selleks, et võimaldada huvilistel õppematerjaliga tutvumisel ka praktiliselt harjutada, on tööga kaasas oleval digitaalkandjal ka 3ds Max 2009 prooviversioon, mille täisversiooni on autor kasutanud antud töös ekraanipiltide ja näidete visualiseerimisel. Materjali lugemise lihtsustamiseks on töö lõppu lisatud sõnastik, mis lihtsustab ka praktikas tarkvara kasutamist, mis reeglina on inglisekeelne. Lisaks on sõnastik abiks ka teiste 3D-materjalide lugemisel.

## 2. Visualiseerimine ja meetodid

Vajadus kõiksuguste erinevate visualiseerimismootorite järele tuleneb kompromissist kiiruse ja kvaliteedi vahel. Näiteks visualiseerimismootor, mida kasutatakse objektide vaateaknas kuvamiseks, pöörab rohkem tähelepanu kiirusele. Samas visualiseerimismootor, mida kasutatakse lõplike kujutiste väljastamiseks, paneb rõhku kvaliteedile. Iga visualiseerimismootor sisaldab endas paljusid seadeid, mida saab kasutada visualiseerimisprotsessi kiiremaks ja tulemuse kvaliteetsemaks tegemisel.

3ds Max kasutab vaikimisi endas *Scanline Renderer*'i ehk Rida-realt Visualiseerijat, mis on optimeeritud visualiseerimisprotsessi protsessi kiirendamiseks. Lisaks leidub mitmeid seadistusi, mida saab kasutada protsessi veelgi kiiremaks muutmisel. Arusaam *Render Scene* dialoogiaknast ja selle funktsioonidest aitab säästa asjatust murest ning arvuti kinnijooksmisest. Ometi on saadaval 3ds Max'is ka teisi visualiseerimisvõimalusi nagu *mental ray* ja Rida-realt Visualiseerija (*Scanline Renderer*) alla kuuluv *Radiosity*.

Võrreldes *mental ray'd* tavalise Rida-realt Visualiseerija (*Scanline Renderer*) mootoriga, annab esimene silmnähtavalt paremaid tulemusi. Seda saab igaüks järele proovida mõne testvisualiseerimise käigus ka seadeid puutumata. Erinevalt Rida-realt Visualiseerijast (*Scanline Renderer*) on *mental ray'l* lisaks global illumination'i ehk globaalse valgustatuse toetus, ta ei vaja eraldi täiendavate valgustusseadete rakendamist. Rida-realt Visualiseerija (*Scanline Renderer*) 3ds Max'i enda materjale ei toeta, kuid *mental ray'ga* saab kasutada kõiki materjale ilma kitsendusteta. Iga materjal on küll natukene erinev, kuid lubab vastavalt vajadusele seadetes muutusi teha. Peale selle sisaldab *mental ray* tuge mitmesugustele efektidele, nagu *Area Lights* ehk pindvalgustus, *Shaders* ehk varjutajad, *Depth of Field* ehk fookussügavus ja *Motion Blur* ehk liikumisest tingitud udusus. Sellel on ka spetsiaalseid valgustusseadeid, mille pakutavad võimalused Rida-realt Visualiseerijal (*Scanline Renderer*) puuduvad.

Kui *mental ray* on sõltumatu operatsioonisüsteemist, siis 3ds Max töötab vaid Microsoft Windows keskkonnas. Ka arvuti võimsus ei sea väga suuri piiranguid 3ds Max'i kasutamisele. Vajalik oleks siiski vähemalt Intel Pentium® 4 või AMD Athlon® 64 olemasolu koos minimaalselt 1 GB RAM'iga.<sup>2</sup> Arvuti võimsusest sõltub töö, eriti aga visualiseerimise, kiirus. Sellega tuleks arvestada ja vajadusel aeganõudvaid seadeid vähendada. Täiendava riistvara vajadus tuleneb iga töö kõrgkvaliteedilisest lõplikust visualiseerimisest (*high-end renderer*).

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> (Autodesk 3ds Max System Requirements. 2009)

#### 2.1. mental ray

*Mental ray*® on lihtsa ülesehitusega ja iseseisev visualiseerimismootor, mida saab edukalt kasutada mitmete 3D-programmidega nagu näiteks Audodesk 3ds Max, Autodesk Maya, AutoCAD ja Softimage|XSI lisatarkvarana. Mental ray tuli standardiks koos 3ds Max'ga Autodesk'lt ja seda võib pidada hetkel üheks parimaks ja suurima potentsiaaliga visualiseerimisviisiks<sup>3</sup>. Alates oma loomisest on *mental ray* läbi teinud tohutuid täiustusi kasutajasõbralikkuse suunas<sup>4</sup>, olles järjest rohkem intuitiivne ja seda eriti materjalide ning valguse kasutamisel stseenides. On võimalik luua rabavaid pilte äärmiselt väikese ajaga, kasutades selleks vaid *mental ray* suutlikkust, vajamata põhjalikumat teadmist, mis tegelikult toimub ja miks paistavad asjad välja nõnda, nagu nad seda teevad.

*Mental ray* põhiliseks rakendusalaks on fotorealistlike kujutiste loomine ja võrreldes teiste visualiseerimismootoritega, võib teda pidada ületamatuks loodusnähtuste edasiandmisel<sup>5</sup>. Lisaks on *mental ray* väga hea selgete piirjoontega mittefotorealistlike visualiseeringute tegemisel. *Mental ray* fotorealistlikud võimed tulenevad ulatuslikust vahendite kogumist, mis viivad läbi keerulisi kaamera-, valgus-, pinna- ja konaruste varjutuse simulatsioone. Need simulatsioonid ja nende võimaldatavad realistlikud visualiseeringud lubavad end kasutada mitmes valdkonnas: arhitektuur, filmide animatsioonid ja eriefektid, telereklaamid, auto- ja tööstuslik kujundus ning arvutimängud. Lühidalt öeldes annab *mental ray* eeskujuliku visualiseerimisülesannetega nagu kaudne valgustatus (*indirect illumination*), globaalne valgustatus (*global illumination*), *final gather* ja palju muud.

*Mental ray* toodete tehnoloogia keskendub põhiliselt fotorealistlike kujutiste loomisele. Selleks protsessiks on vaja keerulisi füüsikaalaseid arvutusi, et jäljendada valguse käitumist ja tema vastasmõju pindadega. Valgusfüüsikud on kaua vaeva näinud valguse defineerimisega, eriti fotoelektrilise efekti lahtiseletamisega. Viimane kirjeldab valguse pindadelt peegeldumist ning selle füüsikalisi omadusi ja loomust. Arvutigraafika tarkvara arendajad on eriti huvitatud teadmistest valgusest ja selle vastasmõjust keskkonnaga, ja ka sellest, kuidas inimese silm valgust tajub. Neid teadmisi rakendatakse valgus- ja varjutusmudelite loomisel.

*Mental ray* pärineb rikkalikust erialaste programmide perekonnast, mille arendajaks on Saksa firma mental images $\mathbb{B}^6$ . Suurem osa inimesi kasutab *mental ray*'d edasimüügipartnerite kaudu

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Steen (2007, lk. 3)

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> (About mental images<sup>®</sup>. 2007)

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Livny (2007, lk. 2)

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> (About mental images®. 2007)

nagu AutoDesk, Avid ja teised<sup>7</sup>. Need partnerid pakuvad *mental ray*'d nii integreeritud lisana satelliit- ehk jagatud visualiseerimiseks oma tarkvara sees kui ka eraldi müüdava iseseisva visualiseerijana.

Oma põhiolemuselt on *mental ray* täisfunktsionaalne 3D-pakett, mis on võimeline kirjeldama geomeetrilistest kujunditest, pinnamaterjalidest, valgusest ja keskkonnavarjutajatest (enviroment shaders) koosnevat stseeni, kasutades mental images'i stseenikirjelduse süsteemi. Selliste stseenide kirjeldamisel pole mental ray'l eraldi kasutajaliidest. Seega saab stseeni kirjeldada tavalise teksti sisestamise abil, kus käsu sisestamine tekitab visualiseeritud kujutise. Tänu pakutavale efektiivsusele ja kontrollile, on sellel lähenemisviisil palju kasulikke hüvesid arendusressurssidega firmade jaoks, kuid mitte nii palju sõltumatu arvutigraafiku või väiksema ettevõtte jaoks. Heade programmeerimisoskustega 3D-gurud suudavad mental ray iseseisvat paketti kasutada spetsiifilisemaks visualiseerimiseks ning luua mitmeid lisavõimalusi, kasutades näiteks programmeerimiskeeli C ja C++. Nad oskavad luua uusi varjutajaid (shader), mida saab mental ray'sse lisada. Sellest kõigest on aga võimalik juba lugeda mõnest spetsiifilisest raamatust, sest tegelikult pole mental ray kõigi võimaluste kasutamiseks vaja selle programmeeritavatest omadustest midagi teada. Seda olukorras kui kasutada seda mõne programmi raames, milleks käesoleva töö autor on näitena võtnud 3ds Max'i. Mental ray'ga visualiseerimisel teisendab põhiprogramm stseeni automaatselt mental images'i formaati. Sedalaadi mental ray integreeritus programmidesse annab ligipääsu enamikele mental ray võimalustele. See teeb *mental ray* 3D-visualiseerija jaoks praktiliseks töövahendiks, kõrvaldades vajaduse põhjalike tehniliste oskuste järele ja võimaldades keskenduda kunstile. Mental ray integreeritus tema tootja koostööpartnerite programmidega saavutatakse koostisosa abil, mida nimetatakse teisendusprogrammiks. Teisendusprogramm tegeleb teisendamisega, toetades mental ray võimalusi enamike programmide sees. Seega vahendab teisendusprogramm põhiprogrammi ja mental ray vahelist suhtlust, käivitades samal ajal visualiseeringuid või arvutades spetsiifilisi *mental ray* kaarte (*map*) nagu footon-, valgus- ja *final gather*-kaardid.

Erinevate alade professionaalidel, kes *mental ray*'d kasutavad, loovad kujutusi erinevatel põhjustel. Need erinevused peegelduvad tarkvaraga töötamise viisides ja töökäigu korraldamises. Erinevad lähenemisviisid võivad ulatuda lihtsate kujundite visualiseerimisest kohapeal arendatud keeruliste töövahenditeni, mida viljelevad näiteks Sony Image Works, Industrial Light & Magic ja teised laiahaardelised stuudiod<sup>8</sup>.

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> (Avid Technology and mental images Sign Long-term Agreement for Broader Development. 2007)

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Livny (2007, lk. 4)

Arhitektuurilise või tööstusliku arvutiga projekteerimise ehk CAD-visualiseerimise keskendub realismile, mis põhineb füüsikaliselt korrektsetel arvutustel. Elukutselised arhitektid huvituvad eriti realistliku kujutise joonistamisest, mis annab edasi keskkonna väljanägemise kindlal päeva ajal ja kindlat tüüpi kunstlikus valguses. See võib nõuda valguse tootjatelt (*light manufacturers*) pärinevaid valgusprofiile (*light profiles*), mis määravad täpse valguse tugevuse ja antud valgusallika omadused. Seejärel lisab *mental ray* nendele valgusmudelitele uued võimed, et jäljendada valguse põrkumist keskkonnas. Seda tuntakse kui pindadelt peegeldunud valguse tekitatud kaudset valgustatust (*indirect illumination*).

Tegutsevad disainerid pole tavaliselt kindlate valgustusolude jäljendamisest huvitatud, seega on neil enam loomevabadust, et eelistada füüsikaliselt korrektsele valgustusele kaunimat. Nende visualiseerimine keskendub realistlike joonte loomisele pindadele ja nende vastastikkusele mõjule valgusega. Neil on vaja tõepäraselt jäljendada seda, kuidas pinnad valgust peegeldavad ja suunavad. Näiteks käituvad erineva paksusega ja erinevat tüüpi kroompinnad, alumiinium, rasked metallid, plastmass, lihvitud metall ja valgust läbilaskvad pinnad kõik valgusega erinevalt.

Nii arhitektuurilises kui ka tööstuslikus kujunduses võivad visualiseerimisajad olla üsna pikad, kuid tavaliselt pole see eriliseks takistuseks. Paljudel juhtudel vajab nendel tegevusaladel visualiseerimist vaid suhteliselt väike lõik kaadreid, et trükkida või salvestada tippkvaliteediga reklaami või videoesitlust.

*mental ray* fotorealistlikud võimed on meelelahutustööstuses võrdselt tähtsad, kuid pelgalt loodavate kaadrite arv tähendab, et tuleb arvestada veel enam ajateguriga. Kuigi kaunilt visualiseeritud arvutigraafilised kujutised võivad tohutult suurendada filmi veetlevust, on nende valmistamine aeganõudev. Seetõttu eelistavad filmide autorid tavaliselt *mental ray* kasutamist vältida kohas, kus see vähegi võimalik, kuna nad soovivad filmi kiiret valmimist. Meelelahutustööstuses on *mental ray*'l kaks erinevat rolli: üks neist on terve tootmisprotsessi esmane ehk põhiline ja teine ehk teisejärguline abivisualiseerija, mis loob tegelikkust rõhutavaid tipptasemel realistlikke visuaalseid eriefekte. Mõned tuntumad filmid, mis kasutavad suuremal või vähemal määral *mental ray*'d, on näiteks "Kaklusklubi" (*Fight Club*), "Ämblikmees 3" (*Spider-Man 3*), "Matrix II" (*The Matrix Reloaded*), "Matrix: Revolutsioon" (*The Matrix Revolutions*), "Hulk" (*The Hulk*), "Päev pärast homset" (*The Day After Tomorrow*) ja nii edasi<sup>9</sup>, rääkimata 3D filmide pealetulekust.

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> (Motion Pictures. 2009)

Jäljendatud fotorealismi kasutatakse filmides tavaliselt nende rekvisiitide või võtteplatside loomiseks, mille ehitamine läheks liiga kulukaks, näiteks kosmoselaev. Kuid see võimaldab teha ka võtteid, mille filmimine oleks muidu võimatu või liiga kallis. Mõnikord kasutatakse *mental ray*'d keskkonna või tegelaskuju arvutigraafiliseks muutmiseks, mis võimaldab lavastajal saada ebatavalisi kaadreid. Näiteks käesoleval aastal kolm Oscarit võitnud filmis "Benjamin Buttoni uskumatu elu" (*The Curious Case of Benjamin Button*) on peategelase terve nägu animeeritud *mental ray*'d kasutades.<sup>10</sup> Ametlik tutvustus tehtust HD-pildina (*high-definition*) on kättesaadav aadressil: <u>http://www.d2.com/benjamin button behind the scenes/</u><sup>11</sup> või tööga kaasas oleval DVD'l. Järjest enam kasutatakse võtteid, mille võtteplatsil filmimine olnuks tõenäoliselt võimatu või vähemalt äärmiselt keeruline. *Mental ray*'d kasutatakse ka kõiksuguste keskkondade kopeerimiseks, et saaks filmida näiteks ebatavalisi läbi maja liikuvaid kaadreid. Säärane tõelise elu ja 3D kokkusegamine eeldab suures koguses realismi. Selle eesmärk on teha vaatajale moonutamata kaadrite eristamine 3D-st võimalikult raskeks.

Seevastu arvutimängudes, mis arenevad pidevalt ja pakuvad üha tõelisemaid kogemusi, on rõhk ühtsel, vahetul suhtlusel. Just see, reaalajas toimuv, ongi siiani alati teinud kõrgekvaliteedilise visualiseerimise mängudele kättesaamatuks. Arenenud arvutigraafika vajab keerulisi varjutusmudeleid ja valgustust nagu kaudne valgustatus (*indirect illumination*). Mängudes ei leidu *mental ray* või mõne muu visualiseerimismootoriga eelnevalt visualiseeritud kujutisi; nad kuvatakse mängumootori abil, mis visualiseerib reaalajas. Sellist reaalajas kuvamist võimaldab tehnoloogiate kasutamine, mis pääsevad OpenGL-i või DirectX-i kaudu riistvarale ligi ja kontrollivad seda. Mängude tööstus ületab tehnoloogilise lõhe, kasutades *mental ray* valguse kõrvetamise (*light baking*) valikuid. Valguse kõrvetamine on protsess, mille käigus muundatakse *mental ray* pinnavarjutus ja -valgustus mustrikaartideks (*texture maps*), mida saab seejärel mudelite juures kasutada. Oma olemuselt võivad mustrid endast kujutada üldise valgustuse visualiseeringut, mis tekitab keskkonnas valguse hajutatud ja kaudse põrkumise, saades sel viisil mängu keskkonna ja tegelaskujude jaoks pilkupüüdvamad mustrikaardid. Kuna aga antud teema kuulub pigem tekstuuride valdkonda, siis seda käesolevas töös eraldi käsitletud ei ole.

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> Håkan (2009, veebruar 25)

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> (The Curious Case Of Benjamin Button behind the scenes, 2009)

## 2.2. Visualiseerimise esialgne seadistamine

Arvutiprogrammidega oma esmase töö alustamine on nagu uue auto rooli istumine, kus esmalt tuleb paika sättida kõik vajalik seadistus, et juhil oleks maksimaalne mugavus selle kasutamisel. 3ds Max'is kõige põhilisemateks seadistusteks võib lugeda omale meelepärase visualiseerimissüsteemi väljavalimist, arvutiekraani kontrastsusteguri paikapanekut ja selgust endale, millistes mõõtühikutes oma tegemisi tehakse.

#### 2.2.1. Visualiseerimismeetodite määramine

Selleks, et panna *mental ray* stseene visualiseerima, tuleb see lihtsalt valida olemasolevate visualiseeringute loetelust. Autodesk 3ds Max'i puhul saab seda teha "Common'i" paneelilt "Assign Renderer'i" valikust. Piisab, kui sealtsamast muuta "Production" "*mental ray* Renderer'iks", "ActivShade" võib jääda, kuna seda kasutatakse *viewport*'ide ehk tööakente visualiseerimiseks. Soovitav ongi teha *mental ray*'st vaikimisi (*default*) kasutusel olev visualiseerimissüsteem. "Pildil 1" oleva 3ds Max'i akna saab lahti, valides ülevalt menüüst "Rendering" -> "Render" -> "Common" -> "+" nupuga lahti "Assign Renderer".

Kui korra on juba valitud "Production'ist" visualiseerimissüsteem, siis pole enam vaja otseselt teisi seadeid tööks muuta. *Mental ray* pakub materjalide muutmise, valgustuskategooriate ja objekti seadete dialoogiaknates küll lisatunnuste võimaldamist, kuid need ei ole otseselt stseenide visualiseerimiseks nõutavad.

Sender Scen	e: men	tal ray Ren	derer	
Indirect Illumina	ition	Processing	Re	ender Elements
Commo	on		Rer	nderer
+	Com	nmon Paramete	ers	ĵ
+	Em	ail Notification	s	j
+		Scripts		Ĵ
9	As	ssign Renderer		j
Production:	mental r	ay Renderer		
Material Editor:	mental r	ay Renderer		8
ActiveShade:	Default	Scanline Reno	lerer	
		ave as Defaul	ts	

Pilt 1. Assign Renderer Autodesk 3ds Max 2009's

#### 2.2.2. Kontrastsustegur ehk gamma

Arvutiekraani värvid ei pruugi olla erinevate monitorimudelite, veelgi enam monitori ja printeri, vahel kooskõlas ja nad võivad erineda ka kaubamärkide lõikes. Gamma seaded on vahendid, mille kaudu saab värve pidevalt esile tuua, sõltumata sellest, millist monitori kasutatakse. Gamma väärtus reguleerib kujutise heledust. See on numbriline nihe, mida konkreetne monitor vajab õige värvivahemiku esitamiseks<sup>12</sup> (vt pilt 2).



Pilt 2. Gamma paranemine.

Gamma ja LUT tööpaneel kontrollib gamma parandusi arvutiekraani ja rasterfaili vahel. Selles on lisaks "Browse"-nupp "Autodesk View Look-up Table'i" (LUT) laadimiseks, mis sisaldab kõikide värvide kalibreerimise seadeid. Selleks, et tagada järjepidevus, saab neid jagada erinevat tüüpi tarkvara ja riistvara vahel.

Gamma paranduse aktiveerimiseks 3ds Max'is tuleb avada ülevalt menüüst "Customize" -> "Preferences" -> "Gamma and LUT" ning märkida valik "Enable Gamma/LUT Correction" (vt pilt 3). Gamma väärtuse määramiseks tuleb kasutada üles-alla nooleklahve, kuni hall ruut sulandub tausta. LUT-faile 3ds Max ei tee, kuid neid saab laadida teistest tarkvaradest, et kindlustada ühtne kalibreerimine mitme arvuti vahel.

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup> Levoy, M. (2009)

Inverse	Kinematics	Gizmos	MAXScript	Radiosity	mental ray
General	Files	Viewports 🤇	Gamma and LUT	Rendering	Animation
Enab Enab Load O Splay G Aut Brows	le Gamma/LUT Enable State v odesk View LU e	Correction with MAX Files T	Mater V	ials and Colors Affect Color Selec Affect Material Ed	tors
@ Ga	mma 2.2	-	- Bitma Inp Ou	p Files ut Gamma: [2 tput Gamma: [2	<u>12</u> € 12 €

Pilt 3. Gamma ja LUT Autodesk 3ds Max 2009's.

Kuigi gamma seadetel on otsene mõju visualiseeringutele, ei mõjuta nad värvivalikuid ega materjali redaktori (*material editor*) eelvaateid. Kasutades "Affect Color Selectors'i" ja "Affect Material Editor'i" seadeid, laieneb parandatud gamma 3ds Max'i kõikidele värvivalikutele.

Paljudel rasterformaatidel, nagu näiteks TGA, on oma gamma seaded. "Input Gamma" seade määrab rasterfailidele gamma ilma vastavate seadeteta (vt pilt 4). Selle väärtus peab vastama kuvatava "Gamma" väärtusele, et tekstuuride värvigamma oleks õiges vahemikus. "Output Gamma" seade on mõeldud rasterfailidele, olles samal ajal 3ds Max'i väljund nende väärtustele. Üldjuhul on antud väärtuseks keskmise LCD-monitori puhul 2,2 (vt pilt 5).



Pilt 4. Gamma enne vaikimisi 1,0.



Pilt 5. Ja gamma pärast seadete korrigeerimist 2,2 peale.

## 2.2.3. Mõõtühikute tähtsus stseenis

Enne, kui teha visualiseerimisega algust, tuleb mõista, et *mental ray* on tihedalt seotud stseenis kasutatavate mõõtühikutega. See on oluline detail, mis tuleb meelde jätta soovitud tulemuse saavutamiseks. Kui asuda visualiseerima, kus kasutatakse füüsikapõhiseid fotomeetrilisi valgusobjekte ning kaamerat, siis on valede mõõtmetega väga raske saada stseenist rahuldavat tulemust (vt pilte 6 ja 7). Valedes mõõtmetes objektid võivad visualiseeringu vaatajale lihtsalt valed näida, kuna inimene on harjunud asjade suurust hindama mitte ainult teiste ümbritsevate objektidega võrreldes, vaid ka varjude, valgustuse hajutuse ja kasvõi nihkes oleva kaamerafookuse kaudu.



Pilt 6. Pildil olev stseen on kolm korda suurem tegelikult planeeritust, valgusobjektide väärtused on reaalsed, valguspaneel hele, aga stseen liiga pime.



Pilt 7. Ühikud reaalseks pannes on ka valguse kalkulatsioonid korrektsed.

Algselt on peaaegu kõik pikkused vaikimisi tollides, mida saab soovi korral muuta näiteks 3ds Max'is läbi menüü "Customize" -> "Units Setup" (vt pilt 8). Kasutaja peaks olema kindel oma valitud seadetes, vastasel juhul võib tulevikus töös tekkida erinevaid soovimatuid tulemusi ja lõpp-produkt mõningal juhul olla hoopis erinev.

Selle asemel, et hakata kiirustades "Unit Setup'ist" sentimeetreid või meetreid valima, võiks tegelikult kasutada "General Units'i" valikut. Erinevus on selles, et valides "Metric" või "US Standard", muudetakse ära ka nende arvude esitamise kuju 3ds Max'is. Põhjus "General Units'i" kasutamiseks on see, et antud juhul kirjutatakse mõõtühik alati sobivamalt ja samasugusel kujul ning vajaminevad teisendused saab teha vastavalt olukorrale peast või kalkulaatoriga.

"Generic Units" on ühik, mille tegelik väärtus määratakse süsteemi mõõtühiku sätetes (System Unit Setup). Seal saab ära määrata, kui suur on üks ühik 3ds Max'is ja

nits Setup			?
<u> </u>	System Unit S	etup	
Display Unit Scale-			
C Metric			
Meters			*
C US Standard			
Feet w/Fractio	nal Inches 🧕	1/32	×
Default Units: (	🖲 Feet 🕻 In	ches	
C Custom			
FL	= 660,0	Feet	<u></u>
Generic Units			
Lighting Units			
International			•
0	OK	1	Cancel
	1000		

Pilt 8. Ühikute seaded Autodesk 3ds Max 2009's.

kui suurele füüsilisele mõõtühikule see vastab (vt pilt 9). Sealt saab kergesti valida endale sobiliku väärtuse, milleks enamasti on meetrid või sentimeetrid. Mõõtühikud tuleks alati valida vastavalt stseenile.

an and a state and a state of the state of t		
1 Unit = 1,0	nches	-
Respect System	n Units in Fil	es
Origin	1677	7215,0
<u>j</u>		······
Distance from origin: 1,0		
Resulting Accuracy: 0,0000	001192	

Pilt 9. Ühikute pikkuste muutmine Autodesk 3ds Max 2009's.

Tasub tähele panna, et need parameetrid salvestatakse koos stseeniga. Kui avada mõni teistsuguste mõõtühikutega loodud stseen, siis tuleb need ka valikus kasutusele võtta, et vältida potentsiaalseid probleeme. Mõõtühikute muutmine kirjutab esialgsed seaded üle, nii et kasulik on enne iga uue stseeni ehitamist üle kontrollida kasutuselolevad mõõtühikud.

"Units Setup'i" all on ka võimalus valida valgustustugevuse mõõtühikud, kas rahvusvahelised või ameerika omad. Hea on ka teada, et need mõõtühikud on pärast seda kasutusel peaaegu kõikjal, kus tegu vahemaadega. Selle all ei mõelda mitte ainult objektide suuruseid, vaid ka näiteks materjalide ja varjutajate (*shaders*) parameetreid. Seetõttu jõuab reaalset vahemaad silmaga hinnata osates palju kergemini soovitud tulemuseni.

## 2.3. Stseen

Stseeni all mõistetakse igasugust füüsikalise keskkonna projektsiooni inimesele tajutavasse süsteemi, milleks käesoleva töö puhul on 3ds Max. Stseen koosneb objektimudelitest, kasutatud materjalidest, ümbritsevast keskkonnast ja valgusobjektidest. *Mental ray* võtab arvesse pildi visualiseerimisel kõiki stseeni osasid.

## 2.3.1. Valgus ja värvid

Graafilise kujundi tajumine sõltub palju selle värvist. Hoolikas värvivaliku kasutamine avaldab suurt mõju visualiseerimise tulemusele, muutes seda professionaalsemaks ja loomutruumaks. Värv teeb kujundi ilmekamaks, edastab tuju, teravdab tunnetamist, annab vormile erilise tähenduse. Kuna valgusest ja värvidest ei ole võimalik 3D'd tehes mööda minna, käsitleb järgnev peatükk üldist teooriat.

Valgus on elektromagnetkiirguse inimesele nähtav osalainepikkusega vahemikus 380 kuni 740 nanomeetrit. Inimene näeb valgust, mis jääb ultraviolettkiirguse ja infrapunakiirguse lainepikkuse vahele<sup>13</sup> (vt pilt 10). Seda vahemikku nimetatakse nähtavaks valguseks ja kuna see on vahemik, millega visualiseerimine tegeleb, siis võib seda nimetada lihtsalt valguseks.



Pilt 10. Nähtav valgus.

Valgus koosneb elementaarosakestest, mida kutsutakse footoniteks ning valguse kolm peamist omadust on heledus, sagedus ja polarisatsioon. Ka visualiseerimisel kasutatakse tihti sõna "footon", kuid siin pole see füüsikaline footon, vaid täidab ainult umbkaudselt sama funktsiooni.<sup>14</sup>

Värvil on kolm atribuuti: värvitoon (*color balance*), heledus (*brightness*) ja küllastus (*saturation*). Värvitoon on selline atribuut, mis lubab eristada neid kui punast, kollast, rohelist, sinist või mõnda vahepealset värvi. Värvitooni erinevus sõltub eelkõige silma tabava valguslaine pikkusest. Heledus puudutab tooni heledust või tumedust, mis on määratud peegeldusega füüsilisest pinnast, millele valgus satub. Mida suurem heledus, seda heledam värv. Küllastatus on värvi intensiivsus. Seda mõõdetakse kui antud värvi erinevust sama heledusega hallist. Mida

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup> Voolaid (2005, lk. 2)

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> Mjakišev ja Buhhovtsev (1982, lk. 231)

madalam küllastatus, seda hallimaks muutub värv, kui küllastatus on võrdne nulliga, muutub värv halliks.

Tehnilisel tasemel on tähelepanuvääriline fakt, et kõiki värve (vähemalt need, mida inimese silm eristab) on võimalik saavutada, segades kolme põhivärvi<sup>15</sup>. Need kolm värvi on kunstniku seisukohalt *magenta-red* (purpurpunane), *cyan-blue* (helesinine) ja *yellow-ochre* (kollakasoranž). Füüsika seisukohalt on need värvid punane, roheline ja sinine, mis kannavad ka spektri põhivärvide nimetust. Värvide esitamine digitaalseadmetes RGB mudelina põhineb kolmel spektri põhivärvil (R=red, G=green, B=blue), kus värvide liitmisel tekib valge värv. Sellepärast nimetatakse neid värve ka aditiivseteks põhivärvideks.

Värvisügavus (*color depth*) on bittide arv, mis on ettenähtud värvi kodeerimiseks. Koodi pikkus määrab erinevate värvide arvu, mida saab ühes pikselis kasutada. Nii näitab värvi sügavus, mitme erineva värviga on võimalik antud kujutist värvida. Näiteks, kui värvi sügavus on 24 bitti, saab kujutis sisaldada 2<sup>24</sup> mln (ligikaudu 16,8 mln) erinevat värvitooni.

On selge, et mida rohkem värve on kasutusel kujutise edastamiseks, seda täpsem on info iga pikseli värvi kohta.





Värvi temperatuur ei tähista otseselt valgusobjekti enda füüsilist temperatuuri. See on määratud kelvinites ja mõõdetakse ära objekti kuumutamisega ja sellest tuleneva muutuva värvi tulemusena (vt pilt 11). Objekt neelab kogu talle langeva elektromagneetilise kiirguse ja on värvuselt must. Kelvini väärtused algavad 0st, kus musta keha kuumutamisel värvi ei eristu ja temperatuur on -273,15 °C. 0 °C juures on värvitemperatuuri väärtus 273,15 kelvinit ning 100°C juures 373,15 kelvinit<sup>16</sup>. Fotomeetrilised valgusobjektid võimaldavad nende värvi temperatuuri õigesti määrata, aga kuna kelvini väärtusi on raske pimesi paika panna, siis joonisel 20 on välja toodud paar umbkaudset väärtust, mille järgi saab orienteeruda.

Värvi temperatuuri all peetakse tihti silmas ka selle värvustasakaalu. Keskkonnas pildi tegemiseks on vaja teada, milliseid temperatuure käsitletakse valgena. Antud teave määratakse

<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> Sepp, K. (Värviõpetus ja kompositsioon, 2009)

<sup>&</sup>lt;sup>16</sup> Birn (2006, lk. 231-235)

kelvinites ja visualiseerimisel tegeleb värvibalansiga otseselt *Tone mapping'u* ehk tooni vastendamise *Whitepoint'i* väärtus. Selle seadistamine sai vajalikuks värvifilmi algusaegadel, kus tekkis erinevus toas ja õues tehtud piltide vahel ehk siis erineva värvitemperatuuriga valguse käes nägid pildid erinevad välja. See tuleneb domineeriva valgusobjekti värvist keskkonnas, kus valguseks siseruumis on lambipirn ja väliskeskkonnas taeva värvitemperatuur. Päriselust näitena on filmimisel siseruumides tihti kasutusel 3200 kelvinile balansseeritud film, millest kõrgema värvitemperatuuriga valgus paistab sinakam ja madalama temperatuuriga punakam. Välisvõtetel kasutatakse enamasti 5500 kelvinile balansseeritud filmi<sup>17</sup> (vt pilt 12). Sama kehtib ka fotoreaalse valguse visualiseerimisel arvutiga.

Valguse intensiivsuseks  $\Phi$  nimetatakse pinnaühikult ühes sekundis kiiratud energiavoogu, mis tuleneb selle kaugusest valgustusobjektist. Mida suuremat ala peab valgustusobjekt valgustama, seda hajusam on valgus. Valgushajuvust pole paljudes 3D-programmides vaikimisi üldse määratud. See tähendab, et valgusobjekt valgustab lõpmata kaugele ilma selle intensiivsuse vähenemiseta. See on aga füüsikaliselt vale lähenemine ja tekitab olukorra, kus stseeni on kerge üle valgustada ning valgusobjektid tunduvad ebaloomulikena. Põhjus, miks tänapäeva 3Dprogrammides kasutatakse sedasorti algseadeid, seisneb selles, et veel mõned aastad tagasi oli *tone mapping* ehk tooni vastandamine tavakasutajatele raskesti kättesaadav ja seetõttu olid füüsikaliselt korrektsed valgusobjektid tihtilugu stseeni valgustamiseks ebapiisavad, eriti kui stseenis ei visualiseeritud valguse peegeldusi.



Pilt 12. Kahe erineva filmi värvibalansi võrdlus siseruumis.

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup> Birn (2006, lk. 231-235)

Valguse hajuvust on kolme liiki (vt pilt 13):

- "Decay" ehk lineaarne hajuvus, kus saab valida hajuvuseta valgusobjekti, mille tugevus hajub lineaarselt.
- "Inverse" ehk ruuthajuvus, kus valgusobjekti tugevus hajub pöördvõrdeliselt ehk valguse intensiivsuse kahanemine on võrdeline vahemaa kahekordse suurenemisega.
- "Inverse Square" ehk kuuphajuvus on valguse ruutjuureline kahanemine füüsikaliselt korrektses 3D-ruumis. Soovitatav on kasutada nimelt seda viimast, kuna valgus kaotab 3D-ruumis energiat. Tihti võib aga muu hajuvusega saavutada kunstilisemates visualiseerimistes huvitavaid valguslahendusi.

Hajuvuse seadeid saab muuta mittefotomeetrilise valgusobjekti puhul "Intensity/Color/Attenuation" menüüst ja fotomeetrilise puhul juba otse globaalse valgustatuse (*global illumination*) alt. Kõigest nendest on rohkem juttu juba konkreetsetes peatükkides.



Pilt 13. Valguse intensiivsuse hajuvumine.

## 2.3.2. Materjalid ja nende varjutajad ehk shader'id

Materjale saab stseeni lisada pildi realistlikkuse tõstmiseks. Materjalide all mõistetakse kõike alates värvidest ja lõpetades tekstuurmaterjalidega nagu puit või maalid. Lisaks on mõned neist läbipaistvad. Materjalid imiteerivad meid ümbritseva keskkonna objektide välimust.

Materjalid toimivad koostöös valgusallikaga. Reaalses elus on valgusilminguid nagu *color bleeding* ehk laialivalgumine, *reflection* ehk peegeldus, *refraction* ehk valguse murdumine ja *caustics ehk kaustiline valgus. Mental ray* terminoloogias on materjalid grupp filtreid, mis kirjeldab konkreetse pinna seadeid ja mida programmides üldiselt tähistatakse terminiga *shader* ehk varjutaja. Varjutaja ei tohiks segamini ajada tavalise filtri mõistega, sest filter, kui selline, võtab olemasoleva ja vähendab, varjutaja (*shader*) aga muudab olemasolevat. Varjutaja (*shader*)

on väike tarkvaraprogramm, mis lahendab spetsiifilisi teatud tükke visualiseerimisprotsessis. Lihtsustatult toetub iga varjutaja (*shader*) öeldes sisseantavale funktsioon parameetrile. millest saab kindel tulem. Näiteks, kui kasutada väändumist lisavat varjutajat (shader) kaamera sees, siis tulemus on väändunud kujutis samuti vastavalt sisestatud seadetele. Erinevate materjalide definitsioonid vajavad erinevaid varjutajaid, aga pinna varjutaja (shader*map*) on alati vajalik. Koos keerulisemate materjalidega, võib varjutajaid kasutada koos selliste komponentidega nagu varjud, maht ja keskkond. Mental ray'l endal on spetsiifiline materjalitüüp, aga ta töötab ka koos enamike kättesaadavate 3ds Max'i materjalidega.



Pilt 14. 3ds Max 2009 materjalide aken.

*Mental ray* kui visualiseerimismootor on eriti paindlik varjutaja (*shader*) kasutamisel. Kõik varjutajad (*shadres*) töötavad koos, et üle kanda stseeni parameetrid lõplikusse visualiseeritud pilti. Varjutajat (*shader*) saab kasutada stseeni kõigi objektide puhul nagu geomeetrilised kujundid, valgustus ja kaameranurk. Sõltuvalt sellest, kus on soov varjutajat (*shader*) kasutada, saab näiteks 3ds Max'is võimalike valikute nimekiri valides "Material Editor" -> "Standard" -> "Material/Map Browser" (vt pilt 14). Varjutaja (*shader*) kasutusvõimalusi saab võrrelda 3ds Max'ist tuttavate kaardistustehnikatega. Tegelikult suudab *mental ray* töötada koos enamike olemasolevate 3ds Max'i *mapping*'utega ehk kaardistustega. Kui on soov kuvada kujutist, et anda objektile välimus, siis *mental ray* varjutaja (*shader*) asemel võib kasutada ka tavalisi 3ds Max varjutajaid (*shaders*) nagu näiteks *bitmap*.

*Mental ray's* vaadatakse pilti kaamera vaatenurgast. Visualiseerimisel stseeni kokku pannes antakse igale üksikule pikslile värv, mis kokku moodustab lõpliku kujutise. Kui valguskiir suundub valgusallikast stseeni, siis lõpuks tabab ta objekti pinda. Pärast seda kirjeldab varjutaja (*shader*) aktiveeritud pinda ja sooritatakse vajalikud arvutused. Tulemus saadetakse tagasi ja informatsiooni kasutatakse piksli lõpliku värvi määramiseks.

Lisaks saab kasutada kontuurjooni, et luua visualiseerimise tulemus joonistatud pildi sarnaselt. See tähendab, et kui kiir tabab ühe objekti pinda, saab ta aru vajadusest töödelda sisendit nii, et tulemuses oleks kontuurjooned pärismaterjali asemel (vt pilt 15).

Varjutajaid (*shader*) ei saa kasutada ainult materjalidega, mitmed varjutajad on ka näiteks valgus- ning kaameraobjektide jaoks. Neid saab kasutada peegelduvate kiirte ja varju arvutamisel ning eriefektide jaoks nagu globaalne valgustatus (*global illumination*) ja *caustics*. Viimastest on aga juttu töö teises pooles. Teiste sõnadega: suuremat osa stseenides toimuvast kontrollivad varjutajad (*shaders*), mida omakorda kontrollib *mental ray*.



Pilt 15. Näide stseenist, kus on kasutatus iga objekti jaoks erinevaid varjutajaid (shaders).

## 2.3.3. Stseeni realistlik keskkond

Keskkond annab stseenile juurde usutavust. Selleks võib olla stseeni taustaks pandud kaunis maastik või mõni pilv sinises taevas. Üldjuhul on keskkonna kaardid nähtavad vaid lõplikul visualiseerimisel (*production render*), kuid soovi korral saab neid nähtavaks teha ka reaalaja tööaknas. Keskkonna seadeid saab näiteks 3ds Max'is muuta menüüst "Rendering" -> "Environment" (vt pilt 16).

Environment	Effects	
	Common Paramete	rs
Background		1.172
Color:	Environment Map:	📕 Use Map
	Nor	ne 📃
- Global Lighti	na:	
Tint:	Level:	Ambient:
	1,0	
ł	Exposure Control	
+ Lo	garithmic Exposure Control	Parameters
ł	Atmosphere	

Pilt 16. Keskkonna parameetrite muutmine Autodesk 3ds Max 2009's.

Keskkonna moodustavad mitmed seaded, sealhulgas taustavärv või -pilt, üldine valgustus, säristusajakontroll ja atmosfääriefektid.

Taustavärvi määramine toimub "Environment'i" paneelil "Color'i" valiku all. See värv kuvatakse automaatselt ja vaikimisi kasutatakse musta, kui keskkonnale ei ole määratud taustaks pilti. Taustavärv on muudetav nii RGB kui ka värvitooni, -küllastuse ja väärtuse kaudu. Selleks, et kasutada *bitmap*-taustapilti, tuleb valida "Environment Map". *Map*'i kasutamisel stseeni taustkeskkonnana on see näha automaatselt näiteks peegeldavate objektide peal. Lisaks võib *map*'i kasutada ka tööakna taustana, 3ds Max'is saab selle valides "Views" -> "Viewport Background" -> "Use Environmental Map" ja määrates "Display Background" (vt pilt 17).



Pilt 17. Taustavärvi muutmine Autodesk 3ds Max 2009's

Kui soovitud pilt keskkonnast on juba kasutusel olevate materjalide näidispiltide hulgas, saab selle hiire abil keskkonna taustaks vedada. Pildi parameetrite muutmiseks tuleb see laadida materjalide piltide alla "Material Editor'i". Pärast materjali tõstmist küsitakse, kas seda tahetakse kopeerida või kasutada ühtse ehk *instance*-materjalina. Muutes "Instance", toimuvad tehtud muudatused ka esialgsele materjalile automaatselt.



Pilt 18. Visualiseerimine taevakuma valgusega, mis saab valgusinformatsiooni taustapildilt.

Visualiseerides objekte, mis väga palju ei peegelda, ei pea keskkonna pilt olema kuigi detailne, kuna hea tulemuse annab juba valgustuse sobivus. Sellises olukorras võib fotol

valgusinformatsiooni saamiseks kasutada juba keskkonnas olemasolevaid peegeldavaid objekte. Eriti hästi sobib selleks näiteks inimese silm, mis peegeldab kogu kaamera taga olevat keskkonda ja seetõttu võib sealt töödeldes saada korraliku *map*'i stseeni valgustamiseks (vt pilt 19). Kuna antud informatsioon on üsna detailidevaene, siis sobib see vaid primaarsete valgusobjektide määramiseks. Värvitoonid ja muud detailid peab ise eraldi seadistama. Määrata tuleks valgustus-*map*'i vahemik ehk kui tugevalt võetakse stseeni valgustamisel arvesse piksli heledustooni. *Low Dynamic Range* ehk LDR-*map*'il on vahemik piiratud 0-255 heledustooniga ning väga reaalset kontrastset valgust ei ole sellega võimalik saavutada. *High Dynamic Range* ehk HDR-*map*'il on see aga 10<sup>-4</sup> kuni 10<sup>8</sup> ehk 0,001'st kuni 100 000 000 heledustoonini, kuid näiteks õues tehtud HDR-valgus*map* jääb ikkagi väheseks, kui peaks valgusinfoks kasutama *map*'il olevat päikest. Seadistamine on aga igal juhul vajalik ja seda tehakse *map*'i stseeni toomisel. Näitena on toodud "pilt 18", kus stseen saab valgusinformatsiooni taustapildilt, kasutades taevakuma valgust.



Pilt 19. Potentsiaalne valgusinfo environmental map'il.

#### 2.3.4. Valgusallikad

Valgusallikaid on 3ds Max'i stseenis objektidena ja neid võib nimetada valgusobjektideks. Erinevaid valgusobjekte võib vastavalt füüsikaseadustele liigitada põhimõtteliselt kahte gruppi: fotomeetrilised ehk füüsikaliselt korrektsed ja mittefotomeetrilised ehk tavalised valgusobjektid.

#### 2.3.4.1. Mittefotomeetrilised valgusobjektid

Tavalised ehk mittefotomeetrilised valgusobjektid pole füüsikaliselt täpsed ja realistlike visualiseeringute saavutamiseks tuleks neid kasutada vaid minimaalselt. Samas ei tohi mainimata jätta, et see on ka tegelikult nende eelis. Mõnikord on vaja kasutada valgusobjekte, millega saab saavutada tulemusi, mis oleks füüsikaliselt piiratud valgustusega raskendatud. Näiteks soovides anda muinasjutulisele stseenile Amazonase vihmametsades rohelist kuma, täidetakse stseen roheliste valgusobjektidega, mida saab kiiremini visualiseerida ja mille parameetreid on lihtsam vastavalt olukorrale seadistada. Seal tulevad kasutusse just nimelt need tavalised valgusobjektid (vt pilte 20 ja 21). Tavaliste valgusobjektide hulka kuuluvad:

- "Omni" ehk punktvalgusobjekt, mida mitmetes tarkvarades võib kohata ka "Point Light" nime all - kogu valgus tuleneb ühest kujuteldavast punktist ruumis ja levib igas suunas. Valgusobjekti kasutatakse tihti näiteks küünlaleegi ja lambipirnide puhul.
- "Target Spot" Spot" ja "Free ehk kohtvalgusobjekt sarnaselt punktvalgusobjektiga tuleb valgus ühest kujuteldavast punktist ruumis. Erinevus on see, et kohtvalgusobjektil on kindlaks määratud regioon, kuhu see valgust kiirgab. See võib olla nii ringi- kui ka ruudu- või ristkülikukujuline ning annab selle seadistamiseks "Falloff/Field'i" parameetrid, millega vastavalt vajadusele saab



Pilt 20. Mitte fotomeetriliste valgusobjektide lisamine Autodesk 3ds Max 2009's.

kraadides muuta valgusobjekti valgusava laiust. Kohtvalgusobjekte kasutatakse tavaliselt näiteks taskulampide ja autotulede puhul.

• "*Target Direct*" ja "*Free Direct*" ehk suundvalgusobjekt - valgus ei kiirga enam ühest punktist, vaid valguskiired levivad paralleelselt kasutaja poolt määratud piirkonnas nii

ringi- kui ka ruudu- või ristkülikukujulist koridori pidi. Suundvalgusobjekti kasutatakse näiteks päikesevalguse või muu väga kauge valgusobjekti esitamiseks stseenis, kus valguskiired levivad peaaegu paralleelselt. Olgugi, et valgusallikal näib olevat füüsiline kuju, siis tegelikult see nii ei ole ja valgusobjekti tuleb suhtuda kui valguskoridori. Sama kehtib ka *raytraced*-varjude kalkulatsiooni kohta. Kui valgusobjektid *mr Area Omni* ja *mr Area Spot* arvutavad *raytraced*-varjude puhul valgusobjekti pinda selle kuju järgi, siis suundvalgusobjekti puhul määratakse varjud puhtalt nende asukoha järgi selles samas valguskoridoris. *Raytraced*-varjudest on aga juttu eraldi peatükina otsese valgustatuse (*direct illumination*) all.

- "Mr Area Omni" mental ray spetsiaalne valgusobjekt, mis on põhimõttelt sama, mis punktvalgusobjekt, aga omab füüsilist kuju, näiteks silinder või kera, mis valgust kiirgab. Tähtis on teada, et valgusobjekti pind tegelikult valgust ei kiirga, see pärineb ühest punktist nagu tavalise punktvalgusobjekti puhul. See valgusobjekt võimaldab pehmeid varje, kuna varjude kalkulatsioonis võetakse arvesse valgusobjekti määratud pinda.
- "*Mr Area Spot*" *mental ray* spetsiaalne valgusobjekt, mis on põhimõttelt sama, mis kohtvalgusobjektid, aga valgusobjektil on füüsiline kuju, mis kiirgab valgust. Ülejäänud osas on see sarnane *mr Area Omni* valgustusega.
- "*Skylight*" ehk taevakuma valgus keskkonnapõhine valgusobjekt. Valgust kiirgab keskkonda ümbritsev kujuteldav kera, mida võib ette kujutada ümmarguse kuplina ümber stseeni. Taevakuma valgusobjekti saab kasutada ka füüsikaliselt korrektse keskkonna valgusobjektina, kuna see võimaldab enda külge paigutada keskkonna pildifaili, olgugi et taevakuma valgus pole ise füüsikaliselt korrektne. Pildifailist, mis on määratud taevakuma valguse külge keskkonnas, loetakse sisse tema poolt eraldatav valgus. Parima tulemuse annab HDR (*High Dynamic Range*) või ka HDRI ehk *HDR image* pildifail, mis sisaldab kogu valguse intensiivsust ja võimaldab taasesitada tehtud pildi reaalse keskkonna valgusinformatsiooni. Sellest valgusinformatsioonist näeb arvutiekraanil korraga ainult ühte vahemikku, taandades selle 256'le heledustoonile. HDR keskkonna pildifaili all peetakse silmas peamiselt panoraampilti. Kui tavalise LDR pildi puhul on värvide informatsioon salvestatud täisarvuliste positiivsete väärtustega 0'st 255'ni, siis HDRI salvestamisel salvestatakse värvide informatsioon komakohaliste arvudega võimaldades miljoneid heledustoone. Mõlemat liiki HDR pilti võib kergesti kasutada Skylight'i map'ina.

Peale HDR-pildifaili võib taevakuma valguse külge kinnitada muidugi ka LDR (*Low Dynamic Range*) pildifaili, milleks harilikult võib olla tavaline 256'se heledustooniga foto. Stseeni võib valgustada ka näiteks kõrgresolutsioonilise *LDR matte-painting'*u ehk keskkonnamaali või kompositsiooniga. Lisaks võib taevakuma ilma lisatud failita

kasutada näiteks ühtlase valgusega keskkonna nagu pilvine ilm toonitamiseks ja valguse ning varjude pehmendamiseks. Väärib tähelepanu, et taevakuma valgus (*skylight*) pole *raytraced*-põhine valgusobjekt. Taevakuma valgusobjekt valgustab stseeni ümbritsevalt. Sellest tulenevalt ei saa *mental ray* seda kasutada visualiseerimisel ilma *final gather* valguslahenduseta, kuna taevakuma valgus ei eralda otsese valgustuse kiiri. *Final gather* ist on täpsemalt juttu juba sellenimelises peatükis.



Pilt 21. Siin on iga valgusobjekti kohta vaid üks võimalikest näidetest, erinevate parameetrite seadistamisel võib saada suuresti erinevaid tulemusi.

## 2.3.4.2. Fotomeetrilised valgusobjektid

*Mental ray* tegeleb ka fotomeetriliste valgusobjektidega. Tegelikus maailmas oleval valgusel on mõõtmed, mis määravad tema tugevuse. Fotomeetriline valgus tugineb pärismaailma valguse mõõtmetele nagu intensiivsus luumenites ja temperatuur kelvinites. Fotomeetriliste valgusobjektide kasutamiseks tuleks 3ds Max'i puhul "Create" menüüst "Light" kategooria alt muuta standardsed objektid fotomeetrilisteks (vt pilt 22). Fotomeetrilised valgused toetuvad valgusenergia väärtusele.

Kui kasutada fotomeetrilisi valgusobjekte, siis 3ds Max füüsikale põhinevat pakub simulatsiooni valguse levimisele läbi sealse keskkonna. Tulemus pole mitte ainult ülirealistlik, vaid lisaks ka füüsikaliselt täpne (vt pilt 24). Esiteks tuleks märgata visualiseeringu tootmist, mis kasutab seda valgust, et näha väga kõrgrealistlikuna juhul, kui stseenis on paika pandud vastavad ühikud. Reaalsed ühikud selles mõttes, et võib ainult kujutleda ainsat valgusvihku suunatuna ühe kuupmeetrisesse ruumi, mis võrreldes suunatuna 100 kuupmeetrisesse ruumi, on vägagi erinev. Sarnaselt võib mõelda näiteks valgusallika valgustab peale, mis magamistuba, kui äkitselt asendatakse jalgpalli staadionil kasutusel oleva valgusallikaga.

"Target" ja "Free" fotomeetrilised valgusobjektid esinevad nii punkti, koha kui ka alana. Erinevate valgusvormide põhjustab valguse valimine levimise üle laiema ala ning seetõttu on punktvalgus enamasti heledaima intensiivsusega. Punktfotomeetriline valgus esineb tavalise kerana, joonvalgus silindrilise vihuna ja kohtvalgus koonusena. Sirgjoonelise valgustuse mõõtmeid saab muuta "Linear Light Parameters'i" valikutega



Pilt 22. Fotomeetriliste valgusobjektide lisamine ja nende mõõtmete muutmine Autodesk 3ds Max 2009's.

- "IES Sky" valgus jäljendab taevakuma valgust. Selle parameetrites saab valida selge, vahelduva pilvisusega ja pilves taeva vahel. Samad parameetrid leiduvad ka päevavalguse (*daylight*) süsteemis.
- "IES Sun" valgus jäljendab päikesevalgust, mis on suure võimsusega ja tuleb ühtse voona. Seda saab suunata ja selle intensiivsust saab tõsta kuni 50 miljardi luksini. Seda

tüüpi valgus on väga kasulik arhitektuuri visualiseerimisel.

"Sunlight" ja "Daylight" ehk päikese- ja päevavalguse süsteemide juurde pääseb 3ds Max'is "Create" paneeli "Systems" kategooria alt (vt pilt 23). Nad tekitavad valgust, mis jäljendab päikest kindlas geograafilises asukohas, kindlal kuupäeval ja kellaajal ning kindlast suunast vaadatuna. Asetades stseeni päikese- või päevavalgust, toob programm kõigepealt nähtavale virtuaalse kompassi. Pärast selle asetamist saab paigaldada ka valgusallika. Põhiline erinevus kahe valgussüsteemi vahel on see, et päikesevalgus kasutab suunatud valgust, päevavalgus aga IES Sun'i ja IES Sky valgust. Päevavalgussüsteemis parima tulemuse saavutamiseks tuleks kasutada "mr Sun" ja "mr Sky" valikuid. Selle süsteemi kasutamine muudab mr Physical Sky keskkonna seaded aktiivseks.

Kompass on abiks päikesevalguse süsteemiga töötamisel. Seda saab kasutada ilmakaarte määramisel stseenis. Neid ilmakaari kasutatakse valgussuuna orienteerimiseks. Kompassi ennast lõpptulemuses ei visualiseerita.

Kui valgussüsteemi objekt on juba paika pandud, siis saab seda liigutada vaid kellaaja või ilmakaarte seadete abil ja selle numbrilisi seadeid saab muuta "Modify" või "Motion" paneelilt.

"Azimuth" ehk asimuut ja "Altitude" ehk kõrgus merepinnast on väärtused, mis aitavad määrata päikese asukohta taevas. Neid mõlemaid mõõdetakse kraadides. Asimuut viitab ilmakaarele, kõrgus merepinnast on nurk

k 🖉 🔠 🕲 🏌
● 🗞 🛠 🛱 🖸 📚 🙀
Standard
- Object Type
Bones Ring Array
Sunlight Daylight
Biped
[ + Name and Color ]
- Control Parameters
Azimuth Altitude
Time
Hours Mins. Secs.
Month Day Year 6 ♀ 21 ♀ 2005 ♀
Time Zone: J-8 😫
Daylight Saving Time
Get Location
San Francisco, CA
Latitude: 37,795 😫
Longitude: 122,394 보
Site
Orbital Scale: 0,0FL 😫
North Direction: 0,0

Pilt 23. Päikese- ja päevavalguse lisamine ning nende parameetrid Autodesk 3ds Max 2009's. päikese ja horisondi vahel.

"Time" sektsioonis saab määrata päikese asukoha kuupäeva ja kellaaja järgi ning "Daylight Saving Time'i" aktiveerides arvestatakse ka suveajaga. Lisaks saab määrata ajavööndit ehk "Time Zone'i".

"Get Location..." kuvab maakaart ja linnade nimekirja. Asukoha valimine muudab automaatselt ka pikkus- ja laiuskraade, mida saab ka käsitsi sisestada.



Pilt 24. Näide on toodud fotomeetrilise pindvalgusobjekti ja "mr Area Spot" erinevustest. Varjud on mõlemal pehmed, aga "mr Area Spot" eraldab valgust ainult ühest keskpunktist, samas kui fotomeetriline valgusobjekt kiirgab kogu pinnalt.

## 2.4. Otsene valgustatus ehk direct illumination

Otsene valgustatus on arvutigraafika keskkonna üldine termin. See on stseenis esindatud valgus, mille kõik kiired on pärast pinna puutumist peatunud. Seega valguse peegeldumist ei esine ja see teeb visualiseerimise tunduvalt kiiremaks. Kaamerast saadetakse iga piksli kohta stseeni sirgjooneliselt kiired. Need tabavad objekti ja tabamiskohast saadetakse kiir iga valgusobjekti suunas. Kui kiire teekonda ei takista teine objekt, siis järelikult punkt, mida tabati, oli valgustatud (vt pilt 25). Kiirte arv sõltub määratud *sample*'te ehk diskreetide arvust. Diskreet (*sample*) on analoogsignaali hetkväärtus, mis saadakse sellele signaalile lühikese diskreetimisimpulsi rakendamisel ehk signaali ja diskreetimisimpulsi korrutamisel.<sup>18</sup> Kuna sõna diskreet ei ole eesti keeles väga tuntud, siis käesolevas töös on kasutatud terminit *sample*.



Pilt 25. Otsest valgustatust iseloomustav pilt, kus valgusallikaks on ainult punktvalgustusobjekt.

<sup>&</sup>lt;sup>18</sup> "e-teatmik" (Vallaste, 2009)
## 2.4.1. Kiirtejälitus ehk Ray tracing

*Ray tracing*'ut kasutab *mental ray* valguskiirepõhine kalkulatsioon varjude arvutamiseks. Et mõista selle tööd, tuleks ette kujutada ruumi üheainsa valgusallikaga. Väikesed osakesed, mida kutsutakse footoniteks, jätavad endast maha jälje valgusest. Need footonid tabavad mõne stseenis paikneva objekti pinda nagu näiteks sein või lagi. Sõltuvalt sellest, mis materjali kasutada, footonid kas peegelduvad või neelduvad. Footonid liiguvad läbi ruumi kindlaks määratud lainepikkusel, millest tuleneb objekti pinna värvitoon. Sile pind peegeldab valguskiiri nende saabumisega sama nurga all. Seega, kui valgus jõuab pinnale teatud nurga all, siis 100% peegelduse korral lahkub ta sealt samasuguse nurga all. Sellised pinnad tekitavad nõndanimetatud täpse peegelpildi ja neid kutsutaksegi täielikeks peegelpindadeks. Kui pind objektil on krobeline, siis sinna jõudvad footonid põrkavad tagasi erinevatesse suundadesse. Antud tüüpi pindasid kutsutakse hajusateks pindadeks, sest nad tekitavad hajusat peegeldust.

*Mental ray* suudab töötada 3ds Max'i standardsete valgusobjektidega ja ka enda valgusobjektidega. Olgugi et valgusobjektidel on mitmeid valikuid varjude visualiseerimiseks, toetab *mental ray* nendest kolme: *Raytraced*-varjud, *mental ray varjukaart (mental ray shadow map)* ja tavaline varjukaart (*shadow map*). Erinevaid varje valides muutuvad ka nende seadistamise parameetrid valgusobjektidel, mida esitatakse eraldi gruppidena.

#### 2.4.2. Varjude üldised parameetrid

Peale varjutüübi parameetrite on varjudel veel paar üldist lisaparameetrit, mis kehtivad kõikide varjutüüpidele ja millega saab varjude väljanägemist muuta (vt pilt 26).

"Object Shadows" - valgusobjekti tekitatavatel varjudel saab muuta nende värvi ja tihedust. Mõlemal puhul on tegu seadetega, kus varjud väljuvad füüsikalistest piiridest, aga annavad kasutajale vabaduse seadistada varje endale sobivalt ja saavutada tulemust, mis muidu võib olla raskendatud.

- "Color" saab valida, mis värvi varje valgusobjekt tekitab. Varjude värvi muutmine ei pruugi *mental ray* visualiseerimise tulemust mõjutada. Kui ta seda siiski teeb, tuleb värviliste varjude jaoks tõsta varjude tihedus ehk "Density" piisavalt kõrgeks, et vari tooni omandaks. Rusikareeglit selle seadistamisel ei ole ja seda tuleb harilikult kontrollida katseeksitus-meetodiga.
- "Density" varjude tihedus ja tugevus. Väärtus 1,0 määrab füüsikaliselt korrektse tugevuse, varjude heledamaks tegemiseks võib väärtust vähendada kuni 0,0ni, kus varje enam pole. 3ds

Object Sh Color:	adows: Dens, 1,0 📫
🗖 Мар:	None
🔲 Light /	Affects Shadow Colo
Atmosphe	re Shadows:
∏ On	Opacity: 100,0 💲
Color	Amount: 100,0 💲

Pilt 26. Varjude üldised parameetrid Autodesk 3ds Max 2009's.

Max lubab ka negatiivset "Density" väärtust, kuid *mental ray* ei võta seda arvesse ja teisendab arvutamisel antud väärtuse ikkagi 0,0ks. Olgugi, et tiheduse väärtuse vähendamine või suurendamine pole füüsikaliselt korrektne, võib mõnikord varjude "Density't" murdosa võrra vähendades, näiteks 0,9 peale, ka globaalne valgustatuse (*global illumiation*) ja *final gather 'iga* visualiseeritud pilti reaalsemaks teha, kuigi midagi füüsikaliselt täpset selle võtte taga pole (vt pilt 27). Eriti soovitatav on seda minimaalselt teha siis, kui tegu on väga heleda keskkonnaga, kus muidu visualiseeritud varjud võivad olla liiga tumedad.

 "Map" - võimalik määrata varjude filtreerimiseks. Et varjud värve omandaksid, peab olema "Density" kõrgeks seatud. Kui kasutatav *map* ei kata ära valgustatavat ala, siis ülejäänud osa täidetakse "Color'is" määratud värviga, näiteks kui kasutatakse ümmargust koht-valgusobjekti ja Map'iks on ruudu või ristküliku kujuline pildifail.  "Light Affects Shadow Color" - valgusobjekti värv mõjutab varjude värvi. Ilma tiheduse väärtust tõstmata võib ka see seade värvilisi varje välja tuua, aga siis peab valgusobjekti värv erinema varjude omast, sest esimene värv mõjutab teist.



Pilt 27. Punakad varjud võivad väga kõrge tihedusega *final gather*'i lahenduse kaudu ka stseeni valgustada.

"Atmosphere Shadows'i" parameetrite grupp seob valgusobjekti käitumist stseenis kasutatavate atmosfääriefektidega. Autor isiklikult ei soovita *mental ray* puhul 3ds Max'i suhteliselt primitiivseid atmosfääriefekte kasutada, udu ja muu säärasega seotud lahendusi saab käsitsi paremini ning kiirema visualiseerimisajaga saavutada.

- "On" valgusobjekt võtab varjude tekitamisel arvesse atmosfääriefektid.
- "Opacity" määrab protsentuaalselt, kui suur osa atmosfääriefektist läbiliikuvast valgusest mõjutatud saab. Näiteks, kui palju "Volume Fog'i" keskkonnaefekt mõjutab valgusobjektist läbikiiratava valguse hulka. Madalam väärtus laseb läbi rohkem valgust ja sellest tekkivad varjud pole nii tumedad, 100% peatab valguse leviku täielikult (vt pilt 28).
- "Color Amount" määrab protsentuaalselt, kui palju mõjutab atmosfääriefekti värv varjude värvi. Näiteks, lastes valget valgust läbi sinise udu, tekivad sinakad varjud.



Pilt 28. Vasakul valgusobjekti ees olev keskkonna "Volume Fog" tekitamas varje parempoolsele seinale.

"Intensity/Color/Attenuation" - valgusobjekti seadete grupp, millega määratakse valguse intensiivsus, värv ning hajuvus (vt pilt 29).

- "Multiplier + Color" sealse värviga määratakse valgusobjekti värvitoon. Kuna tegu on mittefotomeetrilise valgusobjektiga, siis selle intensiivsust ja värvitemperatuuri saab määrata ükskõik milliseks. Füüsikaliselt korrektses keskkonnas muudab intensiivsuse "Multiplier" 1,0 pildi enamasti alavalgustatuks. Sellises keskkonnas on soovitatav tõsta siseruumi keskkonna valgusobjekti "Multiplier'i sada kuni kaks sada ja välises keskkonnas kuni tuhat korda kõrgemaks.
- "Decay" valguse hajuvus. Seda on mainitud illustratiivse näitega ka valgusteoorias. Saab valida hajuvuseta ning pöördvõrdelise ja ruutjuurelise kahanemisega valgusobjekti ehk reaalset valgust (vt pilt 30).

Multiplier:	1,0 🛟	
Decay-	0,55	
Type: N	one	•
Start: 0,	,005F 😂 l	Show
– Near Atter	nuation —	
- Near Atter	Start: 0	OFL \$
-Near Atter Use Show	Start: 0. End: 0.	0FL ‡
- Near Atter Use Show - Far Attenu	Start: 0. End: 0.	0FL \$
- Near Atter Use Show - Far Attenu Use	Start: 0. End: 0. ation Start: 0.	0FL \$ 005FL \$

Pilt 29. Valguse inteniivsuse, värvi ja hajuvuse määramine Autodesk 3ds Max 2009's.



Pilt 30. Vale hajuvusega valgusobjekt valgustab liigselt keskkonda.

- "Decay Start" määrab, mis distantsilt alates valguse hajuvus algab. Füüsikaliselt pärineb see alati valgusobjektist endast, hajuvuse algust võib kasutada füüsilise valguskeha hajuvuse alguspunkti määramiseks. Näiteks võib tuua valguskera, mille raadiuse saab määrata hajuvuse alguspunktiks.
- "Near and Far Attenuation" mõlemaid seadeid saab kasutada raadiuse määramiseks valgusobjekti keskmest, et arvutada selle mõju. "Near Attenuation" määrab, kust valgusobjekti nähtav mõju algab ja "Far Attenuation" seda, kus see lõpeb. "Far Attenuationit" võib alati kasutada kui visualiseerimisaja optimeerimise vahendit, mille rakendamisel ei arvutata valguskiirte levikut lõpmatult. Kasutades "Far Attenuationit" vahemaade korral, kus valgus on juba niigi nõrk, saab visualiseerimisaega kiirendada, seda eriti suurte stseenide korral (vt pilt 31).



Pilt 31. Near ja far attenuationit kasutades loodud valgusringid.

"Spotlight Parameters" - valgusobjekti seadete grupp, millega määratakse koht- ja suundvalgusobjektide valguse suund ning koridori parameetrid (vt pilt 32).

"Overshoot" visualiseerides valgusobjekti, millel kasutatakse seadet "Overshoot", tekib olukord, kus valguse ulatus on piiramatu ja valgusobjekt kiirgab kõikjale tavaline valgust nagu punktvalgusobjekt. Erinevus seisneb selles, et ülevalgustatus tekitab varje ainult valgusobjekti poolt määratud kohtvalgustuse piirkonnas.

-Light Cone			
🔲 Show C	one 🥅	Overst	hool
Hotspot/Be	eam: 4	3,0	<b>†</b>
Falloff/F	ield: 4	5,0	:
Circle	C R	lectang	le
Aspect: 1 n		litman F	it i

- Pilt 32. Koht- ja suundvalgusobjektide seaded Autodesk 3ds Max 2009's.
- "Hotspot/Beam" ia "Falloff/Field" \_ Esimene määrab piirkonna, kus valguse intensiivsus on ühtlaselt suur, teine aga piirkonna, kus see kahaneb. "Falloff/Field" on alati suurem kui "Hotspot/Beam" ja nende kahe parameetri vaheline ala vähendab valguse intensiivsust sujuvalt kuni "Falloff/Field" raadiuseni, millest väljaspool olevat ala valgus otseselt enam ei mõjuta (vt pilt 33).



Pilt 33. Kolm primaarse värviga koonusekujulist kohtvalgusobjekti.

 "Circle-Rectangle" – võimaldab määrata, millise kujuga koht- või suundvalgusobjekt valgust kiirgab. Võimalik on valida ringi- või ristkülikukujuline ala, millest viimase puhul saab määrata ristküliku külgede suhet seade "Aspect" all. "Bitmap Fit" võimaldab valida pildifaili, millest luuakse resolutsiooni suhtest sõltuvalt valguse projektsioon.

"Advanced Effects" – keerulisemate valgusseadete grupp (vt pilt 34).

- "Affect Surfaces" määrab valguse käitumise objekti pinnal. Selle "Contrast", "Soften Diff. Edge" valikud ei mõjuta mental ray visualiseerimise tulemust. "Diffuse" ja "Specular" lasevad hajuvuse ja peegelduvuse objekti pinnaseadetest maha võtta. "Ambient" valiku sisse lülitades mõjutab valgus objekti pinda vaid ümbritsevate seadete kaudu.
- "Projector Map" selle abil projekteerib valgusobjekt keskkonda pildifaili või muu *map* faili. "Projector Map'i" kõige lihtsam

<ul> <li>Affect Surfa</li> </ul>	ices:
Con	trast: 0,0 📫
Soften Diff. B	Edge: 0,0 🛔
Diffuse	e 🔽 Specula
I Ambier	nt Unly
Projector M	nt Unly ap:

kasutusvõimalus on kinoekraan, aga sellega saab luua ka näiteks pilvede varje. Suur eelis "Projector Map'i" puhul on selle lihtne seadistamine ning animeerimise võimalus (vt pilte 35 ja 36).

Pilt 34. Advanced effects Autodesk 3ds Max 2009's.



Pilt 35. "Projector map" lihtsa pildina ruumis.



Pilt 36. "Projector map'i" kasutamise ja mittekasutamise võrdlus linnamaketil. "Projector map'iks" on kasutatud *smoke map*'i ehk pilvevarje.

"Area Light Parameters" – *area light* seaded on valgusobjekti seadete all ainult siis, kui tegu on valgusobjektiga, mille valguskeha on ruumiline, nagu *mr Area Spot* ja *mr Area Omni*. "Area Light" parameetritega määratakse ära selle valgusobjekti mõõtmed ja tema varjudega seotud parameetrid (vt pilt 37).

- "On" seadistab mental ray arvestama valgusobjekti füüsilise suurusega. Üldvalgustust kasutades on see algseadena aktiveeritud, aga testides võib selle varjude kiiremaks visualiseerimiseks ajutiselt välja lülitada. Selle tulemusel visualiseeritakse varjud teravalt.
- "Show Icon in Renderer" pilti visualiseerides esitatakse valgusobjekti keskkonnas füüsilise valge objektina sõltuvalt selle liigist ja intensiivsusest. Kerakujuline valgusobjekt esitatakse näiteks kerana ning vastavalt tema eelnevalt määratud mõõtmetele.

<ul> <li>Area Light</li> <li>On</li> </ul>	raiameter	2
Show Icon Type:	i in Rendere	er
Sphere		•
<b>Radius</b> Heigh	: <b>0,0FL</b> : 0,0FL	++
Samples U: 5 😫	V:[5	1¢

Pilt 37. *Area light'i* parameetrid Autodesk 3ds Max 2009's.

- "Type" Määrab, mis liiki füüsilise valgusobjektiga on tegu. "mr Area Omni" valikute all on *Sphere* ehk kerajas ja *Cylinder* ehk silindriline, "mr Area Spot" valikute all *Disc* ehk ringjas ja *Rectangle* ehk ristküliku kujuline. *mr Area* valgusobjektide tüüpi kasutatakse pehmete *raytraced*-varjude kalkuleerimiseks.
- "Radius" ehk raadius ja Height" ehk kõrgus nende parameetritega saab määrata füüsilise valgusobjekti suuruse vastavalt selle tüübile.
- "Samples" "U" ja "V" UV sample 'te all peetakse silmas projektsiooni-sample 'id, antud juhul siis varjude sample 'id. Mida suurem on füüsiline valgusobjekt, seda udusemad on varjud ja seda rohkem on vaja UV sample 'id, et varjud selged välja näeksid (vt pilt 38). Kuid ei tohi unustada, et suurem sample 'ite hulk aeglustab visualiseerimist.



Pilt 38. Kahe sample seadete võrdlus, väheste sample'itega on varjud täpilisemad.

"Skylight Parameters" – taevakuma valgusel on teiste valgusobjektidega võrreldes väga vähe parameetreid ja seetõttu on seda tihti hea kasutada toetava valgusobjektina (vt pilt 39). Siiski võib seda kasutada ka üksiku primaarse valgusobjektina, kui sellega seotakse HDR-pilt. Olgugi, et taevakuma valgust saab kasutada ka üksinda, on tavalise LDR-pildifaili heledusulatus (256 tooni) liiga väike, et visualiseerimise tulemusse piisavalt kontrasti sisse tuua.

 "Multiplier" – taevakuma valgusobjekti intensiivsuse kordaja; suuremad väärtused tõstavad intensiivsust, väiksemad vähendavad. HDR-piltide juures on füüsikaliselt korrektse keskkonna kasutamisel soovitatav jätta väärtus 1,0'iks ning selle asemel muuta HDR-map'i seadeid "Material Editorist".

\$
t
-



 "Use Scene Environment" – sellega saab sisse lülitada, et taevakuma valgus kasutaks valgustamiseks stseeni enda keskkonna *map*'i ehk "Environment Map'i", mida saab muuta "Rendering" -> "Environment" menüüst. See on kasulik eriti näiteks HDR-piltide puhul, kus selle tulemusel visualiseeritakse ka tulemi taust sama *map'*iga. Kui kasutada taevakuma juures stseeni keskkonna *map'*i, tuleks see ka täpselt seadistada.

"Sky Color ja Map" - kui ei kasutata stseeni enda keskkonda, siis saab taevakuma valguse värvi ise määrata või selleks lihtsalt *map*'i kasutada. Ka siin on oluline täpne seadistus.

"Skylight'i" ehk taevakuma kasutamine stseeni valgustamisel - nagu alguses kirjeldatud, valgustab taevakuma stseeni selle ümbert just kui sissepoole suunatud valguskera (vt pilt 40). Sellele kerale saab määrata valguskiirguse intensiivsuse ja värvi. Sellele saab lisada ka *map*'i nagu igale tavalisele füüsilisele kerale stseenis, aga kuna taevakuma pole füüsiline objekt, siis sellele määratud *map'i* ei saa UVW koordinaatidega paika panna ja selle asemel peab kasutama *environmental mapping*'ut. Seda saab teha, muutes pildifaili *map*'i "Material Editoris" ja määrates *texture mapping*'u asemel *environmental mapping*'u.



Pilt 40. Illustratsioon taevakuma valguse põhimõttest.

Pildifaili valimiseks taevakumale tuleb selle seadete alt vajutada *map*'i lisamise nupule ja siis valida *map*'i valikutest "Bitmap". Taevakuma kasutamine lubab ka teisi 3ds Max'is olevaid *map*'e, nagu näiteks "Noise map", millega on võimalik video pealt stseeni valgustust animeerida. See kehtib ka muude *map*'is olevate parameetrite kohta ning teeb taevakuma kasutamisvõimalused vähemalt sama mitmekülgseks kui iga teise valgusobjekti omad.

"Bitmap'i" sisestades tuleb valida pildifail arvutist. Pärast selle määramist tuleks see tõsta "Material Editor'i" sünkroniseeritud koopia ehk "Instance'ina". See tähendab, et ühel "Bitmap'il" tehtud muudatused tehakse automaatselt ka teisel. Määratud pildifailiks võib olla mistahes pilt, aga soovitatav on selleks kasutada täispanoraampilti. Kõige parem oleks, kui kasutataks HDR-pilti.

# 2.4.3. Varjud Raytraced meetodiga

Kuigi *mental ray* saab luua pehmeid varjusid, kasutades selleks ükskõik millist varjutüüpi, on kõige täpsem, millest tulenevalt on see ka kõige aeganõudvam, varjuliik *raytraced*. *Raytraced shadows* tõlgituna eesti keelde oleks: kiirtejälituse meetodi abil saadud varjud, kuid kuna see tõlge ei ole kõige selgem, siis käesolevas töös on jäädud sõna *raytraced*-varjud juurde.

*Raytrace*d-varjud töötavad, heites kiiri kõikjale stseeni ja kontrollides, kas kiir lõikub mõne stseenis asetseva objektiga. Kui jah, siis antud kiir kõrvaldatakse ja tekib vari. Iga piksli kohta saadetakse sõltuvalt diskreedi suurusest ehk *sampel'ite* arvust välja mitu kiirt ja lõpptulemus interpoleeritakse pikslite vahel. Läbipaistmatud objektid tekitavad täisvarje, läbipaistvad aga ebaühtlaseid ja värvilisi, sõltuvalt sellest, palju valgust läbi materjali liigub. Kasutades kohtvalgustust, on sõltuvalt objekti asetusest võimalik, et osa valgust ei ole näha. Lõplikus

kujutises tuleb valguse intensiivsuse erinevus nähtavale tõetruu, häguse ja pehmeservaliste varjuna. Ühegi objekti taga pole valgust, vaid konkreetsed tumedad varjud. See tuleneb sellest, et kaudset valgust ei kasutata. *Raytrace*'i kasutamine annab alati detailsed varjud, sõltumata resolutsioonist, kuna selle suurenedes kasvavad ka *raytrace*'i *sampel*'ite arv ja varju detailsus (vt pilte 41 ja 42).

Kirjeldatud põhimõte selgitab, miks füüsilist kuju omavad valgusobjektid nagu valguskera tekitavad uduseid varje. Uduse varju äärest saadetud kontrollkiir tabab kindlat punkti valgusobjekti pinnal. Mida suurem on valgusobjekti kiirgav pind, seda rohkem on ka vaja pikslikoordinaadile ehk ühele pikslile varju tekitavad *sampel'eid* ehk. Vastasel juhul võivad pehmed varjud olla liiga täpilised ehk aladiskreeditud (*undersampled*), sest kogu valgusobjekti pinna ulatuses ei saa *sampel'eid* 

+	N	ame ar	nd Colo	ſ
2	Ge	neral P	aramete	ers
~	On	Targ.	Dist:	0,0FL
-Sh	adow	s		
	OnΓ	Use	Global	Setting
Ra	ay Tra	ced Sh	adows	-
			Exc	lude
+  ı +	ntensi Spo	ty/Colo htlight P	r/Atten aramet	uation ers
+	Ac	lvance	d Effec	ts
+	Sha	adow P	arameti	ers
-R	ay Tra	iced Sh	adow F	arams
1993	ay Bia:	s: 0,2	-	
Ra		and the second se	the second se	
Ra	2 Sic	ded Sha	adows	



kontrollida ja nende informatsiooni interpoleerida.

"Ray Bias'e" ja "Max Quadree Depth'i" parameetritel pole *mental ray'ga* visualiseerimisel valgusobjekti seadetes mingit tähtsust, need ei mõjuta visualiseerimisaega ega varjude kvaliteeti. *Mental ray* tõstab kogu oma *raytraced*-kalkulatsioonid näiteks 3ds Max'i puhul kasutaja seadetekogumiku alla, mille juurde pääseb "Rendering" -> "Render" -> "Renderer'i" menüüst "Rendering Algorithms'i" osast.



Pilt 42. Raytraced-valgusobjekti ja varjude lahendus.

#### 2.4.4. Varjukaart ehk shadow map

Alternatiiv *raytraced*-varjudele on varjukaart (*shadow map*). Varjukaardi varjud, sõltumata valgusobjektist, arvutatakse alati välja ühe valguspunkti kaudu. Kuna varjukaart (*shadow map*) sisaldab ainult ühe *map'i* arvutamist, siis saab seda teha ainult ühest punktist. See tähendab, et pindvalgusobjekte nagu *mr Area Spot* ja *mr Area Omni* visualiseerivad varje samamoodi, nagu tavalised *Omni* ja *Spot* seda teeks - teravalt. Lisaks ei ole tavalise varjukaardiga (*shadow map*) läbipaistvatel objektidel võimalik varje korrektselt visualiseerida ja nad tekivad, nagu oleks tegu mitte-läbipaistva objektiga.

Varjukaart (*shadow map*) on ebatäpsem, kuid tema eelis on visualiseerimise kiirus ja seda eriti detailsemate stseenide puhul. Varjukaardi (*shadow map*) loomiseks kalkuleeritakse vari *map'ides* mustvalge tekstuuri-*map* pinnale ja kontrollitakse, kas valgusobjekti suunast on

varjukaardi (*shadow map*) peal olevat tekstuuripikslit näha. Antud kaardist tulenevad kiired ja arvutatakse kaugus igast objektist. Tulemus talletatakse kaardile, mis on loodud tarkvara poolt enne visualiseerima asumist. Läbipaistvad objektid ei tekita vaikimisi läbipaistvaid varje, aga *mental ray* suudab seda teha. On võimalik isegi värviinformatsiooni sisaldav läbipaistvus, kui kasutatakse sobivaid varjutajaid (*shaders*).

Varjukaardi (shadow map) ja raytraced-varjude põhimõte on väga sarnane. Erinevus tuleb sellest, et raytraced-varjud arvutatakse välja kaamera pikslite koordinaatidelt väljasaadetud sampel'ite kontrollimisega. See tähendab, et sampel'ite arv ja pildi resolutsioon mõjutavad otseselt raytracedvarjude visualiseerimisaega. Varjukaart (shadow map) on aga alati määratud resolutsiooniga ja kuna selle piksel võib hõlmata tavalisest raytraced-varju sampel'ist mitu korda suuremat ala, siis võimaldab see varjude visualiseerimist palju kiiremini.



Pilt 43. *Shadow map'i* parameetrid Autodesk 3ds Max 2009's.

Varjukaardi (shadow map) parameetrid on järgmised (vt pilt 43):

"*Bias*" ehk kõrvalekalle – määrab ära, kui kaugetel objektidel varjukaardi (*shadow map*) varje visualiseerima hakatakse. Sellest tuleneb ka objekti kaugus varju saavast pinnast. Antud parameetriga saab lähemate objektide varje eemaldada ja parandada probleeme, kus vari tekib varjukaardi (*shadow map*) kasutamisel valesse kohta (vt pilt 44).

"Size" – varjukaardi (*shadow map*) suurus. Mida väiksem varjukaart (*shadow map*) on, seda vähem kasutatakse visualiseerimiseks mälu ning kontrollitakse valgusobjekti ja kaardi (*map*) nähtavust. Kuid seda väiksema detailsusega ja sakilisem on ka vari visualiseerimise tulemil. Madalama resolutsiooniga kaart (*map*) sakilisust võib vähendada, tõstes *map'i* udusust (*density*) "Sample Range'i" seadega.



Pilt 44. Vasakpoolsel pildil esinevad objektide äärtes varjukaardi (*shadow map*) tõttu varjusakid, kuna "Bias" on liiga madal. Parempoolsel pildil "Bias" seadet tõstes probleemi enam pole.

"Sample Range" - Määrab varjukaardi (*shadow map*) hajutatuse (*diffuse*) ulatuse. Madalamad väärtused toovad rohkem välja varjukaardi (*shadow map*) pikseldatud sakid ja resolutsiooni, kõrgemad väärtused aga hajutavad varju paremini. Kui kasutada madalat varjukaardi (*shadow map*) suurust ning kõrget *sampel'i* ehk diskreetimise ulatust, saab kiireid ja efektseid pehmeid

varje (vt pilt 45). Varjukaardiga (*shadow map*) tehtud pehmet varjude omadused säilivad kogu mõjutatava ala ulatuses, sõltumata kaugusest objekti ja varju aluse pinna vahel.



Pilt 45. Näide hajutatud varjudest.

"Absolute Map Bias" - määrab varjukaardi (*shadow map*) varjude kõrvalekalde vahemiku tulenemise stseeni skaala ja mõõtühikute poolt. Ilma "Absolute Map Bias" seadeta võtab varjukaardi (*shadow map*) arvutus arvesse stseeni enda suurust ja taandab selle kõige optimaalsema väärtuse üheni. See on soovitatav peale panna, kui tahetakse määrata "Bias'i" ehk kõrvalekalde distantsi väärtust õigete mõõtühikute järgi, kus 1,0 väärtus vastab stseeni 1,0 mõõtühikule.

"2 Sided Shadows" - võimaldab visualiseerida varjukaardi (*shadow map*) sõltumata sellest, kuidas asetsevad objekti tahud (*polygons*) ja nende normaalvektorid ning kummalt poolt neid nähakse. Ilma selle seadeta tekitaks varje ainult objekti tahkude (*polygon*) nähtav pool. Soovitatav kasutada, kui füüsiliselt on objekti tahkudel ainult üks külg, aga materjalis on ette nähtud mõlema külje visualiseerimine.

#### 2.4.5. Mental ray varjukaart

*Mental ray* varjukaardi ehk *shadow map'i* parameetrid on paljuski sarnased 3ds Max'i enda varjukaardi (*shadow map*) parameetritele, on vaid paar väikest erinevust. Selle eest *mental ray* varukaardi kasutamine säästab tohutult aega visualiseerimisel, eriti veel pehmete varjude saamisel ilma pinnavarjudeta (*area shadows*). Seetõttu soovitab ka töö autor *mental ray* korral kindlasti antud varjutüüpi kasutada.

*Mental ray* varjukaardi (*mental ray shadow map*) seaded on järgmised (vt pilt 46):

- "Sample Range" ja "Samples" tavaline varjukaart (*shadow map*) ei võimaldanud selle hajutamisel *sample'ite* arvu suurendada, see võis jätta rohkem hajutatud (*diffused*) varjud veidi täpiliseks. Varjukaardi (*shadow map*) kalkulatsioonis *sample'i* väärtust tõstes saab hajutatud (diffused) varjud puhtamaks muuta, aga varjude visualiseerimine mõjub sellisel juhul visualiseerimisajale veidi rohkem.
- "Enable Transparent Shadows" lubab varjude arvutamisel läbipaistvaid varje ning seetõttu toetab ka läbipaistvaid objekte. Varjukaardi (shadow map) varju algoritm ei mõjuta ainult läbipaistvaid objekte. Detailse varjukaardi *map*) puhul saavutatakse (shadow lõplik visualiseeritav varjukaart (shadow map) selle mitmekihilise arvutamisel. See võimaldab arvesse võtta stseeni väiksemaid detaile, mida tavaline varjukaart (shadow map) ignoreeriks või esitaks lohakalt (vt pilt 47 ja 48). Detailset varjukaarti (shadow map) võib kasutada nii



Pilt 46. *Mental ray shadow map'i* parameetrid Autodesk 3ds Max 2009's.

läbipaistvate objektide varjude visualiseerimisel kui ka korrektsemate varjude saamiseks varjukaardi (*shadow map*) meetodil väga väikeste või peenete objektide korral, näiteks juuksed.

"Color" - läbipaistva objekti materjali värv mõjutab varju värvi kui kasutatakse "Enable Transparent Shadows'i" seadet.



Pilt 47. Vasakpoolne pilt on ilma "Transparent shadows" seadeta, parempoolsel on seda kasutatud. Varjutekitavad objektid ei ole ise läbipaistvad.

"Merge Distance" - määrab raadiusega valgusobjektist ala, mille sees varje varjukaardile (*shadow map*) ei visualiseerita. Seda võib kasutada näiteks valgusobjektile väga lähedaste esemete varjude kõrvaldamiseks, mis vastasel juhul suure osa ülejäänud stseenist liiga ära varjutavad.

"Samples per Pixel" - sarnaselt tavalise varjude hajutamise (*diffuse*) samples 'i seadetele saab ka detailsete varjude korral kasutada sample'ite arvu. Mida rohkem "Samp./Pixel'is" piksleid kasutatakse, seda puhtam on detailse varjukaardi (*shadow map*) varjude tulemus. Seda kõike aga visualiseerimisaja arvelt.



Pilt 48. Mental ray varjukaart (*shadow map*) visualiseerib punakat tooni varju läbi punast tooni klaasi, kui kasutatakse "Transparent Shadows" seadeid.

#### 2.5. Kaudne valgustatus ehk indirect illumination

*Mental ray*'s on peegeldunud ehk hajus valgus lisatud stseeni läbi valguskiirte peegelduste. See tähendab, et valguskiir ei peatu pärast pinna tabamist, vaid peegeldub edasi vastavalt materjali parameetritele. Tegelikus maailmas peegeldub valgus pinnalt tagasi ja valgustab korduvalt teisi pindu kuni täieliku neeldumiseni.

Kaudse valgustatuse (indirect illumination) loomiseks *mental ray'ga* on kaks põhilist võimalust ja kolmas, mis on vähem kasutatav. Esimene neist on *final gather* ja teine on footonkaardi tehnika, mis käib koos globaalse valgustatusega (*global illumination*). Mõlemad tehnikad on füüsikaliselt korrektsed ja põhinevad samadel alustel olevatest algoritmidest, kuid *final gather* kipub footonkaardi tehnikat ületama nii soorituse kui ka kvaliteedi osas. Mõlemal meetodil on omad head küljed. Kõige tähtsam erinevus seisneb selles, et *final gather* saadab kaudse valguse läbi kaamera *sample*'ite. Samas suunab globaalne valgustatus (*global illumination*) footonid valgusallikast stseeni, säilitab neid pindade peal ja näitab lõpuks läbi kaamera. Kolmas tehnika, mida *mental ray* kaudse valgustuse efekti loomiseks kasutada saab, on *ambient occlusion* ehk üldine varjustatus, mis ei ole aga füüsikaliselt korrektne.

### 2.5.1. Üldine varjustatus ehk ambient occlusion

Kuigi üldise varjustatuse (*ambient occlusion*) tehnika ei ole fotomeetriline ega füüsikaliselt korrektne ning ei kasuta keerulisi valgusseadeid, saab sellega luua tõetruid pilte. Antud tehnika loob halltoon kaardi, mis toetub sellele, kui palju keskkonda saab pinna igalt geomeetrilisest punktist näha. Mustvalge kaart näitab lihtsustatuna igalt poolt tulevat selle valguse hulka, millel on võimalus objekti tahu (*polygon*) pinnale jõuda.

Üldise varjustatuse (*ambient occlusion*) teooria tähendab lahtiseletatuna kõikjalt tulevat alalist valgust, mis ei tule otse valgusobjektilt. Selleks on näiteks taevakuma ehk looduslik valgus. Seega saab pind teatud koguse valgust, kuid see kogus ei ole püsiv. See sõltub sellest, kui suurel osal pinnast on valguse ligipääs takistatud. Üldise varjustatuse (*ambient occlusion*) tööpõhimõte seisneb selles, et varjutatava punkti kohal paiknevast alast võetakse näidis, leidmaks varju tekitavat kujundit. Selle leidmisel teisendatakse varjutuse osakaal otseselt varjutusteguriks. Teisisõnu arvutab üldine varjustatus (*ambient occlusion*) tahu (*polygon*) valgustuse vastavalt teiste tahkude ja objektide kaugusele. Kui tahu ääre lähedal neid pole, on tahk hele. Kohas, kus kaks objekti nurga all kokku puutuvad, on tahk tumedam. Üldine varjustatus (*ambient occlusion*) simuleerimiseks (vt pilt 49).

Objektide varjutusel on mitu kasutusvõimalust. Üheks nende seas, mis on üldine varjustatus (*ambient occlusion*), varjutajat (*shader*) kasutatakse üldvalguse jagunemise reguleerimiseks. Teine võimalus on kaalutletud (*reflective*) varjutus, kus varjutajat (*shader*) on kasutatud jagunemise reguleerimiseks peegeldunud kaardil (*reflection map*). Kolmas võimalus on luua failid välispidiselt, kus varjutatud pildifilter ehk varjutaja (*shader*) on suunatud igale stseeni materjalile. Väljundit saab kasutada teiste visualiseerimiste tulemite vanamoodsaks moduleerimiseks, et arhiveerida sobiv järeltöötluse kokkupanek kas läbi visualiseerimisfiltrite või mõnda pilditöötlusprogrammi kasutades.



Pilt 49. Näide üldisest varjustatusest ehk ambient occlusion'st, kus on näha, et erinevate objektide lähedusse tekib tumedam vari (seinad, põrand ja kuul üksteise suhtes).

#### 2.5.2. Footonite liikumine

Mental ray suudab footonkaardi tehnikat kasutades luua ka kaudset valgustust. Valgusallika eraldatud kiiri saab arvesse võtta kui väikeseid osakesi, mida nimetatakse footoniteks. Neid footoneid saab jälitada stseeni sees nagu seda teeb mental ray algoritmgi. Lihtsustatuna saab valguskiirte iga footoni liikumist vaadelda pika joonena. Mental ray sees olev footon on tegeliku footoni simulatsioon. Footonid võivad olla peegeldunud peegelpindadelt, hajutatud hajuspindadelt või murdunud läbi klaasi. Mental ray footonid esindavad päriselu footoneid lihtsustatud kujul. See kehtib kõigi pindade kohta, nii peegeldustega erinevatelt metallidelt kui ka läbi klaasi.

Iga valgus kannab endas energiat, mis jaotab arvuliselt ära valgusfootonite kiirgamise tiheduse. Kui footon alustab stseenis oma teekonda, on tal nii energia kui ka värvus, mis vastab valguse värvusele. Värvus ja energia muutuvad, kui footon põrkub mõne värviga pinna vastu või mõjutab teda mõni teine objekti omadus. Kui see protsess lõpeb, on footon lahkunud koos teatud hulga

energia ja värvusega, ning teda saab täielikult eristada oma olekust teekonna alguses (vt pilt 50).

Footoneid kasutatakse vaid kaudses, mitte otseses valgustatuses. Ei ole vähimatki vajadust footoneid otseses valgustatuses kasutada, kuni saab kontrollida, et antud punkt objekti pinnal on valgusallikale nähtav. Igatahes, kui footonid on kiiratud ja tabavad pinnal valgusele nähtavat punkti, siis seda ei võeta sisemisel kalkulatsioonil arvesse. See tähendab, et üles esimest põrget ei märgita ja kalkulatsioonid algavad alates teisest põrkest, kus footon mõjutab järgmisel puutuval pinnal lõplikku tulemust. Nimelt on pärast esimest põrget footon üks osa Pilt 50. Näide footonitest, kus on iga footon kannab mingit stseeni põrganud hajusast valgusest.



valgusinformatsiooni.

Kokkuvõtlikult näeb käesolev protsess välja järgmine: footon on saadetud stseeni ja ta kas tabab või mitte oma teel mõnda pinda. Kui ta seda teeb, vaatab *mental ray* tabamuse saanud pinda ja küsib pinna varjutajat (*shader*), mis footoniga edasi juhtub. Kui objekt on peegel, siis footon ei muutu ja põrkub otse tagasi stseeni. Kui pind on näiteks säravsinine, siis osa energiast sumbub ning footoni värv muutub siniseks.

Footonid ise ei ole nähtavad, kuid nende trajektoor on. Kaudse valgustusega töötades, järgneb *mental ray* visualiseerimine valgusallika poolt edastatud footonitele. Footonite peegeldumist ja murdumist objektidel jälgitakse läbi kogu stseeni, kuni nad põrkavad hajuspinnale. Footon jätab sinna jälje, mis iseloomustab tema panust kaudsesse valgustusse. Siinkohal on jälg talletatud footonkaarti, mis on tarkvara poolt kasutatava kolmemõõtmelise andmestruktuuri tüüp. Footonkaardi looming võib olla aega nõudev sõltuvalt stseenis kasutatavate footonite arvust.

Visualiseerimisprotsessi lõppedes on footonkaart oma ülesande täitnud. Pärast seda arvutatakse footonite keskmine tihedus vastavalt kasutaja poolt määratud ühtlustamise ulatusele footonkaardi. Footonkaardi tehnika puudus on aja kui ka arvuti mälu suur nõudlus. *Final gather*'i tehnika on tõenäoliselt parem valik, sest see annab vaikimisi footonkaardistuses rohkem detaile, vajamata seejuures pikka visualiseerimisaega.

Programmisiseselt on footonid jagatud globaalse valgustatuse (*global illumination*) ja *caustic*efektide vahel. See tagab võimaluse visualiseerida kahte efekti individuaalselt. *Caustic*-efektid on tavaliselt teravad ja järsud, globaalse valgustatuse (*global illumination*) omad aga ideaalis võimalikult siledad. Nõnda vajavad mõlemad erinevat arvutusraadiust, sõltuvalt sellest, millisele keskmisele footonile parajasti toetutakse.

#### 2.5.3. Globaalne valgustatus ehk global illumination

Globaalne valgustatus on *mental ray* esmane kaudse valgustatuse (*indirect illumination*) arvutamise vahend. See on universaalne termin kirjeldamaks stseeni, kus kõik valguse aspektide põrked, peegeldused ja murdumised on arvesse võetud. Globaalse valgustatuse (global illumination) algoritmiks võibki pidada visualiseerimise algoritmi, mis arvutab valguse teekonna läbi kõiksuguste objektide pindade. Selle arvutamine on väga keeruline ja aeganõudev, mistõttu on see efekt vaikimisi välja lülitatud. Kuna valguse lõpmatu peegeldada laskmine muudaks visualiseerimise ebaefektiivseks, lubab *mental ray* kasutajal määrata peegelduste arvu.

Globaalne valgustatuse (*global illumination*) tööpõhimõtet saab kirjeldada järgmiselt: igast punktist mida *direct illuminationi* käigus valgustati, saadetakse edasi stseeni määratud arv footoneid. Need footonid võivad omakorda järgmisi objekte tabada ja põrgata. Footonid kannavad edasi värvi vastavalt objekti materjalile mida tabatakse. Näiteks punast palli tabades saadetakse edasi punase värviga footonid. Iga tabamise korral jätab footon maha *sample*'i mida kasutatakse tabatud punkti lõpliku värvi arvutamisel. Erinevad *sample*'d sulandatakse üksteisega kokku, vastavalt globaalsele valgustatuse (*global illumination*) seadistustele. Tasub teada, et globaalse valgustatuse (*global illumination*) footonid peegelduvad iga nurga alt ja igas suunas. Neid kasutatakse kui materjalil on "Diffuse" väärtus üle 0'i.

Ruumi lõplik valgustatus sisaldab kombinatsiooni neist kahte tüüpi peegeldustest. Tulemus sünnib miljonite valgusallikate poolt kiiratud footonitest, erinevat tüüpi materjalidest ning pindade paiknemisest ruumis. Iga pinna puhul saab kasutada otsest valgustatust, kus footonid tulevad vahetult valgusallikast ja kaudset valgustust, kus footonid on juba eelnevalt ruumi sees põrkunud. Lõpuks jõuab suur hulk footoneid vaataja silma, tema põrkest ja värviretseptorid aktiveeruvad ja aju muudab saabunud sõnumi lõplikuks pildiks.

Kontseptuaalselt rääkides on arvutigraafikas inimsilma võrkkest ja värviretseptorid asendatud pikslitega ekraanil, üritades arhiveerida tegelikkusele võimaikult lähedase tulemuse. Kasutades *photon map'i* ehk footonkaardi tehnikat, võib muuhulgas saada globaalse valgustatuse (*global illumination*). Lühidalt öeldes tuleb *mental ray'le* teatada, milline valgusallikas tekitab globaalse valgustatuse (*global illumination*) ja ka seda, millised stseenis paiknevad objektid on võimelised seda tüüpi valgust looma ja vastu võtma.

"Mental ray Indirect Illumination" – see on menüü, mida saab kasutada vastavate parameetrite sisselülitamisel. Autodesk 3ds Max'is saab seda teha menüü "Rendering" -> "Renderer" -> "Indirect Illuminaton'i" alt (vt pilt 51).

"Automatically Calculate Energy and Photons" *mental ray* arvutab kõik parameetrid automaatselt või kasutatakse visualiseerimiseks üldiseid seadistatud parameetreid. Harilikult võivad valgusobjektid jääda automaatse seade peale, kui aga visualiseerimise kiirus on tähtis, on kasulik iga valgusobjekt käsitsi seadistada. Automaatsel seadel on kasutaja käsutuses ainult globaalsetest muutujatest kordajad "Global Multipliers'i" all.

"Global Multipliers" - siinseid parameetreid kasutatakse täiendavalt üldiste visualiseerija määratud parameetrite muutmiseks. "Energy" tähistab valgusobjekti energiat valguslahendustel ja väärtused üle või alla 1,0'i muudavad valgusobjekti füüsikaliselt

✓ Automaticall Energy and Global Multiplie	y Calculate Photons rs	
Energy:	1,0	-
Caustic Photons	: 1,0	=
GI Photons:	1,0	1
- Manual Setting	s <del></del>	
🗖 On		]
Energy:	50000,0	-
Decay:	2,0	:
Caustic Photons	: 10000	-
GI Photons:	10000	-

Pilt 51. *mental ray* kaudse valgustatuse seaded Autodesk 3ds Max 2009's

ebatäpsemaks. *Caustic* ja *GI Photons* visualiseerija seaded korrutatakse siin kasutaja poolt määratud parameetriga läbi ning seetõttu võib sellel valgusobjektil olla teatud arv korda rohkem *GI* või *caustics*'i footoneid.

"Manual Settings" – 3ds Max'is käsitsi määratud parameetriteks *mental ray* valgustuslahenduses puudutavad valgusobjekti järgnevad seaded:

- "On" määrab, et valgusobjekt tekitab globaalse valgustatuse (*global illumination*) ja *caustics*'i footoneid.
- "Color" valguse värvitoon.
- "Energy" footonite energia väärtus, millest suuremad väärtused annavad footonitele rohkem energiat, mistõttu globaalse valgustatus (*global illumination*) ja *caustics*'i lahendused on sellel valgusobjektil heledamad ja erksamad kui teistel. Väiksemate väärtustega on asi vastupidi.
- "Decay" globaalse valgustatuse (global illumination) ja caustics'i footonite hajuvus. Hajuvus 2,0 vastab inverse square'i hajuvusele ja on füüsikaliselt täpne hajuvuse väärtus (vt pilt 52).
- "Caustic Photons" valgusobjekti tekitatud *caustics*'i footonite koguarv.
- "GI Photons" valgusobjekti tekitatud globaalse valgustatuse (*global illumination*) footonite koguarv.

Parameetrid, mida ei käsitletud, ei mõjuta *mental ray* visualiseerimist või ei puuduta otseselt valgusobjekti visualiseerimist.



Pilt 52. Global illumination footonid, mille hajuvust on näidisena järgult tõstetud. Kohad, kus footonid on tihedamalt on ka valgus heledam.

#### 2.5.4. Kaustilised footonid

Kaustilisi footoneid teatakse inglise keeles sõnade *caustic photon* nimega. Kuna aga eesti keelne tähendus kaustiline ehk sööbiv ei ole piisavalt hea kirjeldus antud mõistele, siis käesolevas tööd jäädakse inglisekeelse vaste juurde. *Caustic*-footonid tekivad, kui valgus läbib läbipaistvaid ja peegelduvaid materjale, nagu klaasi või vett ning tugineb peegelduse ja murdumise seadetel. Hea näide sellest on valguse peegeldus ujumisbasseini seinal või teatud tüüpi valguse peegeldus laual asetseval veiniklaasil. Sellise valgusefekti loomiseks on vaja spetsiaalset kalkulatsiooni meetodit. *Mental ray* kasutab footonkaardi (*photon mapping*) tehnikat, kuna *ray tracing* ei ole piisavalt täpne ja rida-realt (*scanline*) visualiseerimine pole võimeline antud efekti üldse looma. Töös *caustic*-footonitega on vaja *mental ray*'le teatada, milline valgusobjekt on *caustic*-efekti loonud ja milline stseeni objekt on võimeline *caustic*-footoneid looma või vastu võtma. Pärast seda arvutab *mental ray caustic*-footonid automaatselt.

*Caustic*-footonite tööpõhimõte on järgmine: kui visualiseerimisel kasutatakse *caustic*-footoneid ja need tabab objekti, mis on läbipaistva või peegelduva materjaliga, siis vastavalt materjali parameetritele saadetakse edasi footonid selles suunas, mis on arvutatud läbi materjali peegeldumise väärtuse ("Reflectivity"). Pindade puhul, kus on see üle 0'i ehk esineb vähimgi peegeldus, arvutatakse footoni suund võttes arvesse läikeväärtus ("Glossiness"). Peegeldumisnurk on sama, mis langemisnurk olukorras, kus läikeväärtus on 1,0. Kõigi järgnevate *caustic*-footonite puudete korral objektipinnaga sulandatakse erinevad *sample*'id üksteisega kokku vastavalt globaalse valgustatuse (*global illumination*) seadistustele.

#### 2.5.5. Kaudse valgustatuse seadistused

Lisaks tavalisele valgusele on 3ds Max'is võimalik paika panna rohkelt seadeid kontrollimaks *caustic*'te, globaalse valgustatuse (*global illumination*) tööd (vt pilt 53).

Caustic'ute ja globaalse valgustatuse (global illumination) puhul määrab väärtus "Maximum Number of Photons per Sample" ehk maksimaalne footonite arvu sample'i kohta), kuidas caustics-footoneid kokku segatakse. Kõrgem väärtus toob kaasa rohkem segunemist ja pehmemad piirjooned.

Väärtus "Maximum Sampling Radius" ehk maksimaalne *sample* raadius määrab iga footoni suuruse. Väärtus seadistatakse automaatselt sõltuvalt stseeni mõõtmetest. Samas saab käsitsi raadiuse väärtust aktiveerida ja uut väärtust sisestada.

"Volumes'i" seadeid kasutavad täitematerjalide varjutajad footoni suuruse määramiseks.

"Trace Depth'i" seaded määravad aga footoni suurima võimaliku peegelduste ja paindumiste arvu, mida tal lubatakse maksimaalselt stseenis teha.

"Photon Map" menüü on keeruliste stseenide jaoks, kus footonite arvutamine visualiseerimisel võtab kaua aega, kuid kui see on tehtud, saab arvutust salvestada ja vajadusel uuesti laadida. Nende failid salvestatakse PMAP-laiendiga faili.

🜀 Render Scene: mental ray Renderer 💦 🔲 🔀					
Common Renderer					
Indirect Illumination Processing Render Elements					
í 🕂 Final Gather j					
Caustics and Global Illumination (GI)					
I✓ Enable     Multiplier:     1,0       Maximum Num. Photons per Sample:     100       Maximum Sampling Radius:     1,0       Filter:     Box     ✓       Filter:     Box     ✓       Filter:     Box     ✓					
Global Illumination (GI)					
🔽 Enable Multiplier: 1,0 💲					
Maximum Num. Photons per Sample: 500 Maximum Sampling Radius: 1.0 Merge Nearby Photons (saves memory): 0.0 Doptimize for Final Gather (Slower GI)					
Volumes					
Maximum Num. Photons per Sample: 100 🔹					
Photon Map					
Read/Write File					
Trace Depth					
Max. Depth: 5 + Max. Reflections: 5 + Max. Refractions: 5 +					
Light Properties					
Average Caustic Photons per Light:       10000       \$         Average GI Photons per Light:       10000       \$         Decay:       2,0       \$					
Geometry Properties					
All Objects Generate & Receive GI and Caustics					
Production     Preset:     ActiveShade     Viewport:     Front     E					

Pilt 53. Caustic'site ja globaalse valgustatuse seaded Autodesk 3ds Max 2009's.

#### 2.6. Final gather

*Final gather* on valguse hajustatuse protsess, millele töö autor ühtegi sobivat eesti keelset vastet ei leidnud. Sellest tingituna on terve töö lõikes kasutatud seda mõistet inglise keelsena kaldkirjas. Final gather saadab kiired stseeni suhteliselt sarnaselt ray tracing'ule, footonid tulevad valgusallikast või kiired kaamerast. Siiski on üks fundamentaalne erinevus: final gather'is kasutatud kiired ei pärine valgusallikast või kaamerast, vaid geomeetriast enesest. Final gather'i tehnika saadab kiiri ümbritsevasse keskkonda, et selle kohta informatsiooni koguda. Tabades punkti stseenis, võtab ta nendelt kiirtelt kogu informatsiooni, sealhulgas valguse värvi, ja arvutab, palju valgust jõuab punkti, millest *final gather* lähtus. Lisaks sellele võetakse teave antud punktide kõrval asetsevatelt punktidelt, kus korratakse sama protsessi ning lõpuks arvutatakse keskmine. Näiteks kui kiired tabavad teisi objekte ja *final gather* tagastab nende kiirte poolt tabatud valguse väärtused esialgsesse punkti, mille tulemusel siis arvutatakse täpsem punkti valgustatus. Vastavalt final gather'i määratud põrgete seadele, võib iga final gather kiir teisi objekte tabades samamoodi teele saata uued kiired ja arvutada ka korrigeeritud sample väärtuse selles punktis (vt pilt 54). Sarnaselt globaalsele valgustatusele (global illumination), sulandatakse final gather sample'd üksteisega kokku. Nii final gather kui ka globaalse valgustatus (global illumination) vajavad siiski direct illumination varje. Varjudeta stseenis valgustatakse globaalse valgustatusega (global illumination) ka punktid stseenis kus reaalselt esinevad varjud. Ehk siis globaalse valgustatus (global illumination) ega final gather ei suuda varje ise genereerida.

Võrreldes *ray tracing*'uga, mis otsis valgusobjekte, saadetakse *final gather* stseeni peale globaalse valgustatuse (*global illumanation*) ja *caustic*'site kalkulatsioone ning võetakse arvesse juba valgustatud stseeni. *Final gather'it* saab kasutada ilma globaalse valgustatuseta (*global illumination*), et luua stseen kaudse valgustuse abil. Siiski on soovitav neid koos kasutada igas olukorras, kus stseenis on domineerivaid peegeldavaid või läbipaistvaid objekte. *Final gather* meetod ei suuda arvesse võtta selliseid objekte, kuna ta võtab arvesse objekti värvi mis tagastatakse. Objekti värv on aga juba eelnevalt välja arvutatud ja *final gather* seda uuesti ei tee. *Final gather* samas võimaldab välja arvutada kunstlikku valgust mis tekitatud objektide poolt mis pole valgusobjektid. Globaalse valgustatuse (*global illumination*) arvutus on otseselt sõltuv valgusobjektidest, *final gather* aga objekti värvi väärtusest. Kui objekt on ise valgustatud (*self-illuminated*), siis *final gather* saab sealt samamoodi heleda värvi ja suudab sellega valgustada lähedalseisvaid objekte.



Pilt 54. Näide *final gather*'ist, kus valgete raamide sees olev on *final gather*. Stseenis varju jäävad alad näivad reaalsemad ja udusemad.

Nagu eelpool öeldud, siis sõltub *final gather* kaamera asukohast, see tekitab olukorra, kus *final gather* valguse levik nõuab kõrgemaid seadeid olukorras, kus kaamera on animeeritud ja visualiseeritakse videot. Madalad seaded *final gather* valgustatusel tekitavad stseenis valguse võbelus, seda eriti pilti äärtes, kus pildi poolt katmata alas *final gather sample*'id pole. Globaalse valgustatus (*global illumination*) samas sõltub valgusobjektidest ja animatsiooni käigus selliseid probleeme ei tekita. *Final gather* on seatud vaikimisi mitte kalkuleerima kiirte mitmekordseid peegeldusi. Footonkaardi tehnika kalkuleerib mitmekordseid peegeldusi automaatselt ja kontrollib korrektset levimist üle kogu stseeni. Tuleb meeles pidada, et *final gather* suudab sedasama, kui arvutustehnika põrgete arvu seadetest muuta. Õnneks saab neid kahte tehnikat kombineerida. Ideaalselt võib see täiustada kogu pildi keeti, sest *final gather* on parem just väiksemate detailide ja värvide silumises pildi sees. Kombineerimist kasutades parandab *final gather'i* tehniline esitlus kaudse valgustuse footonite jaotumist, et tekitada visualiseeritud pilt, mis omaks nii suurepärast valgussügavust varjudes kui ka pehmet tonaalset muutlikkust valgustatud aladel. Vaatamata sellele, et *final gather'*i ja footonkaardi (*photon-map*) tehnika kasutamisel saadud tulemused võivad erineda, on mõlemad füüsikaliselt 100% korrektsed. Need

visuaalsed erinevused on tavaliselt tekkinud varjutajate (*shaders*) kasutamisel stseeni sees, mitte nende aluseks võetud algoritmides.

Final Gather'i menüü on 3ds Max'is jagatud kaheks (vt pilt 55). Ülemine osa pakub valiku põhiseadeid koos mitmete eelseadistustega, mis päästavad kasutaja huupi oletamisest. Tuleb lihtsalt valida rippmenüüst üks eelseadistus ja kõik tähtsamad seaded määratakse automaatselt kasutaja eest. Eelseadistuste valikutesse, mida saab valida "Preset" rippmenüüst, kuuluvad: "Draft" kõige algsete seadetega visand, "Low" madal, "Medium" - keskmine, "High" - kõrge ja "Very High" - väga kõrge.

"Multplier ja color" muudab kaudse valguse tugevust ja värvi.

"Weight" ehk massi väärtus määrab, kui palju mõjutab kaudne valgustatus (indirect illumination) *final gather*'i lahendust.

🜀 Render Scene: mental ray Renderer 📃 🗖 🔀				
Common Renderer				
Indirect Illumination Processing Render Elements				
r Final Gather				
Preset:				
F Basic				
🔽 Enable Final Gather Multiplier: 1,0 🛊				
Initial FG Point Density:				
Rays per FG Point:				
Interpolate Over Num. FG Points: 27 😫				
Diffuse Bounces 0 🕏 Weight: 1,0 🕏				
Final Gather Map				
🔽 Read/Write File 🖵 Read Only (FG Freeze)				
Advanced				
Noise Filtering (Speckle Reduction): Standard 💌				
Draft Mode (No Precalculations)				
Trace Depth-				
Max. Depth: 5 😫 Max. Reflections: 5 🔹 Max. Refractions: 5 💠				
Use Falloff (Limits Ray Distance)				
Start: 0.0FL 🕏 Stop: 0.0FL 🕏				
FG Point Interpolation				
Use Radius Interpolation Method (Instead of Num. FG Points)				
☐ Radius; 5,0 😫				
🔽 Radii in Pixels 🔽 Min. Radius: 0,5 😫				
[ + Caustics and Global Illumination (GI) j				
Production Preset:     Bender				
C ActiveShade Viewport: Perspective 👱 🔒				

Pilt 55. Final gatheri seaded Autodesk 3ds Max 2009's.

#### 2.7. 3D stseeni visualiseerimine

Pärast tundidepikkust rasket tööd tuleb viimaks tehtu visualiseerimine, kus saab lõpuks näha, mille kallal nõnda vaeva on nähtud. Eelnevalt modelleerinud, rakendanud materjale, positsioneerinud valgust ja kaameraid, animeerinud stseeni, ollakse lõpuks valmis visualiseerima lõplikku tulemit. Tulemi saamine on aga otseselt sõltuv visualiseerija soovidest ja vajadustest, mida saab seada enne visualiseerimisnupu vajutamist.

# 2.7.1. Säritus ehk *exposure control* ja tooni vastendamine ehk *tone mapping*

Füüsikale toetuv visualiseerimine vajab *exposure control'i* ehk valgusava suuruse kontrolli, mida fotograafias kutsutakse särituseks. Seda nimetatakse ka tooni vastendamiseks (*tone mapping*), millega vaadatakse, kui palju valgust kaadrist võetakse (vt pilt 56). Lihtsustatuna määrab säritus, kui palju valgust pääseb läbi ava ja selle kogus sõltub ava suurusest ning säriajast.

🗐 Environme	ent and Effects	
Environment	Effects	
+	Common Param	eters i
-	Exposure Con	trol j
Automatic Exp	oosure Control 📃 💌	
Process Band Enviro	ackground nment Maps	Render Preview
- Au	itomatic Exposure Cont	rol Parameters
Brightne Contr Exposure Va Physical Sc	ast: 50,0 🔹 F ast: 50,0 🔹 F lue: 0,0 🔹 ale: 1500,0 🔹	Color Correction:
+	Atmosphere	) ) ]

Pilt 56. Särituse seaded Autodesk 3ds Max 2009's.

Tooni vastendamine (*tone mapping*) teisendab valguse intensiivsuse pikslites HDR-skaalalt RGB-skaalale. Valguse füüsikaline intensiivsus võib olla nullilähedane ja ulatuda ereda päikesepaiste korral ülisuurte arvudeni. Näiteks TIF- ja JPEG-pildid on 8-bitised, nende vahemik ulatub 0'st ehk mustast 255 ehk valgeni. Nendes failides on valge mustast vaid 255 korda

heledam, mis on kõigest murdosa sellest vahemikust tegelikus maailmas. Tooni vastendamine (*tone mapping*) aitab seda erinevust kompenseerida.

Oletades, et visualiseerimismootor suudab kasutada valgusdistantsi mõõtmisel tegeliku maailma ühikuid, nagu luumenid, kandelad või luksid, ning materjalide peegeldusomadusi, ei pruugi visualiseeridatav lõpptulemus mahtuda monitori näidatavasse vahemikku. Seega tuleb kalkuleeritud pilt suruda kokku nii, et seda on võimalik kuvada. Antud protsessi kutsutaksegi tooni vastendamiseks (*tone mapping*) ehk *exposure*'ks (vt pilte 57, 58 ja 59).

Tooni vastendamise (tone mapping) aktiveerimiseks 3ds Max'is kasutatakse "Environment and Effects'i" dialoogiakent. Heledust ja kontrastsust muutes ei muutu mitte stseeni valgustaseme näitajad, vaid kaamera ava



Pilt 57. Tone mapping 'u erinevates keskkondades.

omad. See on palju parem kui stseeni igat valgusallikat ükshaaval häälestada. Näiteks pilvise ilmaga pildistades on fotoaparaadi säristusaega suurendada lihtsam kui päikse väljatulekut oodata. *Exposure control* ehk säritus kontrollib valgustugevust samamoodi.



Pilt 58. Näide ülesäritatud stseenist.



Pilt 59. Näide tooni vastendamise (*tone mapping*) vähendamisest, tänu millele saadakse palju mahedam tulemus.

#### 2.7.2. Kvaliteedi seadistamine

Visualiseerimise kõige põhilisemad seaded asuvad 3ds Max'i puhul "Rendering" -> "Render'i" menüü "Common"-osa all (vt pilt 60). *Mental ray* olulisemad visualiseerimisseaded samas tarkvaras "Renderer" -> "Render'i" menüü "Renderer'i" osa all ning hea tulemuse saamiseks on need mõlemad kindlasti vaja enne üle vaadata. Esmalt aga "Renderer" parameetrid.

"Sampling" ehk juhuvalik määrab kindlaks sobivaima värvi ning heleduse iga visualiseeritud piksli jaoks. Mental ray visualiseerib kõigepealt stseeni värvi sample'id piksli sees või kõrval ja pärast seda segab nad filtri abil üheks värviks. Miinimumja maksimumväärtused piiritlevad sample'te arvu piksli kohta. Lihtsustatuna öeldes sõltub piksli värv ja heledus sample'te värvist ja mida rohkem sample'id on stseenis, seda täpsem on selle piksli väärtus.

Eelvaadete visualiseerimisel on soovitatav kasutada aja kokkuhoiu mõttes väheseid *sample*'id. Selleks tuleks jätta miinimum- ja maksimumväärtused vaikimisi seadetes 1/4 ja 4 või vähendada neid 1/16 ja 1/4 peale (vt pilt 61).



Pilt 60. Renderduse *sample*'te kvaliteet Autodesk 3ds Max 2009's.

Lõplikul visualiseerimisel tasub kasutada suuremat *sample*'te arvu, mille miinimum ja maksimum võiksid olla vastavalt 4 ja 16 või kõrgemad. Kindlasti ei tohiks need kaks väärtust olla võrdsed.



Pilt 61. Näide *sample*'te ja visualiseerimisaja kokkuhoiust. Esimese pildi puhul on kasutatud *sample*'te miinimumja maksimumväärtust vastavalt 1/64 ja 1/16, teisel 1/16 ja 1/4 ning kolmandal 4 ja 16. Kui võrrelda visualiseerimisele kulunud aega, siis teine võrreldes esimesega võttis aega kaks korda rohkem ning kolmas juba kuni 25 korda rohkem.

Filtritüüp määrab ära kuidas mitu *sample*'t moodustavad piksli väärtuse ehk kui palju pööratakse tähelepanu piksli lähedamal asetsevatele *sample*'tele. Rippmenüüst saab valida järgmisi tüüpe:

- "Box filter" liidab võrdselt kõik filtri ala *sample*'id. See on kiireim *sample*'i meetod.
- "Gauss filter" eristab *sample*'id kasutades pikslil Gaussi kõverat. Paljudes pilditöötlusprogrammides on see tundud ka sõna *gaussian*.
- "Triangle filter" eristab *sample*'id kasutades pikslil püramiidi.
- "hell filter" eristab *sample*'id kasutades pikslil järsku mõjukõverat. See annab kõige teravama tulemuse. Pikslile lähemal asetsevaid *sample*'id peetakse tähtsamaks ning kaugemaid vähem ja sellega tagataksegi pildi teravus.
- "Lanczos filter" eristab sample'id kasutades samuti järsku mõjukõverat, kuid vähendades filtri servas sample'ite mõju.

Kõrgus ja laius määravad filtri suuruse. Nende suurendamisel on võimalik pildi kontrastsust pehmemaks muuta, kuid see suurendab visualiseerimisaega.
"Spatial Contrast'i" ehk ruumilise kontrastsusega saab määrata väärtusi, millest lähtutakse *sample*'te kontrollimisel. Seda rakendatakse iga stoppkaadri puhul. Kui kõrvuti olevad *sample*'id on värvilt erinevad, kasutab *mental ray* visualiseerides rohkem kui ühte *sample*'it piksli kohta kuni määratud maksimumini. Ruumilise kontrastsuse suurendamine vähendab töö jõudlust ja kiirendab stseeni visualiseerimist kujutise kvaliteedi arvelt.

"R", "G", "B" – Määravad punaste, roheliste ja siniste *sample*'ite koostisosade algväärtused. Mida suuremad on nende väärtused, seda vähem *sample*'id genereeritakse selle värvi kohta ja vastupidi.

"A" – määrab *sample*'te algkomponendi. 0 on täiesti läbipaistev ja 1 täiesti läbipaistmatu. Värviproovi peal saab näha kuidas "R", "G" ja "B" muutmine mõjutab värvust.

"Lock Samples" ehk *sample*'ite lukustamisega kasutab *mental ray* iga animatsiooni kaadri jaoks sama *sample* mustrit. Selle valikuta rakendab *mental ray sample*'ite mustris pooljuhuslikku muutlikust ühest kaadreist teise. *Sample* mustri varieerumine vähendab visualiseerimise animatsiooni tehislikkust.

"Jitter" ehk virvendus kasutab *sample* asukohas muutlikkust ja aitab vähendada piltide vähese *sample*'te korral selgepiirilisust.

"Bucket Width" – stseeni visualiseerides jagatakse pilt osadeks. Mida väiksem on osa, seda rohkem värskendatakse visualiseerimise käigus pilti. Pildi värskendamine kasutab kindlat arvuti protsessori tsüklite hulka. Lihtsakoelisemate stseenide puhul võivad väiksemad osad suurendada visualiseerimisaega, samas kui suuremad kiirendavad protsessi. Keerulisemates stseenides kehtib vastupidine loogika.

"Bucket Order" laseb kasutajal valida meetodi, millest *mental ray* lähtub järgmise osa valimisel. Kasutades muutujaid või jagatud visualiseerimist, soovitab autor peaaegu alati valida "Hilbert". Muudel juhtudel võib meetodi valida vastavalt kujutise visualiseerimisaknasse ilmumisviisi eelistusele.

- "Hilbert (best)" valitakse osa, mis käivitab vähima andmesiirde.
- "Spiral" osad algavad pildi keskelt ja liiguvad spiraalselt väljapoole.
- "Left to right" osad visualiseeritakse tulpade kaupa alt üles ja vasakult paremale
- "Right to left" osad visualiseeritakse tulpade kaupa alt üles ja paremalt vasakule.
- "Top-down" ridade kaupa paremalt vasakule ja ülevalt alla
- "Bottom-up" ridade kaupa paremalt vasakule ja alt üles.
- "Frame Buffer Type" laseb valida biti sügavuse väljundi kaadril.

- "Integer (16 bits per channel)" väljastab 16 bitti värviinformatsiooni kanali kohta, mis on ka vaikimisi valitud.
- "Floating-Point (32 bits per channel)" väljastab 32 bitti värviinformatsiooni kanali kohta ja toetab kõrgdünaamilise ulatusega kujundeid.

Järgnevalt aga 3ds Max'i kvaliteedi seadmise, mis tööpõhimõtetelt on ka teistes programmides sarnane, aknas "Common" parameetrite muutmisest (vt pilt 62).

"Time Output" täpsustab, kas visualiseeritakse ühte ehk "Single" või mitut kaadrit. Rohkemaid kaadreid visualiseeritakse enamasti animatsioonide tegemisel. "Frames'i" alt saab valida ka olulisemad kaadrid kindla järjekorranumbriga.

Valik "Every Nth Frame" võimaldab eraldi visualiseerida igat kaadrit või igat teist, kolmandat ja nii edasi.

"File Number Base" võimaldab visualiseerida kindlas järjestuses stoppkaadreid, alustades kindlast kaadrist. See on eriti oluline, kui soovitakse luua kõrgekvaliteedilist failide seeriat, mida saab hõlpsasti laadida mõnda videotöötlusprogrammi ja lisada olemasolevasse seeriasse uusi kaadreid.

"Output Size" võimaldab valida väljundpildi suurust ehk pildi kvaliteeti, mis on väga tihedalt seotud visualiseerimisele kuluva ajaga. Seega, kui luuakse videot resolutsiooniga 320x240 pikslit internetti laadimiseks, oleks kvaliteetsema pildi visualiseerimine aja raiskamine. Kui tahetakse luua kindla formaadiga kaadrit, saab valiku teha ise piksleid määrates.

"Aperture Width'is" saab valida kaadri loomisel kasutatava objektiiviava diameetri.

"Image Aspect" ja "Pixel Aspect" lubavad muuta pildi laiuse ja kõrguse suhtarvu, kus üle 1,0i venitab pilti vertikaalselt ja alla 1,0i horisontaalselt. Näiteks "Pixel Aspect" 1,0 sobib hästi arvutiekraanile, kuid digitaal-video NTSC kasutab 0,9't. See omakorda võib arvutiekraanil olla kergelt moondununa, kuid teleekraanil väga hea.

"Options'i" menüü annab faili visualiseerimise üle täiendava kontrolli. "Atmospherics'it" ehk atmosfääri, "Effects'i" ehk efekte ja "Displacement'i" ehk nihet visualiseeritakse vaikimisi, kuid see võib kaua aega võtta. Kui tahetakse mõne kiire näite jaoks visualiseerimisprotsessi kiirendada, võib atmosfääri välja lülitada.

Samas on seade "Force 2-Sided" vaikimisi valimata. Tavalistel geomeetrilistel kujunditel nagu kuup või kera on vaid välispind. Kui vaadelda mõnda objekti seestpoolt, siis selle sisepinnal pole värvust ega materjali. Kujundit ning värvide ja materjalide mõju sellele saab muuta nii, et mõlemad pooled oleks visualiseeritavad. Seda saab teha "Force 2-Sided" seadega (vt pilt 63).

Kui katsetada, kuidas mõni objekt kukkudes puruneb, siis laialilendavad tükid kaovad osaliselt, kuna objektil on vaid välispind. Kui visualiseerida kahepoolset objekti, on tulemus hoopis tõepärasem. S Render Scene: mental ray Renderer Indirect Illumination Processing **Render Elements** Common Renderer Common Parameters Time Output Single Every Nth Frame: 1 \$ C Active Time Segment: 0 To 100 Range: 0 ↓ To 100 \$ File Number Base: 0 \$ 1,3,5-12 C Frames Output Size Aperture Width(mm): 36,0 \$ Custom -\$ Width: 640 320x240 720x486 480 Height: 640x480 800x600 Image Aspect: 1,333 💲 🔒 Pixel Aspect: 1,0 :8 Options Atmospherics Render Hidden Geometry Effects Area Lights/Shadows as Points Displacement Force 2-Sided Video Color Check 🔲 Super Black г Render to Fields Advanced Lighting Use Advanced Lighting Compute Advanced Lighting when Required Bitmap Proxies-Bitmap Proxies Disabled Setup. Render Output Files. 🗖 Save File Put Image File List(s) in Output Path(s) Create Now Autodesk ME Image Sequence File (.imsq) C Legacy 3ds max Image File List (.ifl) Use Device Devices... Net Render Rendered Frame Window Skip Existing Images **Email Notifications** + Scripts + Assign Renderer + Production Preset: -Render C ActiveShade Viewport: Perspective 8 -

Pilt 62. "Common Parameters'i" menüü Autodesk 3ds Max 2009's.



Pilt 63. Näide "Force 2-Sided" seadest, kus polygon-kera on lõigatud pooleks ja visualiseerimisel on näha vaid objekti välispind.

"Render Output'i" parameeter on mitme kaadri korraga visualiseerimisel väga tähtis. Kui seda etappi ei läbita, saab pärast visualiseerimist näha vaid viimast kaadrit.

Kui soovitakse kindlaformaadilist videofaili esmakordselt visualiseerida, avanevad valitud kompressioonialgoritmi jaoks teatud võimalused. "Use Device" on seotud mõne välise seadmega, kuhu saab salvestada. "Virtual Frame Buffer" võimaldab aga vaadata igat eelnevalt visualiseeritud kaadrit – tehtud töö kronoloogia mõistes väga kasulik. "Net Render" on mõeldud kasutamiseks visualiseerimisfarmides üle võrgu.

Viimane valik, "Skip Existing Images", on juhuks kui videofaili asemel visualiseeritakse üksikuid pilte ja tegevus toimub järkudena. Visualiseerimist saab jätkata ilma, et oleks vaja olemasolevaid pilte uuesti visualiseerida.

Visualiseerimisseadete kõige all olev osa annab mõne lihtsa, kuid vajaliku täienduse. Valida saab "Production'i" ja "ActiveShade'i" vahel. Esimene neist on kõrgeima kvaliteediga, teine toob välja küll valgusefektid ja materjalid, kuid seal puuduvad paljud muud lisad nagu atmosfäär või visualiseerimisefektid.

"Viewport'ist" saab valida visualiseerimiseks vaate. Üldjuhul on selleks perspektiivvaade.

Lõpuks, olles arvesse võtnud eespool kirjutatu, saab vajutada visualiseerimise algust kinnitavale nupule kasutatud tarkvaras (vt pilt 64).



Pilt 64. Näide lõplikust visualiseerimise tulemusest.

#### Kokkuvõte

Järjest kiireneva tehnoloogia arenguga muutub visuaalne maailm ühiskonnale üha kättesaadavamaks ja lähedasemaks. Juba praegu tarbivad inimesed arvutigraafikaga loodut, olgu selleks telesaade, film, arvutimängud või meid ümbritsev massimeediareklaam. Tihti ei hoomata, millisel määral küberkeskkond igapäevaelu mõjutab ja kuidas ühiskond sellesse kaasatud on. Ometi on see ka arvutigraafika üks eesmärke - näida realistlik ja võimalikult loomutruu. Võimalikult tõetruu ja naturaalse visualiseeringu loomist käesolev bakalaureusetöö käsitlebki.

Käesolevas bakalaureusetöö on esimene eestikeelne valguse visualiseerimist kajastav kirjatükk, mis sisaldab endas olulisemaid teadmisi *mental ray*'st ja selgitab selle seadistusvõimaluste füüsikalist tagapõhja. Võõrkeelse kirjandusena leidub internetis ja juhendites küll piisavalt lugemismaterjali, kuid kahjuks ei ole vastavates infokanalites sisalduv informatsioon alati kasutajasõbralik ning võib osutuda algajatele liialt keeruliseks. Kõnealuse bakalaureusetöö eesmärgiks on pakkuda erialast õpetlikku kirjandust, mis oleks kättesaadav kõigile huvilistele.

Töös kirjeldatakse erinevaid valguse visualiseerimisega seotud põhimõtteid ning selgitatakse *mental ray* olemust ja vajalikkust. Samuti on töösse kaasatud valguse ja varjude visualiseerimisega seotud põhimõtteid ning nende paremaks näitlikustamiseks kasutatud praktilisi näiteid ja seletusi Autodesk 3ds Max'i abiga.

Käesoleva bakalaureusetöö on üles ehitatud vastavalt 3D-modelleerimise tavapärasele töörutiinile ehk protsessile, mida visualiseerimisel järgima peaks. Töö algab sissejuhatusega *mental ray*'sse ja selle kasutamiseks algsete vajalike seadete paika panemisega. Järgneb ülevaade optilisest füüsikast ja valguse omadustest, mis peaks aitama lugejal paremini mõista varjude ja valguse kasutamist 3D's. Edasises on juttu stseeni ehitamisest, kus määratakse seal olevatele objektidele materjalid, animeeritakse keskkond ning paigaldatakse ja seadistatakse valgusobjektid. Sellest tulenevalt kirjeldatakse visualiseerimisprotsessis esmalt otsest (*direct illumination*) ja siis kaudset valgustatust (*indirect illumination*), nende tööpõhimõtteid, seadeid ja varje. Selgitatakse, kuidas kasutada erinevat tüüpi valgustust *mental ray* sees ja kuidas kasutada *mental ray* filtrite ehk varjutajatega (*shaders*). Teema lõpetab *final gather* ning lõpetuseks jõutakse visualiseerimise endani.

Paljud näited ja soovitused pärinevad autori isiklikest kogemustest, kes ka ise antud tööd kirjutades omandas lisateadmisi. Kindlasti on käesolevast bakalaureusetööst abi kõigile lugejatele ka tulevikus, juba konkreetseid peatükke üha uuesti läbi lugedes, leides pidevalt midagi uut vastavalt käsil olevale visualiseerimistegevusele.

## Sõnastik

3ds Max® - Tuntud ka kui 3D Studio MAX, mis on modelleerimise, animeerimise ja visualiseerimise tarkvara kogum toodetuna ettevõtte Autodesk Media and Entertainment poolt.
3ds Max on üks kahest enim kasutatud ja müüdud lauaarvutile mõeldud 3D animatsiooni programm maailmas.<sup>19</sup>

*Ambient occlusion* ehk üldine varjustatus - simuleerib valgust vastavalt sellele, kui lähedal on tahud (*polygon*) teineteisest. Mida lähemal, seda tumedam. On mõeldud väga kiireks kaudse valguse simuleerimiseks.

*Area Lights* ehk pindvalgustus – Põhieesmärk on tekitada võimalikult realistlik valgustatus, mille tulemuseks enamasti pehmed varjud. See on saavutatav kasutades ühte kuuest valgusallikast: *rectangles, discs, spheres, cylinders, user,* või *geometric objects.* See tähendab, et punkt mõnel objektil võib olla valgustatud vaid osaliselt valgusallika poolt, mis omakorda loob vigadeta pehmed varjud. Pindvalgustus põhineb samadel printsiipidel, kui liikumisest tingitud udusus (*motion blur*).<sup>20</sup>

Bitmap – Rastergraafika pildifail.

*Caustics* – Visualiseerimisvõimalus, mis arvutab valgusallikast alguse saanud footonid, mis saavad peegelduda, painduda või koonduda ja jätab mulje loomulikust valgusest.<sup>21</sup>

*Color bleeding* ehk värvikuma – Visuaalne efekt, kus on silmaga selgesti näha ühe värvilise objekti kuma teisel objektil. Näiteks punane pall valge toa nurgas, mis peegeldab punast tooni seinale.

*Indirect illumination* ehk kaudne valgustatus - Stseeni valguse levik peale otsest valgustatust, läbi valguse põrkumise ja leviku stseenis objektidelt, mida valgusobjektid valgustavad.

*Depth of Field* ehk fookussügavus – Efekt, mis simuleerib maksimaalse teravuse pinnal ja hägustab objektid, mis on lähemal või kaugemal sellest objektist. On kaks meetodit fookussügavuse rakendamiseks: läätse varjutajat (*shader*) saab kasutada võttes mitmekordselt varjutajad, kasutades erinevaid teid jõudmaks samasse punkti fookuspinnal, et interpoleerida

<sup>&</sup>lt;sup>19</sup> (3DS Max Vs Maya: 3D Animation / Rendering Software Comparison. 2009)

<sup>&</sup>lt;sup>20</sup> (mental ray Manual. 2008)

<sup>&</sup>lt;sup>21</sup> "A Look At Caustics" (Birn, 2000)

sügavusefekti. Teine võimalus on kombineerida varjutaja ruumala ja selle väljund, et korjata sügavusinformatsiooni visualiseerimise kestel ning siis rakendama hägustamisfiltrit järeltöötlusena üle lõpliku pildi vastavalt saadud infole.<sup>22</sup>

*Direct illumination* – **ehk otsene valgustatus** - Arvutigraafika keskkonna üldine termin. *Direct illumination* on kiiretejälitus (*raytrace*) meetodil arvutatav valgus stseenis, kus objektide valgustatus arvutatakse nendele otse peale paistvate valgusobjektide poolt. Seda teostatakse tihti koos varjude *raytrace* meetodiga.

*Environmental mapping* - *Mapping*, kus tekstuuri koordinaadid stseenis pole määratud objektile, vaid stseeni keskkonnale.

*Final gather* – Protsess, kus arvutatakse valguse hajustatus stseenis vastupidiselt globaalsele valgustatuse (*global illumination*) meetoditele. Valgus arvutatakse määrates stseenis objekti pindadele sadu tuhandeid punkte, mida kaamera näeb. Igast määratud punktist suunatakse välja sadu kiiri kiirejälitus (*raytrace*) põhimõttel. *Final gather*'i punkti lõppvärv arvutatakse välja läbi nendest kiirtest tagasituleva valgusinformatsiooni. *Final Gather*'i kiired saavad valgusinformatsiooni mitte ainult teistelt valgusobjektidelt, vaid ka teistelt objektidelt stseenis, mis võivad juba valgustatud olla teiste meetodite poolt (nagu *global* ja *direct illumination*). *Final gather*'t kasutatakse peamiselt globaalse valgustatuse (*global illumination*) korrektuuriks.<sup>23</sup>

**Footon** – Valgusosake ehk valguskvant.<sup>24</sup> *Mental ray* tarkvaras nimetatakse footoniks simuleeritud valgusosakest.

**Gamma** – kontrastsustegur<sup>25</sup>

*Global illumination* ehk globaalse valgustatus – *mental ray* peamine kaudse valgustatuse arvutamise vahend, mille algoritmis arvutatakse peegelduva valguse levik läbi stseeni kõiksuguste objektide pindade.<sup>26</sup>

**HDR** – kõrge heledustooni vahemikuga pildifail, mis salvestab piksli väärtuse sellises ulatuses, kus terve tonaalsuse vahemik võrreldes päris maailmaga oleks kaetud. Seepärast HDR pildifail on kodeeritud formaadis, mis lubab suurt väärtusvahemikku, näiteks salvestatuna 32 bitisesse värvikanalisse.<sup>27</sup>

<sup>&</sup>lt;sup>22</sup> (mental ray Manual. 2008)

<sup>&</sup>lt;sup>23</sup> (mental ray Manual. 2008)

<sup>&</sup>lt;sup>24</sup> Mjakišev ja Buhhovtsev (1982, lk. 231)

<sup>&</sup>lt;sup>25</sup> Poynton (2003, lk. 630)

<sup>&</sup>lt;sup>26</sup> Livny (2007, lk. 27)

LDR – madala heledustooni vahemikuga pildifail, kus värvide informatsioon on salvestatud täisarvuliste positiivsete väärtustega 0'st 255'ni.<sup>28</sup>

Luumen – On valgusvoo mõõtühik. Üks luumen (1 lm) on ühe kandela (1cd) valgustugevusega punktvalgusobjekti poolt 1 steradiaani (1 sr) suurusesse ruuminurka kiiratud valgusvoog.<sup>29</sup>

*mental ray*® - Visualiseerimismootor, mis integreeriti 3ds Max tarkvaraga aastal 2003 ja seda võib pidada hetkel üheks parimaks ja suurima potentsiaaliga visualiseerimismootoriks.<sup>30</sup>

*Motion Blur* ehk liikumisest tingitud udusus – Arvutatakse liikumisest tingitud udusus igalt animeeritud varjutuse efektilt, iga stseeni objekti liikumisest kui ka deformeerumisest ja kuvatakse see lõplikus visualiseeritud pildil.

Production render - lõplik visualiseeritud pilt.

*Radiosity* – Valgusalgoritm, mis järgneb valguskiirele läbi stseeni ja iga objekti pinna puute korral väheneb valgusenergia. Valgusenergia peegeldatakse edasi ümbritsevasse keskkonda. Mida rohkem valguse peegeldusi arvutatakse, seda realistlikum on tulemus, suurendades sellega aga visualiseerimisaega.<sup>31</sup>

*Raytrace* ehk kiirtejälitusmeetod - Arvutigraafikas kasutatav meetod pildile realistlikuma ilme andmiseks varju- ja värviintensiivsuse muutmise ning ühest või mitmest valgusallikast tekitatud varjude lisamise teel. Kiirte jälituse tarkvara modelleerib iga üksiku valguskiire teed, kui see neeldub või peegeldub kujutise objektidelt. Et see meetod hästi töötaks, peab visualiseerija ära määrama valgusallika parameetrid (intensiivsus, värv jne) ning samuti objektide parameetrid (kui palju nad valgust peegeldavad või neelavad).<sup>32</sup>

*Raytraced Shadows* ehk varjud *Raytraced* meetodiga – varjud, mille arvutamisel rakendatakse kiirtejälitusmeetodit. *Raytraced*-varjud töötavad, heites kiiri kõikjale stseeni ja kontrollides, kas kiir lõikub mõne stseenis asetseva objektiga teel valgusobjektini. Kui jah, siis antud kiir kõrvaldatakse ja tekib vari. Iga piksli kohta saadetakse sõltuvalt *sampel'ite* arvust välja mitu kiirt ja lõpptulemus interpoleeritakse pikslite vahel.

*Reflection* ehk peegeldus – Valguse levimine põrkudes peegelduva objekti pinnale.

<sup>&</sup>lt;sup>27</sup> (FAQ - HDR images for Photography. 2006)

<sup>&</sup>lt;sup>28</sup> (FAQ - HDR images for Photography. 2006)

<sup>&</sup>lt;sup>29</sup> Mjakišev ja Buhhovtsev (1982, lk. 133)

<sup>&</sup>lt;sup>30</sup> Steen (2007, lk. 3)

<sup>&</sup>lt;sup>31</sup> Murdock (2007, lk. 677-678)

<sup>&</sup>lt;sup>32</sup> "e-teatmik" (Vallaste, 2009)

Refraction ehk valguse murdumine – Valguse levimine läbides objekti pinda.

*Sample* – Teatud vahemikus asuv punkt mida kasutatakse valguse, varjude ja stseeni *raytrace* detailsuse arvutamisel. Iga piksli lõppvärvi väljaarvutamisel stseenis kasutatakse X arv *sample*'id. Mida rohkem on *samplei*'d, seda kauem võtab arvutus aega ja seda detailsema ja täpsema lõpptulemuse saab. Eesti keelne vaste antud mõistele oleks diskreet, kuid kuna see ei ole keeleliselt väga tuntud, siis käesolevas töös on kasutatud terminit *sample*.

*Scanline renderer* ehk rida-realt visualiseerimismeetod - See on algoritm nähtava pinna määramiseks ja optimeeritud visualiseerimisprotsessi kiirendamiseks. See töötab rida-realt visualiseerimise põhimõttel, kus kõik tahud (*polygon*), mida visualiseeritakse, on sorteeritud selle koordinaadi järgi, kus nad esmalt ilmuvad.<sup>33</sup>

*Shaders* ehk varjutajad – Algoritmide ja muutujate puu, mis määratakse objektidele stseenis materjalidena (nagu näiteks klaas või puit) või tervele renderduse lõpptulemusele (näiteks valguskuma), mis mõjutab iga visualiseeritava piksli lõpptulemust pildil. Varjutajate (*shaders*) lõpptulemus võib olla mõjutatud kõikidest muudest elementidest stseenis, sealhulgas ka teistest varjutajatest (*shaders*), valgusobjektidest kui ka visualiseerimise üldseadistustest.

*Shadow map* ehk varjukaart – Tehnika, mis tekitab kiireid umbkaudseid varje. *Shadow map* varjud, sõltumata valgusobjektist, arvutatakse välja alati ühe valguspunkti kaudu, sest *shadow map* sisaldab ainult ühe varjukaardi arvutamist, siis seda saab ka ainult ühest punktist teha. See tähendab, et pind-valgusobjekte, nagu mr Area Spot ja mr Area Omni, renderdavad varjud samamoodi nagu tavaline Omni ja Spot seda teeks: teravalt. Lisaks ei ole tavalise *Shadow map*'iga võimalik renderdada varje läbipaistvatel objektidel korrektselt - varjud tekivad nagu oleks tegu mitte-läbipaistva objektiga.

*Skylight* ehk taevakuma valgus - Keskkonnapõhine valgusobjekt, mille panus välivalgustusele on valgusena väga hajus, mis on tugevaim osas, mis on nähtavad päikese asukohale.<sup>34</sup>

**Stseen** – Selle all mõistetakse igasugust füüsikalise keskkonna projektsioon inimesele tajutavasse süsteemi. Stseen koosneb objektimudelitest, kasutatud materjalidest, ümbritsevast keskkonnast ja valgusobjektidest.

<sup>&</sup>lt;sup>33</sup> Murdock (2007, lk. 999)

<sup>&</sup>lt;sup>34</sup> Brooker (2008, lk. 153)

*Texture mapping* – *Mapping*, kus tekstuurid on määratud objektile stseenis kindlate koordinaatidega iga polügooni (*polygon*) kaupa.

*Tone mapping* ehk tooni vastendamine – Värvibilansi tehnika, mida kasutatakse pildi töötluses ja arvutigraafikas, millega muudetakse värvi- ja heledustoone vastavalt pildi olemasolevatele värvi- ja heledustoonidele. Tooni vastendamise peamine aplikatsioon on seda kasutada HDR pildi toomiseks LDR vahemikku.

**Valgus** - Elektromagnetkiirguse inimesele nähtav osalainepikkusega vahemikus 380 kuni 760 nanomeetrit.<sup>35</sup>

Viewport – 3ds Max'i tööaken.

**Visualiseerimine** – Antud mõistet teatakse paremini inglise keelse termini *rendering* järgi, mida teatud juhtudel on eesti keeles kutsuma hakatud renderdamine. Visualiseerimine tegeleb väljundi tekitamisega objektidest, mis moodustavad erineva detailsustasemega stseeni.

**Visualiseerimisfarm** – Arvutite kogumit, mis on ühendatud võrku, kus iga masin visualiseerib mingit osa pildist.<sup>36</sup>

Undersampled – Pilt või koht pildil, mille detailsus on kesine või halb väheste sample'te tõttu

<sup>&</sup>lt;sup>35</sup> Voolaid (2005, lk. 2)

<sup>&</sup>lt;sup>36</sup> Murdock (2007, lk. 1079)

### Kasutatud kirjandus

Steen, J. (2007), Rendering with mental ray & 3ds Max. Oxford: Elsevier Inc.

Murdock, K. (2007). 3ds Max® 9 Bible. Indianapolis: Wiley Publishing Inc.

Laurie Ulrich Fuller & Robert C. Fuller, (2007), Photoshop CS3 Blible.

Roger Cusson & Jamie Cardoso, (2007), Realistic Architectural Visualization with 3ds Max and mental ray.

*About mental images*®. (2007). Külastatud detsember 2008, http://www.mentalimages.com/company.html

Livny, B. (2007). Mental ray for Maya, 3ds Max, and XSI. Indiana: Wiley Publishing Inc.

Voolaid, H. (2005). *OPTIKA loengukursuse FKEF.06.039 konspekt*. Tartu: Tartu Ülikooli Koolifüüsika Keskus

Avid Technology and mental images Sign Long-term Agreement for Broader Development. (2007). Külastatud aprill 2009, <u>http://www.mentalimages.com/company/news/13-apr-1999.html</u>

Mjakišev G., Buhhovtsev B. (1982) Füüsika X-XI kl. Tallinn: Valgus

Birn, J. (2000). *A Look At Caustics*. Külastatud mai 2009, http://www.3drender.com/light/caustics.html

*FAQ - HDR images for Photography*. (2006). Külastatud mai 2009, http://www.hdrsoft.com/resources/dri.html#dr

Vallaste, H. (2009). e-teatmik. Külastatud mai 2009, http://vallaste.ee/

*What's RenderMan?*. (2009). Külastatud mai 2009, <u>https://renderman.pixar.com/products/whatsrenderman/index.htm</u>

*Pixar Movies*. (2009). Külastatud mai 2009, https://renderman.pixar.com/products/whatsrenderman/movies.html

Håkan, Z. (2009, veebruar 25). *hzap's mental ray tips*. Külastatud aprill 2009, <u>http://mentalraytips.blogspot.com/</u>

Motion Pictures. (2009). Külastatud mai 2009, <u>http://www.mentalimages.com/gallery/motion-</u> pictures.html

*The Curious Case Of Benjamin Button behind the scenes.* (2009). Külastatud aprill 2009, http://www.d2.com/benjamin\_button\_behind\_the\_scenes/

*Autodesk 3ds Max System Requirements*. (2009). Külastatud mai 2009, http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?siteID=123112&id=5659453

Levoy, M. (2009). *About gamma correction*. Külastatud jaanuar 2009, <u>http://www-graphics.stanford.edu/gamma.html</u>

Birn, J. (2006). Digital Lighting and Rendering. Indianapolis: New Riders Press

Sepp, K. (2009). *Värviõpetus ja kompositsioon*. Külastatud detsember 2009, <u>http://www.hariduskeskus.ee/opiobjektid/varvusopetus/vrviring.html</u>

3DS Max Vs Maya: 3D Animation / Rendering Software Comparison. (2009). Külastatud detsember 2009,

http://www.associatedcontent.com/article/1976982/3ds\_max\_vs\_maya\_3d\_animation\_rendering. html

*mental ray Manual.* (2008). Külastatud detsember 2009. <u>http://download.autodesk.com/us/maya/2009help/mr/manual/index.html</u>

Poynton, C. (2003). Digital video and HDTV: algorithms and interfaces. USA: Elsevier Science.

Brooker, D. (2008). Essential CG Lighting Techniques with 3ds Max. USA: Elsevier Ltd.

#### **Summary**

# Rendering Light with mental ray® in 3ds Max

Rendering realistic light and shadows are one of the most difficult tasks when rendering photorealistic imagery. Rendering is a complex process of creating final series of images or video from user built 3D scenes. While this field is widely covered on the Internet and manuals, the information is often not user-friendly and is difficult to comprehend for beginner to intermediate users, which hampers reaching the desired result. Since the final result of the rendering is entirely dependent on rendering settings and the user's ability to use the software, very many self-taught users of 3ds Max are unable to fulfil the potential of their work, if they do not know how to properly set up the render. While the goal of this thesis is to provide quality material for those interested in the field of 3D, it also intends to partly fulfil the gap of nearly non-existent Estonian literature related to this area of expertise.

The author of this guide uses and describes the rendering system and methods of *mental ray*, which is an industry-proven independent rendering engine, used in modern architecture renderings, special effects in film industry and other related fields. The rendering engine in question is one of the most popular among professionals and the author considers it the very best in the field of rendering photorealistic imagery.

*Mental ray* can be used to render images from other proprietary software, among which is Autodesk 3ds Max, which has provided support for *mental ray* since 2003, beginning with Discreet 3dsmax 6. 3ds Max is the most familiar 3D software to the author, who has used it actively since 2004. The thesis gives an overview of mental ray rendering methods and features and provides guidance for using mental ray through 3ds Max.

The thesis is mostly directed at beginner to intermediate users of 3ds Max, while also providing useful information for those using *mental ray* with other software, such as Autodesk Maya. It helps the reader understand the basics of rendering from theory to practise. Each chapter shows how to use a specific feature or set of features of *mental ray*. The author directs attention to which settings one should focus on, as well as how the various settings affect the outcome of the render. These detailed examples are illustrated with colourful images. It is recommended that the reader is familiar with the software of 3ds Max, knows its basic user interface and how to build a basic scene by setting up cameras, objects and shaders. The thesis focuses mainly on rendering

light and shadows using 3ds Max. To the readers who are more familiar with *mental ray* rendering, this thesis gives a better and more complete overview of the topics covered.

"Rendering light with *mental ray* in the example of 3ds Max begins with an overview of the technologies used and ends with the basic setup of rendering settings before the actual rendering. The author introduces the basic and more complex rendering settings of *mental ray*, as well as offers various ideas and rules, which the author perceives to produce the best results and therefore highly recommends. The thesis covers the basic light theory and goes through, in detail, both the direct and indirect illumination of the virtual scene and their settings. The author explains how to use different types of lighting with *mental ray* and *mental ray*'s own light objects and daylight system. Various effects that are enabled by *mental ray* filters and shaders are described. The actual process of the rendering setup is also covered. Examples and recommendations are based on the author's own hands-on experience and the reader can use the thesis in part or in full depending on the needs of the task at hand.

Modern computer generated imagery requires creativity, good software as well as basic knowledge and understanding of physics in relation to light and shadows. The introduction to optical physics and light phenomena in the thesis helps the reader understand the use of light and shadows within a virtual 3D environment. It also helps the reader understand how to apply real life knowledge of light behaviour into 3D environments and thus produce photorealistic imagery using *mental ray*.

The thesis will hopefully expand the perspective of the reader about 3D and creates newfound interest in the field. The long-term goal of the thesis is simple: to help the user understand the various settings of 3ds Max for *mental ray* and thus not allow the technical limitations and understanding get in the way of creative freedom.