

Epäsuorat valaistustekniikat 3ds Maxissa

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Mediatekniikan koulutusohjelma
Tekninen visualisointi
Opinnäytetyö AMK
Syksy 2015
Tanya Hietamies

Lahden ammattikorkeakoulu
Mediatekniikan koulutusohjelma

HIETAMIES, TANYA:

Epäsuorat valaistustekniikat 3ds Maxissa

Teknisen visualisoinnin opinnäytetyö, 45 sivua

Syksy 2015

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä tutkitaan epäsuoran valaistuksen tekniikoita 3D-ympäristössä, erityisesti keskittyen 3ds Max -mallinnusohjelmaan. Työssä selvitetään, mitä epäsuora valaistus tarkoittaa oikeassa- ja 3D-maailmassa sekä mitkä ovat sen vaikuttajat. Epäsuora valaistus on tärkeä tekniikka 3D-maailmassa kun tavoitellaan realistisesti uskottavaa valaistusta sekä realistisia renderöintejä. Työn taustalla onkin kiinnostus erilaisiin keinoihin luoda realismia 3D-kuviin. Erilaisiin epäsuoran valon työkaluihin tutustutaan 3ds Maxin näkökulmasta niin teorian kuin käytännönkin tasolla.

Teoriaosuutta käytetään pohjana kun siirrytään case-osuuteen, jossa tutkitaan epäsuoran valaistuksen luomista 3D-malliin Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan alan opettajainhuoneesta. Käytännön osuudessa yhdistellään nykyaikana yleisimmin käytettyjä epäsuoran valaistuksen työkaluja, ja tutkitaan kuinka ne toimivat yhdessä.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli saada hyvä käsitys epäsuoran valaistuksen tekniikoiden toiminnasta 3ds Maxissa. Käytännön osuuden tarkoitus oli todentaa tutkittua tietoa ja päästä testaamaan yleisimmin käytettyjä työkaluja käytännössä. Lopputuloksena opettajainhuoneen 3D-malliin saatiin luotua epäsuora valaistus soveltaen teoriaosuudessa tutkittua informaatiota.

Asiasanat: epäsuora valaistus, 3D, 3ds Max, global illumination, final gather, radiosity, ambient occlusion

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in mediatechnology

HIETAMIES, TANYA:

Indirect illumination techniques in 3ds
Max

Bachelor's Thesis in visualization engineering, 45 pages

Autumn 2015

ABSTRACT

This thesis examines indirect illumination techniques in a 3D environment, focusing especially on the 3ds Max modeling program. This thesis explains what indirect illumination means in the real world as well as in the 3D world, and what are the affecting factors. In the 3D world indirect lighting is an important technique when you aim to achieve realistically believable lighting and realistic renderings. The idea behind this work was an interest in different ways to create realism in 3D pictures. Different tools for indirect illumination are explored from a 3ds Max point of view in theory and in practice.

The theory part of this thesis is used as a base for the case portion, where indirect illumination creation for a 3D space of Lahti University of Applied Sciences teacher's room of faculty of technology is explored. The case combines most popular tools for creating indirect lighting of today.

This thesis aimed to get a good view of how indirect lighting techniques work in 3ds Max. The case aimed to prove the researched information and test the most used tools in practice. As an end result an indirect lighting was created for the 3D model applying the examined information.

Key words: 3D, 3ds Max, global illumination, final gather, radiosity, ambient occlusion

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	EPÄSUORA VALAISTUS	2
2.1	Epäsuora valaistus oikeassa maailmassa	2
2.2	Epäsuora valaistus 3D-mallinnuksessa	3
2.3	Epäsuoran valaistuksen vaikuttajat 3D-maailmassa	5
3	3DS MAXIN EPÄSUORA VALAISTUS	7
3.1	3ds Maxin global illumination	7
3.2	Final gather	13
3.3	Radiosity	18
3.4	Ambient occlusion	21
4	CASE: LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULUN OPETTAJAINHUONE	28
4.1	Lähtökohta ja valmistelut	28
4.2	Valot	29
4.3	Global illumination	31
4.4	Final gather	33
4.5	Kuvan laatu	36
4.6	Työn analysointi	37
5	YHTEENVETO	39
	LÄHTEET	40

SANASTO

Algoritmi:	Joukko järjestelmällisesti suoritettuja käskyjä tai ohjeita jonkin toiminnon suorittamiseksi
Ambient occlusion:	Varjot, jotka muodostuvat ambientista valosta
Fotoni:	Valohiukkanen
Globaali valaistus (3D):	Valaistusalgoritmit, jotka laskevat epäsuoraa valaistusta
Iteraatio:	Saman laskutoimituksen toistaminen
Kompositointi:	Kuva, joka rakennetaan yhdistelemällä eri kuva-kerroksia
Polygoni:	Kaksiulotteinen monisivuinen muoto, jonka avulla 3D-mallit rakentuvat
Render pass:	Prosessi, jolla renderöidään eri 3D-mallin ominaisuuksia erillisinä kuvina. Esimerkkinä värit ja varjot
Renderöinti:	Tarkoittaa kuvan luomista mallista tietokoneohjelman avulla
Shaderi:	Ohjelma tai algoritmisesti, joka kertoo tietokoneelle, kuinka objektin kuuluu piirtyä

1 JOHDANTO

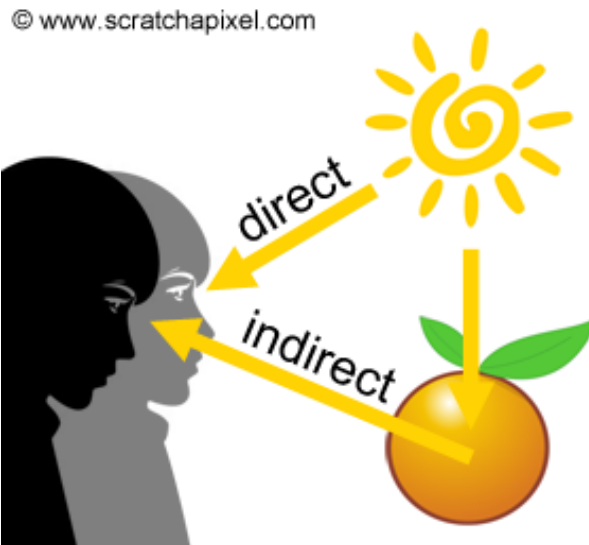
Epäsuora valo on työkalu niin oikeassa kuin 3D-maailmassakin. Oikeassa maailmassa sitä on hyödynnetty pitkään muun muassa valokuvausstudioissa kuin elokuvissakin luomaan valoa sinne, missä sitä ei ole. Myös mallinnusohjelmissa se on tärkeä tekniikka, kun puhutaan hiemankaan realistisen kuvan luomisesta. Epäsuoran valon työkalut antavat mallintajalle mahdollisuuden luoda helpommin oikean maailman ilmiöitä, jotka voivat muuten olla kovin vaikeasti saavutettavissa. Valojen ja värien heijastuminen ympäristöään valaisten ei aina ole ollut itsestäänselvyys 3D-maailmassa. Ennen tällaisia tekniikoita valaistusartistit käyttivät paljon aikaa ja vaivaa jäljitelläkseen niitä, kun nykyään saman lopputuloksen voi saavuttaa paljon vähemmällä työllä. Toki kuitenkin myös näiden uusien työkalujen hallitseminen vaatii taitoa.

Epäsuoran valaistuksen toteuttamiseen on monia erilaisia tekniikoita, jotka toimivat erilaisilla periaatteilla luoden keskenään hieman erilaisia lopputuloksia. Opinnäytetyössä keskitytään kuitenkin tutkimaan ja käsittelemään 3ds Max -mallinnusohjelman tarjontaa. Ennen työkaluihin paneutumista kuitenkin käsitellään, mitä epäsuora valo on niin oikeassa kuin 3D-ympäristössäkin.

Case-osuudessa tutkitaan epäsuoran valaistuksen luomista Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan alan opettajainhuoneeseen. Case toteutetaan 3ds Max -mallinnusohjelmalla hyödyntäen teoriaosuudessa tutkittua photon mappingia, final gatheria sekä lopuksi ambient occlusionia.

2 EPÄSUORA VALAISTUS

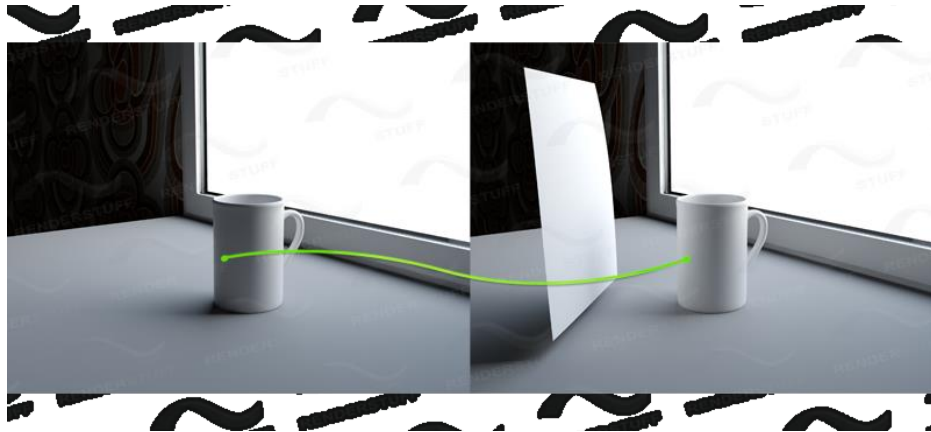
Epäsuora valaistus tarkoittaa valaistusta, joka ei tule suorasta valonlähteestä. Tällainen valo heijastuu jonkin toisen pinnan kautta. Kuvassa 1 havainnollistetaan, kuinka suora valo tulee suoraan valonlähteestä eli aurinkosta katsojan silmään, ja epäsuora valo tulee katsojan silmään valonlähteestä välikappaleen kautta heijastuen.



KUVA 1. Epäsuora ja suora valaistus (Scratchapixel 2015)

2.1 Epäsuora valaistus oikeassa maailmassa

Oikeassa maailmassa epäsuora valaistus tarkoittaa esimerkiksi kattolampun valon kimpoamista ja heijastumista seinäpinnan kautta. Tämä heijastunut valo valaisee ympäröiviä pintoja edelleen. Kuvassa 2 nähdään, kuinka suoran valonlähteen, eli ikkunan eteen asetetun mukin takaosa jää kovin tummaksi, sillä siihen vaikuttaa lähinnä vain suora valo. Kun mukin taakse asetetaan valkoinen paperiarkki, suora valo ikkunasta kimpoaa paperiarkista edelleen valaisten myös mukin takaosaa epäsuoralla valaistuksella.



KUVA 2. Epäsuora valo havainnollistetuna (Anton & Max 2015)

Valonsäteet kimpoilevat ympäröivistä objekteista useita kertoja. Jokainen eteenpäin kimmonnut valonsäde kantaa mukanaan aiempaa vähemmän energiaa, sillä aina objektin kohdatessaan osa säteen energiasta imeytyy kyseiseen kappaleeseen. Tämä toistuu niin kauan, kunnes valonsäteen energia on kulunut kokonaan pois. (Anton & Max 2015.)

Oikeassa maailmassa epäsuoraa valaistusta käytetään hyödyksi muun muassa valokuvausstudioissa sekä tv- ja elokuvakuvauksissa. Valoheijastimet ja taustakankaat ja -kartongit ovat usein käytössä kuvauspaikoilla valaisemassa tummia alueita ja häivyttämässä varjoja. (Klein 2009.)

2.2 Epäsuora valaistus 3D-mallinnuksessa

Epäsuora valaistus valaisee alueita, jotka eivät muutoin valaistu suorasta valaistuksesta, eli toisin sanoen se valaisee koko globaalia ympäristöä. Tätä kutsutaan 3D-maailmassa globaaliksi valaistukseksi, eli global illuminationiksi. 3D-mallinnusta varten on kehitetty erinäisiä algoritmeja, jotka laskevat valon kimpoilua ja joiden avulla saavutetaan efekti epäsuorasta valaistuksesta.

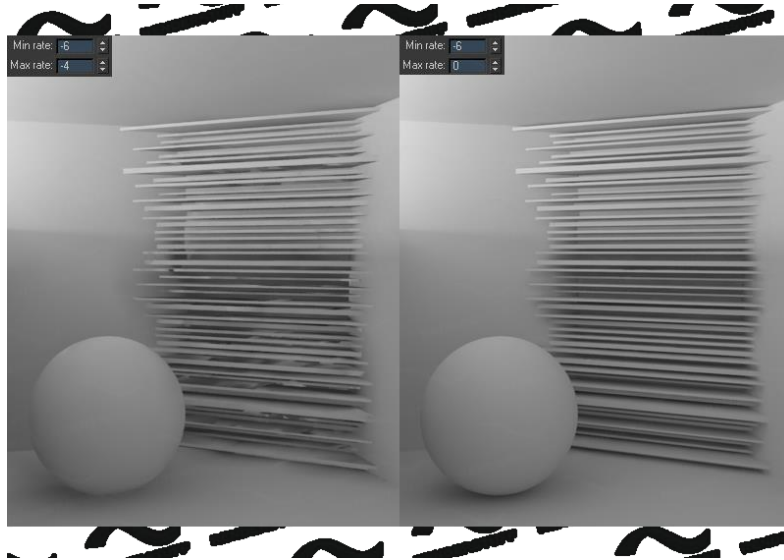
Globaali valaistus on syytä ottaa huomioon 3D-projektia työstäessä, sillä vaikka muutos voi olla hyvinkin hienovarainen, se lisää automaattisesti realismin tuntua lopputulokseen. Yleensä katsoja havaitsee pienet virheet renderöidyssä kuvassa, ja vaikka ei oltaisiinkaan varmoja siitä mikä kuvassa on vikana, katsoja silti tuntee, että jokin ei ole kuvassa oikein.

Nykyaikana globaali valaistus on laajalti käytetty ja suosittu tekniikka. Sitä käytettäessä valaistusartisti saa hyvännäköisen valaistuksen 3D-maailmaan vähemmällä vaivalla. Koska globaalin valaistuksen algoritmit laskevat heijastuvan valon värin ja intensiteetin, valaistusartistin tarvitsee nähdä vähemmän vaivaa uskottavan valaistuksen luomiseen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tarvitaan vähemmän valoja ja erilaisia kikkoja hyvän lopputuloksen saavuttamiseen, yleensä myös vähemmällä ajalla. Ennen kun tällaisia algoritmeja oli käytettävissä, valaistusartistin oli keskityttävä enemmän luomaan illuusiota epäsuorasta valosta erilaisin valoin ja valaistustekniikoin. (Wisslar & Harreld 2013, 372.)

Siinä missä valaistusartistin itsensä käyttämää aikaa kuluu vähemmän globaalia valaistusta käytettäessä, renderöintiajat etenkin monimutkaisia malleja renderöitäessä voivat olla melko pitkiä. On hyvä arvioida projektin alussa sitä, onko globaalin valaistuksen käyttö sopivaa ja tehokasta juuri kyseisessä tapauksessa. Esimerkiksi jos projektin aikataulu on tiukka tai mallinnettu tila on hyvin pimeä ja vähävaloinen, visuaalinen etu täydellisen globaalin valaistuksen käyttämisessä voi olla kovin pieni, kun samanaikaisesti renderöintiajat pysyvät tarpeettoman pitkinä. (Wisslar & Harreld 2013, 373.) Toisaalta voidaan väittää, että renderöintiaikaa vieviä ominaisuuksia käytetään jatkuvasti yhä huolettomammin, sillä renderöintialgoritmeja kehitetään jatkuvasti ja tietokoneiden tehot nousevat edelleen aivan peruskäyttäjälläkin.

On hyvä huomioida, että eri menetöt toimivat eri tavoin ja tuottavat erilaisia lopputuloksia. Käyttäjän on siis hyvä pohtia, mikä tekniikka on sopiva mihinkin tilanteeseen. Yleisesti ottaen algoritmit tuottavat realistisen globaalin valaistuksen ja simuloivat materiaalien color bleedingiä. Color bleedingillä tarkoitetaan sitä, että valon lisäksi myös esimerkiksi punaisen sohvan väri heijastuu tai ”vuotaa” valkoiselle seinustalle. Lisäksi algoritmeilla on mahdollista huomioida myös kaustiset efektit, eli valon taittuminen vaikka pa lasin tai veden läpi, tai heijastuminen peilistä. Kaikki menetöt eivät kuitenkaan laske kaustiikkaa algoritmeissaan. Miinuspuolena jotkut tekniikat ovat myös alttiimpia artifaktoitumiselle. (Wisslar & Harreld 2013, 373.) Artifaktoitumisella tarkoitetaan valojen ja varjoalueiden rikkoutumia, kuten ku-

vasta 3 voidaan huomata muun muassa säleikön varjoalueiden rikkoutumisen ja rosoisuuden.



KUVA 3. Artifaktoitumisesimerkki (Anton & Max 2015)

2.3 Epäsuoran valaistuksen vaikuttajat 3D-maailmassa

3D-maailmassa 3D-mallit, materiaalit ja valaistus toimivat tiiviisti yhdessä keskenään, ja on oleellista, että jokainen osa-alue on kunnossa, jotta renderöity lopputulos näyttää oikealta. Siihen, miltä globaali valaistus näyttää mallinnetussa ympäristössä, vaikuttaa paljolti samat asiat kuin mitkä vaikuttavat suoraankin valaistukseen.

Eryteisesti oikean maailman arvoihin perustuvia laskentatapoja, kuten fotonien käyttäessä on tärkeää huomioida tilan objektien skaalaus. Objektien olisi hyvä vastata realistisia mittoja, sillä myös fotonien käyttäytyminen määräytyy oikean maailman sääntöjen mukaan. Kun fotonit lähtevät valonlähteestä, ne menettävät energiaa tietyllä tavalla realistisiin arvoihin perustuen. Jos mallinnettu tila ja objektit ovat reaali maailmaan suhteutettuna esimerkiksi kovin suuria, fotonit eivät toimi tilassa realistisesti. Lopputuloksena on tällöin vääränlainen valaistus ja epärealistinen lopputulos. (Green 2015d.)

Materiaalit ja valot toimivat tiiviisti keskenään, sillä kunnollinen valaistus päästää objektien materiaalit oikeuksiinsa ja kunnollisilta materiaaleilta valot pääsevät muun muassa heijastumaan oikein. Materiaaleilla ei sinänsä ole kovinkaan vaikutusta globaaliin valaistukseen, mutta mahdollisimman paljon realistisiin arvoihin perustuvilla materiaaleilla varmistetaan, että valo kimpoilee eri pinnoilta oikein, ja antaa oikeanlaisen lopputuloksen.

Voisi sanoa, että tärkein vaikuttaja epäsuoraan valaistukseen on se, kuinka tarkasti ja kuinka korkeita arvoja käyttäen se lasketetaan tilaan. Laskenta-arvojen tarkkuus vaikuttaa luonnollisesti renderöinnin lopputulokseen. Alhaiset laskenta-arvot tuottavat epätarkemman lopputuloksen. Alhaisilla arvoilla epäsuora valaistus laskettuu nopeammin, mutta voi olla alttiimpi visuaalisille virheille. Korkeammilla arvoilla laskettu valaistus taas useasti näyttää paremmalta ja realistisemmalta sekä sisältää yleensä vähemmän virheitä. Korkeat laskenta-arvot tarkoittavat kuitenkin pidempää laskenta-aikaa, ja on mahdollista, että liiallisuuksiin asetettuina tuottavat jälleen virheellisiä lopputuloksia.

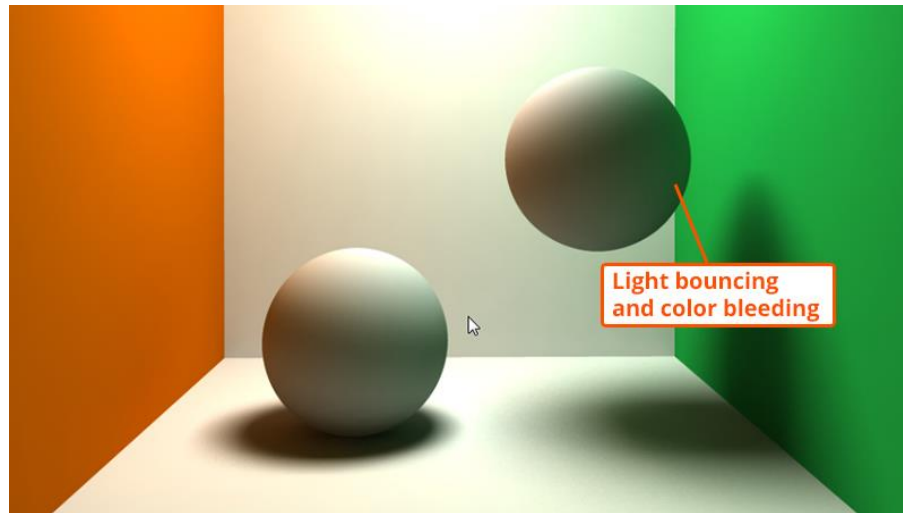
3 3DS MAXIN EPÄSUORA VALAISTUS

3ds Maxissa on muutamia erilaisia laskentatapoja epäsuoralle valaistukselle. Laskentatavat eroavat melko lailla toisistaan ja tuottavat keskenään hieman eriäviä lopputuloksia. Opinnäytetyössä käsitellään 3ds Maxissa käytetyn renderöijän mental rayn oma global illumination -algoritmi, eli photon mapping, final gather, radiosity, sekä ambient occlusion.

3.1 3ds Maxin global illumination

Tässä luvussa käsitelty global illumination käsittää 3ds Maxissa käytetyllä mental ray -renderöijällä luotua epäsuoraa valaistusta, joka tapahtuu photon mapping -metodilla. Global illumination on renderöijälle ominainen termi, sillä muissa ohjelmissa se käsittää epäsuoraa valaistusta tai mitä tahansa renderöintialgoritmia, joka laskee kimpoilevaa valoa (Wisslar & Harreld 2013, 370).

Kuvassa 4 on esimerkki globaalin valaistuksen käytöstä. Kuvasta voi huomata värinvuotamiseffektin, kun vihreän seinän väri heijastuu tilan palloihin. Efekti voidaan huomata etenkin oikeanpuoleisesta pallosta, sillä se on lähempänä vihreää seinää. Vastaavasti oranssin seinän väri heijastuu pallojen toiselle puolelle. Valaistus on epäsuoraa valaistusta, sillä efekti ei tule esimerkiksi vihreästä tai oranssista valosta, vaan valkoisen valon kimpoamisesta värilliseen seinään ja siitä edelleen huoneen palloihin. (Digital-Tutors Team 2013.)



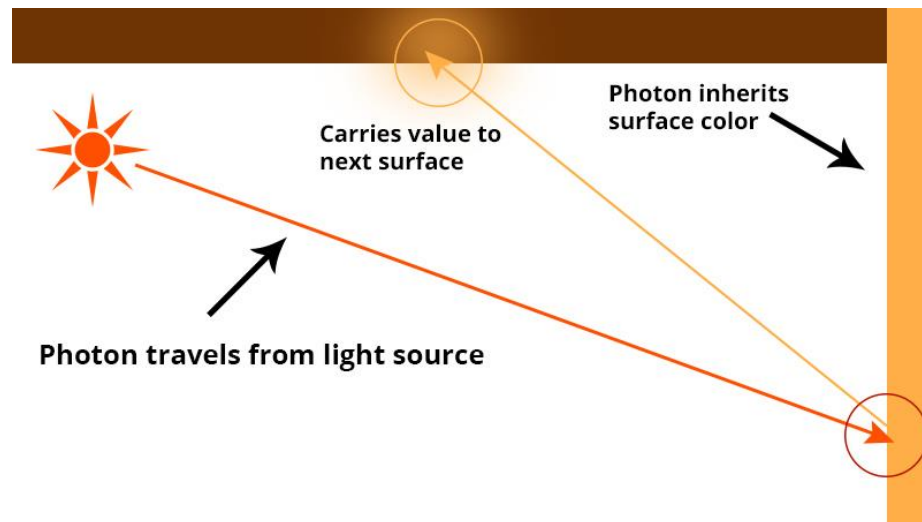
KUVA 4. Esimerkki globaalien valaistuksen käytöstä (Digital-Tutors Team 2013)



KUVA 5. Global illuminationin fotonit (Digital-Tutors Team 2013)

3ds Maxissa mental raylla tuotettu globaali valaistus toteutuu fotoneilla, jotka ovat havainnollistettuina kuvassa 5. Fotonilla tarkoitetaan valopartikkelia, joka kantaa mukanaan valoenergiaa ja väritietoa (Steen & Boardman 2010, 12). Kuvassa 6 havainnollistetaan, kuinka fotonit säteilevät 3D-tilaan valonlähteestä, mikä voi olla niin tavallinen lamppu kuin ulkoa tuleva auringonvalokin. Tullessaan kontaktiin jonkin pinnan kanssa ne perivät tämän pinnan valoarvon ja värin. Kimmotessaan edelleen pois pinnalta kontaktissa olleet fotonit vievät mukanaan periytyneet arvot aina seuraavalle pinnalle ja jatkavat kimpoamista, kunnes absorboituvat hiljalleen pois.

(Digital-Tutors Team 2013.) Näin ollen fotonit luovat mallinnettuun tilaan sulavan epäsuoran valaistuksen. Tätä prosessia kutsutaan photon mappingiksi. Photon mapping laskee valon kimpoilun ja color bleedingin lisäksi myös kaustiikan (Wisslar & Harreld 2013, 377).

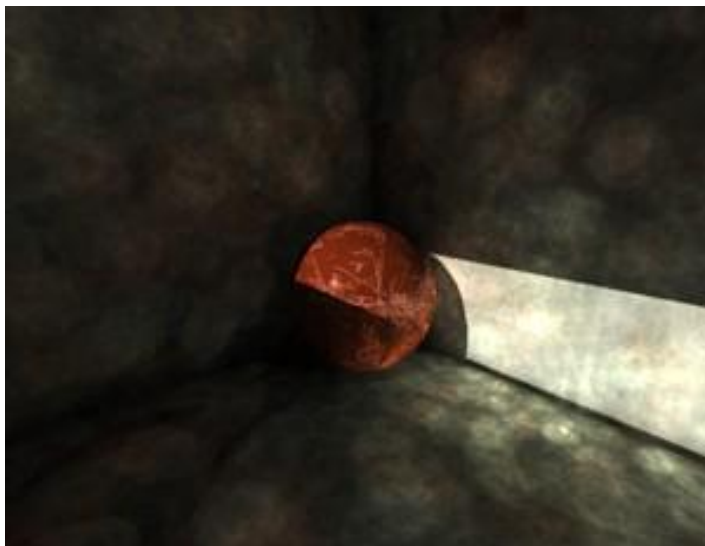


KUVA 6. Fotonin kimpoaminen (Digital-Tutors Team 2013)

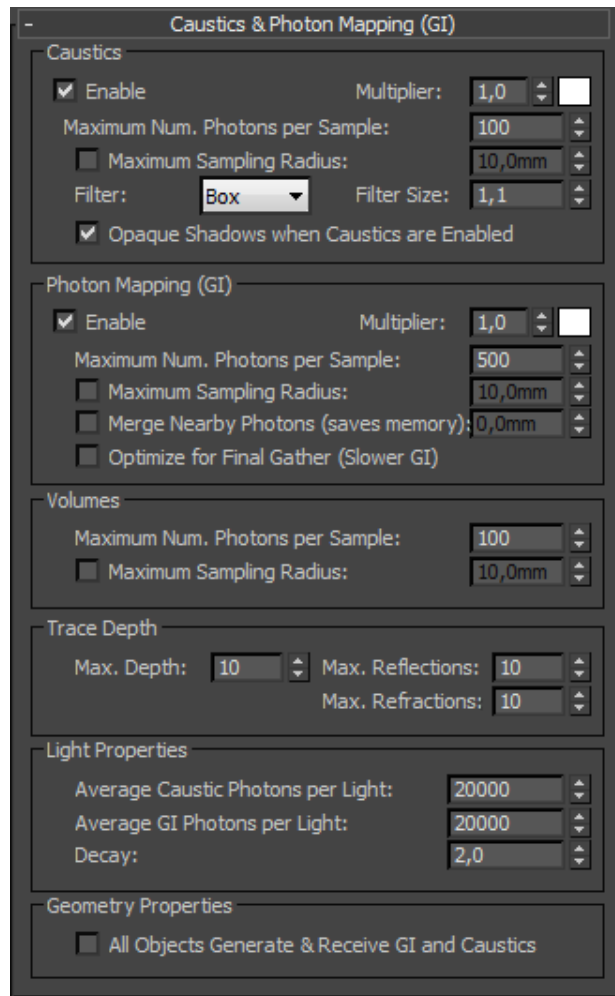
Mental rayn global illumination pääsee parhaiten oikeuksiinsa käytettynä tarkkuutta ja realismia vaativissa malleissa. Metodi on hyvä ottaa huomioon myös, jos mallinnetussa tilassa käytetään paljon erilaisia valoja ja kontrasteja (Steen & Boardman 2010, 13). Esimerkiksi arkkitehti-, sisätila- ja fotorealisticissa renderöinneissä globaali valaistus on mainio työkalu. Sen sijaan jos projektissa haetaan sarjakuvamaisempaa tai tyyliä lopputulosta, epäsuoran valaistuksen efektejä saatetaan jopa haluta välttää. (Digital-Tutors Team 2013.)

Photon mappingin käytössä voi kuitenkin olla omia haasteitansa. Eräs yleinen ongelma on renderöinnin aikana pinnoille ilmestyvä läikkyisyys, kuten kuvasta 7 voidaan huomata. Tämä on kuitenkin yleensä helppo korjata lisäämällä esimerkiksi fotonien määrää. On kuitenkin huomioitava, että erilaiset korjaustoimenpiteet voivat lisätä huomattavastikin renderöintiaikaa. Jotta liian isoja kasvuja renderöintiajoissa pystytään välttämään, photon mappingin kanssa käytetään useasti final gatheria. Final gather tasoittaa photon mappingin virheitä ja läikkyvyyttä tehoedukkaammin ilman että 3D-tilaan tarvitsee laskettaa hurjia määriä fotoneita tai että asetuksia tar-

vitsisi nostaa kohtuuttoman korkeiksi. (Digital-Tutors Team 2013.) Mental rayn global illumination tuottaa itsenäisenä prosessina tarkempia lopputuloksia kuin final gather, mutta on raskaampi laskea (Wisslar & Harreld 2013, 377). Tästä syystä on viisasta kääntyä nopeammin laskettavan final gatherin puoleen kauneusvirheiden korjausten suhteen.



KUVA 7. Läkikkäät kuvat ovat photon mappingin yleinen ongelma (Harriss 2015)

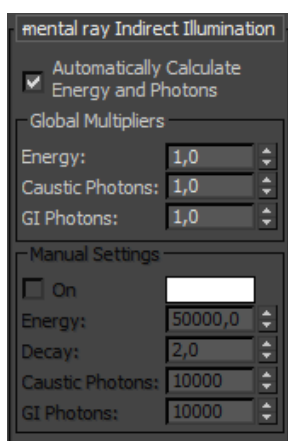


KUVA 8. Photon mappingin asetusikkuna

Mental rayn global illumination ei ole oletusasetuksena päällä, vaan se täytyy muistaa erikseen ottaa käyttöön, jotta päästään käsiksi sen renderointiasetuksiin (kuva 8). Globaalin valaistuksen tärkeimpiä asetuksia ovat valosta lähetettävien fotonien määrä sekä lopullisen epäsuoran valaistuksen laskentaan käytettävien fotonien määrä, kun fotoni keskiarvottaa vastaanottamansa valaistusarvot ympäröivien fotonien arvojen kanssa. Keskiarvotuksessa huomioitavien fotonien määrää voidaan kontrolloida Maximum Num. Photons per Sample -luvulla. (Green 2015b.) On pidettävä huoli, että laskennassa huomioidaan tarpeellinen määrä ympäröiviä fotoneita, jotta vältetään läikikkyyttä ja valaistuksesta saadaan sulava. Tätä arvoa nostettaessa lopullisesta laskennasta saadaan poistettua mahdollista kohinaa, mutta vastaavasti se lisää kuvaan sumeutta. Arvoa laskemalla vaikutus on päinvastainen. (Autodesk 2014b.) Vaihtoehtoisesti verrattavat

valoinformaatiot voidaan kerätä myös tietyltä säteeltä kunkin fotonin ympäriltä. Säteen suuruutta voidaan kontrolloida Maximum Sampling Radius -arvoa muuttamalla. Säteen kokoa määritettäessä on hyvä huomata suhteuttaa se 3D-tilan mittakaavaan. Esimerkiksi isossa tilassa yhden senttimetrin säteeltä ei saada kerättyä tarpeeksi vertailuinformaatiota lopullisen epäsuoran valaistuksen laskemiseksi. (Green 2015b.) Koska vertailu on heikkoa tai sitä ei tapahdu ollenkaan, lopputuloksena on läikikäs kuva.

Globaalin valaistuksen asetukset eivät rajoitu vain renderöintiasetusikkunaan. Koska globaalin valaistuksen käyttämät fotonit saavat alkunsa valonlähteestä, jokainen käytettävä valo sisältää fotoniasetuksia, jotka vaikuttavat epäsuoran valaistuksen renderointiin. Kuvassa 9 nähdään valojen oma epäsuoran valaistuksen asetussikkuna.



KUVA 9. Valokohtainen fotoniasetusikkuna

Valojen fotoniasetukset toimivat oletuksena yhteistyössä renderöintiasetuksista määrättyjen fotonien kanssa. Matkaan lähetettävien fotonien määrää per valo kontrolloidaan yleensä photon mappingin omista valoasetuksista jotka löytyvät renderöintiasetuksista. Valojen omista asetuksista voidaan oletuksena säätää fotoneihin vaikuttavia kertoimia, kuten yllä olevasta kuvasta voidaan huomata Global Multipliers-, eli globaalit kertoimet, asetussikkuna. GI Photons -kertoimella voidaan valokohtaisesti kontrolloida universaalisti asetettua valonlähteestä lähetettävää fotonimäärää. (Green 2015b.) Käytettävien fotonien määrää nostamalla saadaan laskettua tar-

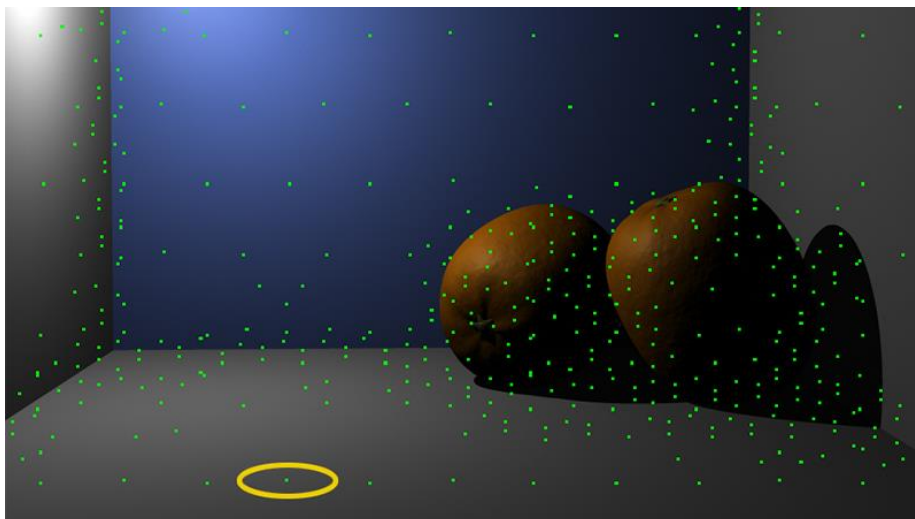
kempi epäsuora valaistus, mutta fotonimäärän nousu korottaa aina renderöintiäikää sekä vaatii laskemiseen enemmän muistia (Autodesk 2014b).

Valojen globaaleista kertoimista on mahdollista säätää myös fotonin energiaa, jolla se lähtee liikkeelle valosta. Arvolla yksi fotonit sisältävät sataprosenttisesti valonlähteen valoenergian lähtiessään liikkeelle. Jos arvo esimerkiksi puolitetaan, fotonit sisältävät potentiaalisesta valoenergiasta vain puolet, jolloin ne eivät valaise tilaa yhtä tehokkaasti. Eri kertoimien sijaan valonlähteen asetuksia on mahdollista säätää kuitenkin myös manuaalisesti, jolloin fotoniasetukset ovat täysin valokohtaisia eivätkä globaalin valaistuksen fotoniasetukset vaikuta enää valoon. (Green 2015b.)

Globaalin valon asetuksissa decay-arvo, eli se kuinka nopeasti fotoni menettää energiaansa, on tärkeä. 3ds Maxissa tällä arvolla on oletusarvo kaksi, eikä siihen yleensä pidä puuttua, sillä tämä arvo varmistaa sen, että fotoni menettää energiaansa kuten se menettäisi myös oikeassa maailmassa. (Green 2015b.) Tällä valoenergian heikentymisarvolla saavutetaan realistisia tuloksia kuitenkin vain, jos myös valonlähteelle on annettu reaali maailmaan perustuvia valoenergia-arvoja (Autodesk 2014b).

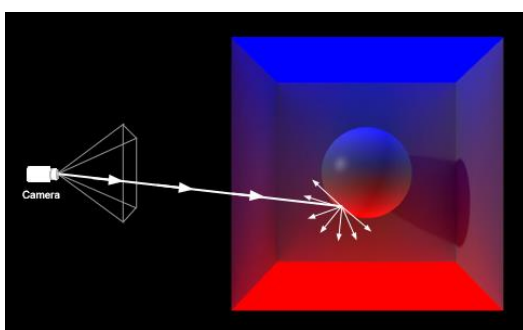
3.2 Final gather

Final gather on epäsuoran valaistuksen työkalu, jonka tekniikka perustuu fotoneiden sijaan kamera- tai tarkastelunäkymästä 3D-tilaan laskettuihin useisiin pisteisiin (Cox 2014a). Pisteet keskittyvät ympäristössä usein alueisiin, joissa on korkeat väri- ja valokontrastit, geometrian vaihteluita, sekä vastaavanlaisten alueiden ympärille (Masters 2015). Kuvasta 10 nähdään, kuinka pisteet keskittyvät kulma- ja nurkka-alueisiin sekä hedelmien kohdalle.



KUVA 10. Final gather –pisteet (Masters 2015)

Tilaan lasketut pisteet lähettävät ympärilleen satunnaisesti säteitä puolipallon muotoiselle alueelle, mutta periaatteena on kuitenkin täyttää puolipallon muotoinen alue satunnaisen optimaalisesti täysin mielivaltaisen jakauman sijaan (Wisslar & Harreld 2013, 374). Kun lähetetyt säteet tulevat kontaktiin pinnan kanssa, ne arvioivat kontaktipinnan kirkkauden ja väriarvot (Masters 2015). Saadut arvot palautetaan lähtöpisteeseen, jolloin saadaan tieto, miltä kunkin pisteen kuuluu näyttää renderöidyssä kuvassa ympäristöön nähden (Steen & Boardman 2010, 8). Jos pisteestä lähetetyt säteet kohtaavat paljon valaistuja pintoja, lähtöpisteelle lasketaan kirkkaampi epäsuora valaistus, ja toisinpäin (Wisslar & Harreld 2013, 375). Jotta renderöinnin lopputuloksesta saadaan sulava, pisteeseen lähetetyt tiedot keskiarvotetaan ympäröivien pisteiden arvoilla (Steen & Boardman 2010, 8). Kuvassa 11 havainnollistetaan final gather -pisteen lähettämistä 3D-tilaan ja säteiden leviämistä.

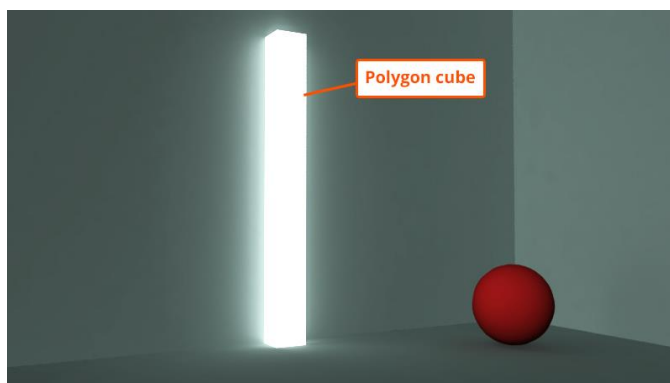


KUVA 11. Final gather –säteet (Hill 2003)

Renderöitävään kuvaan saadaan sitä enemmän tarkkuutta ja sulavuutta, mitä enemmän säteitä yhdestä pisteestä lähetetään. Luonnollisesti tämä kuitenkin kostaatuu renderöintiajassa. (Masters 2015.) Lähtökohtaisesti final gather on kuitenkin melko aika- ja tehoedullinen vaihtoehto epäsuoran valaistuksen toteuttamiseen.

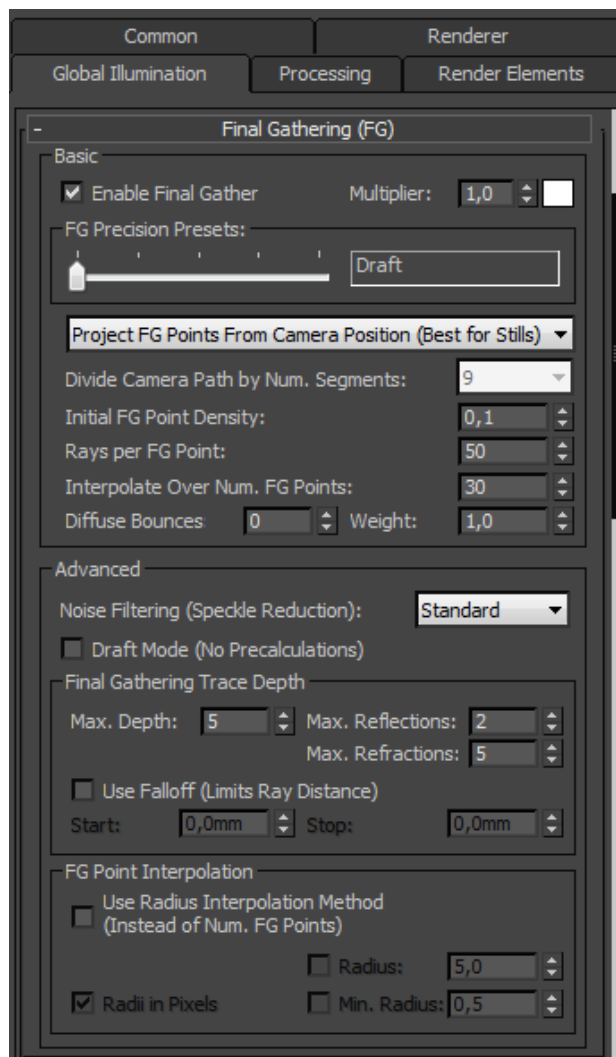
Harmillisesti nopeaa laskenta-aikaa vastaan final gather tuottaa epätarkempia renderöintituloksia kuin verrattuna esimerkiksi photon mapping-metodiin. Lisäksi se ei aina välttämättä tuota ambient occlusion -tyyppisiä varjoja paikkoihin, missä niiden kuuluisi olla. (Wislar & Harreld 2013, 376.)

Global illuminationista poiketen final gather -tekniikalla pystytään luomaan 3D-tilaan valaistus myös ilman varsinaisia, suoria valonlähteitä. Tämä johdetaan nimenomaan siitä, että final gather ei käytä laskennassaan valonlähteistä kimpoilevia fotoneita, vaan ympäristöön laskettuja pisteitä ja näistä lähteviä säteitä. (Livny 2008, 550.) Kuten kuvasta 12 voidaan huomata, tila voidaan valaista myös pinnan tai objektin avulla lisäämällä esimerkiksi objektiin hehkuva materiaali.



KUVA 12. Final gather laskee epäsuoran valaistuksen myös itsevalaisevista objekteista (Masters 2015)

Final gather sisältää laajan kirjon asetuksia, jotka vaikuttavat renderöinnin lopputulokseen sekä renderöintiaikaan. Näistä käydään läpi olennaisimmat asetukset. Kuvassa 13 on final gatheringin renderöintiasetukset avattuna 3ds Maxin versiosta 2015.



KUVA 13. Final gatherin renderöintiasetukset

Point density vaikuttaa kamerasta tai tarkastelunäkymästä lähetettävien pisteiden tiheyteen, toisin sanoen määrään. Kun tätä arvoa asetetaan korkeammaksi, pisteet sijaitsevat lähempänä toisiaan suurempana massana. (Autodesk 2014c.) Korkea point density -arvo tuottaa enemmän informaatiota ympäristöstä, ja näin ollen renderöitävästä kuvasta saadaan tarkempi ja laadukkaampi (Cox 2014a).

Final gather -pisteen ympäristöön päästämiä säteitä kontrolloidaan rays per FG point -arvolla. Kuten point densitykin, myös tämän asetuksen nostaminen tuottaa tarkempia lopputuloksia. Suurempi määrä säteitä kerää enemmän valaistusinformaatiota, ja kun final gather -pisteet keskiarvottavat vastaanottamansa lukemat, niillä on paljon enemmän ympäristöstä kerättyä informaatiota, jonka pohjalta perustaa epäsuora valaistus 3D-

tilaan. (Cox 2014a.) Korotettu säteiden määrä myös vähentää renderöidyn kuvan kohinan määrää, mutta pidentää myös renderöintiäikää (Autodesk 2014c).

Interpolate over num. FG points -asetus käsittää käytettävien final gather -pisteiden lukumäärän, joka otetaan huomioon, kun pisteisiin lähetettyjä valaistustietoja keskiarvotetaan ympäröivien informaatiopisteiden kanssa (Autodesk 2014c). Jos keskiarvotettavien pisteiden lukumäärä asetetaan liian alhaiseksi, lopputulokseksi voidaan saada läikikäs kuva, sillä käytettävissä ei ole tarpeeksi valaistusinformaatiota tasoittamaan pisteiden välisiä arvoeroja. Liian korkea arvo puolestaan voi aiheuttaa informaation häviämisen, kun jokainen final gather -piste laskee keskiarvon liian laajalta alueelta. Keskiarvotukseen käytettävien pisteiden lukumäärä kulkee käsi kädessä muun muassa tilaan lähetettyjen pisteiden määrän kanssa. (Cox 2014a.) Optimaalisesti käytettynä tällä asetuksella saadaan hävitettyä mahdollista kohinaa sekä sulavampia lopputuloksia. Arvon nostaminen vaikuttaa toki myös renderöintiäikaan, sillä se lisää pisteiden välisiä laskentamääriä, mutta loppujen lopuksi renderöintiäajan nousu ei ole kovin mittavaa lopputulokseen nähden. (Autodesk 2014c.)

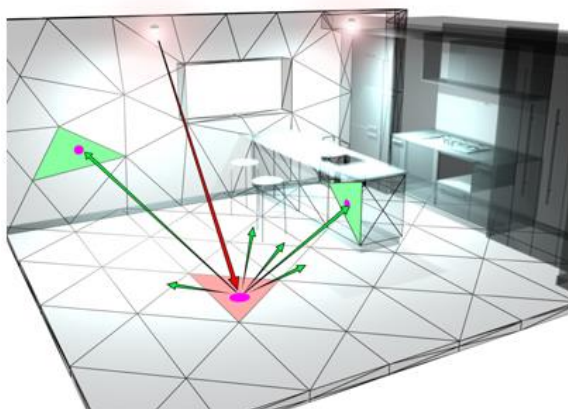
Valaistusrvojen keskiarvottamiselle on olemassa myös vaihtoehtoinen asetus, joka kerää keskiarvotukseen käytettävän vertausinformaation tietyltä säteeltä kuhunkin final gather -pisteeseen nähden. Oletuksena 3ds Maxin epäsuoran valaistuksen keskiarvotusinformaatio kerätään säätämällä final gather -pisteitä ympäröivien huomioonotettavien pisteiden lukumäärää.

Final gather -säteitä on mahdollista kimmottaa pinnoita useamman kerran. Diffuse bounces -luku määrittää, kuinka monta kertaa säde kimpoaa uudelleen aina kohdattuaan uuden pinnan. Näin ollen säteillä on mahdollisuus kerätä valaistusinformaatiota laajemmalti pitkin ympäristöä. (Cox 2014a.) Jos epäsuoran valaistuksen laskettamiseen käytetään ainoastaan final gatheria, tämä on vartenotettava asetus hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. Jos final gather on kuitenkin käytössä mental rayn global

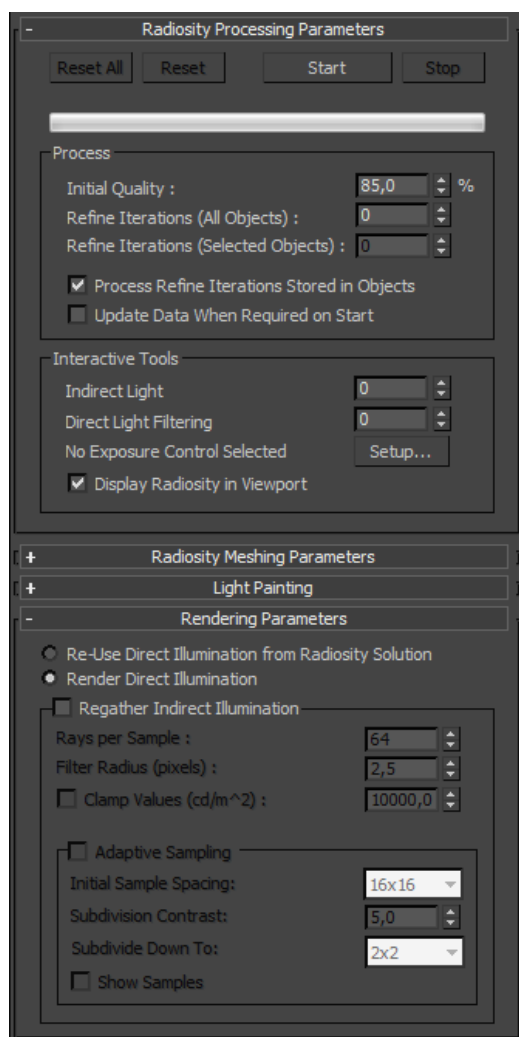
illuminationin kanssa, tällä asetuksella ei ole mitään vaikutusta (Autodesk 2014c).

3.3 Radiosity

Radiosity oli ensimmäinen laajalle levinnyt algoritmi globaalien valaistuksen luomiseen (Wisslar & Harreld 2013, 374). Se on toimintatavaltaan melko lailla erilainen kuin esimerkiksi final gather, sillä siinä missä final gather laskettaa värin ja valon jokaiselle ruudun pikselille, radiosity laskettaa ne 3D-ympäristön objektien pinnoille. Tämä vanhempi tekniikka toimii niin, että se jakaa tilan geometrian polygoniverkostoksi, jonka pieniksi jaettuja pintoja kutsutaan myös elementeiksi. Pintojen verkostoinnin jälkeen valoa kimmotetaan pinnalta toiselle, jolloin algoritmi laskee, kuinka paljon valoa siirtyy kultakin elementiltä seuraavalle (kuva 14). Saadut arvot tallennetaan jokaiselle elementtipinnalle. (Autodesk 2014d.) Polygoniverkon tiheys sekä valon kimpoilun määrä ovat täysin käyttäjän määriteltävissä, mutta toki kovemmat asetukset vievät enemmän aikaa ja tehoa, sekä toisinpäin. Radiosityä käytettäessä hienojakoisempi polygoniverkosto tuottaa tarkempia ja realistisempia laskelmatuloksia. (Wisslar & Harreld 2013, 374.)



KUVA 14. Radiosityn elementit ja valon kimmotus (Autodesk 2014)

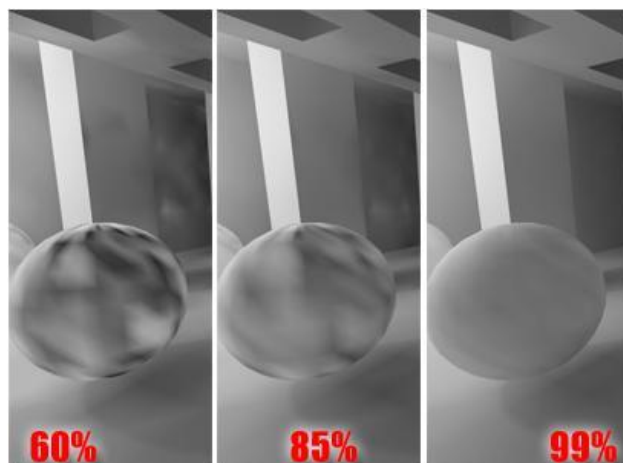


KUVA 15. Radiosityn asetusikkuna

Radiosity saadaan 3ds Maxissa käyttöön valitsemalla käyttöön scanline-renderöijä ja aktivoimalla radiosity, jolloin päästään käsiksi renderöintiasetuksiin (kuva 15). Renderöintiprosessi aloitetaan yleensä määrittelemällä polygoniverkko ja sen asetukset. Tiheämpään verkostoon saadaan varastoitua tarkempaa dataa, joten sen asetukset on tärkeä ottaa huomioon hyvää lopputulosta tavoitellessa. Radiositeetilla on mahdollista laskettaa elementit siten, että se keskittää hienojakoisempaa verkostoa tarvituille alueille. Tällaisia ovat esimerkiksi kontrastialueet. (Green 2015c.) Samalla periaatteella myös final gather laskettaa pisteensä.

Valaistuksen laadun kannalta tärkeimpiä tekijöitä ovat muun muassa Initial quality -prosentti sekä iteraatiot. Käytännössä Initial Quality -prosentti määrittelee, kuinka tarkasti radiosity laskettaa valon jakauman. Kuvassa

16 esimerkki eri tarkkuusasetuksista. Pienemmällä prosentilla valaistus on läikikästä, kun taas isommalla prosentilla lopputulosta saadaan luonnollisemmaksi. Iteraatioilla taas voidaan korjata kauneusvirheitä, sillä ne tasoittavat mahdollisia valovirheitä, valaistuksen läikikkyyttä sekä kohinaa. (3dsmax-tutorials 2015.)



KUVA 16. Eri Initial Quality -asetuksia (3dsmax-tutorials 2015)

Radiosityn suosittu ominaisuus, eli valaistuslaskennan uusiokäyttö ei ole oletuksena käytössä, vaan se täytyy laittaa erikseen päälle. Tämä kannattaa muistaa, jotta epäsuora valaistusta ei tarvitse lasketta uudelleen. Tällä tavoin voidaan minimoida laskentaprosesseja ja nopeuttaa renderöintejä.

Radiosityn hyväksi puoleksi voidaan mieltää sen kätevyys siinä mielessä, että yksittäisiä kuvia renderöitäessä epäsuora valaistus tarvitsee lasketta vain kerran, koska laskennan tulokset tallentuvat geometriaan. Tämä pätee myös animaatioihin, joissa kamera on ainoa liikkuva komponentti. Esimerkiksi tavallisissa arkkitehtivisuaalisoinneissa tämä on ollut hyödyllinen työväline, joskin vaikuttaa siltä, että nykypäivänä radiosity ei ole enää yhtä suosittua, ja tilalle on otettu uudempia metodeita. (Wisslar & Harreld 2013, 374.)

Animaatiotuotannoissa radiosity ei ole kovinkaan käytettyä, sillä se on liian hidas, jos käytössä on monimutkaisempaa geometriaa. Sen käyttämisen algoritmin vuoksi laskenta-aika on suoraan suhteessa 3D-ympäristön

geometrian monimutkaisuuteen. Näin ollen radiosityä on parasta käyttää projekteissa, joissa tilan geometria pysyy melko yksinkertaisena ja valon jakauma melko tasaisena. (Wisslar & Harreld 2013, 374.) Tästä voidaan tehdä päätelmiä, että ehkä aina kasvava hyperrealismin tavoittelu erittäin raskaine geometrioineen on jo itsessään vähentänyt radiositeetin käyttöä, sillä sen laskennasta on saattanut tulla liian raskasta jo pelkkien yksittäiskuvien renderöintiin.

Radiosityn avulla skeneen voidaan laskettaa color bleeding, eli värinvuotamisefekti, sekä valon heijastukset eri pintojen välillä, vaikkakin se lasketaan olettaen, että jokainen tilan pinta on mattapintainen (Wisslar & Harreld 2013, 374). Tällä tekniikalla ei siis voida laskea heijastuksia, kaustisia efektejä tai läpinäkyviä pintoja (Wisslar & Harreld 2013, 374; Autodesk 2014c). Koska tällä menetelmällä on omat puutteensa, niitä kompensoimaan on käytetty radiosityn kanssa yhteistyössä final gather -laskentaa. Final gather täydentää renderöinnin lopputulosta laskemalla muun muassa mahdolliset kaustiset efektit ja peilimäiset pintaheijastukset. (Brooker 2008, 104.)

3.4 Ambient occlusion

Ambient occlusion on yksi epäsuoran valaistuksen käyttökoneistoista. Se on kuitenkin vain osittainen epäsuoran valaistuksen metodi, sillä se ei laske valon leviämistä ympäristössä. Se laskee ainoastaan ympäröivästä valosta aiheutuvat varjot. (Wisslar & Harreld 2013, 386.) Tämän avulla 3D-kuvaan saadaan enemmän kontrastia, sillä ambient occlusion korostaa kaikkia pieniä rakoja ja paikkoja, joissa objektit kohtaavat toisensa, sekä muita varjoisia alueita. Tällä tavoin saadaan lisättyä realismia ja objektien välistä erottuvuutta renderöityihin kuviin. (Steen & Boardman 2010, 13.) Tämän lisäksi eri objektien ja pintojen välille saadaan yleensä maahan kiinnittyneisyyden tuntua, sillä ambient occlusion luo ja korostaa kontaktivarjoja. Jos kontaktivarjot ovat heikkoja tai niitä ei ole, objektit tuntuvat yleensä leijuvan ilmassa, vaikka totuus olisi toinen. Tästä esimerkki kuvassa 17, jossa vasemanpuoleisessa ei ole käytössä ambient occlusionia,

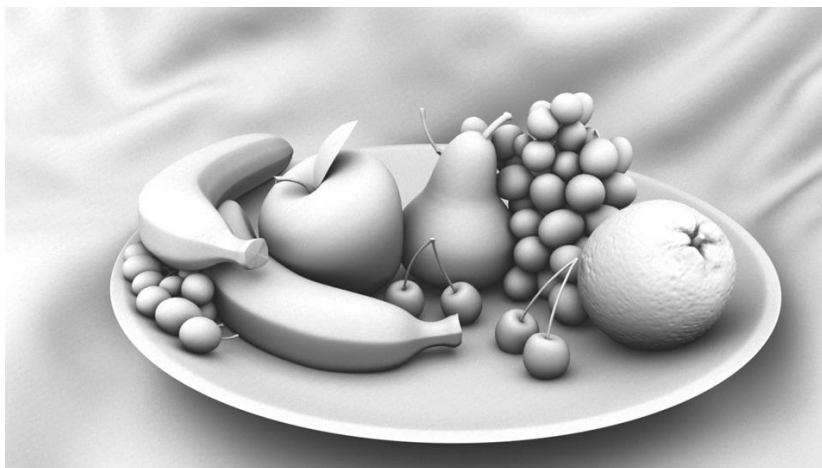
ja oikeanpuoleisessa kuvassa se on otettu käyttöön. Vasemmanpuoleinen helikopteri ei tunnu olevan kiinni maassa, vaan se tuntuu enemmän leijuvulta. Oikeanpuoleisessa helikopterissa ambient occlusion -varjot kiinnittävät helikopterin tukevammin maahan.



KUVA 17. Ambient occlusion kotostaa kontaktivarjoja (Autodesk 2014)

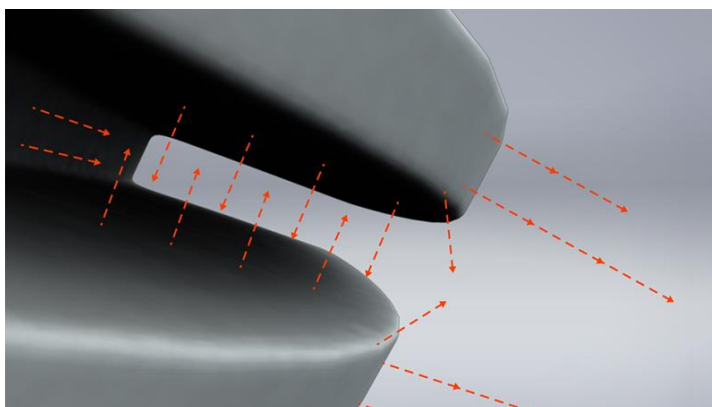
Voi olla siis hyödyllistä käyttää ambient occlusionia globaalin valaistuksen vastapainona, sillä siinä missä globaali valaistus pyrkii täyttämään 3D-ympäristön valolla, ambient occlusion luo renderöityihin kuviin kontrastia ja tasapainoa tuomalla varjoalueita takaisin näkyviin (Steen & Boardman 2010, 86).

Ambient occlusion käsittää ympäröivän valon ja varjoutumat, jotka aiheutuvat kun objektit estävät ympäröivän valon kulun. Tämä tieto varjoutumista kerätään harmaasävytteisille mapeille, eli tekstuurikartoille, mistä esimerkiksi kuvassa 18. (Steen & Boardman 2010, 13.) Tekstuurikartoilla vaaleat tai valkoiset alueet kuvaavat alueita, jotka ovat valaistuja, ja harmaat tai mustat alueet paikkoja, jonne valo ei pääse (Autodesk 2014a). Nämä mapit voidaan renderöidä joko kiinni haluttuun kuvaan tai erikseen, jolloin varjotuksen lopputulosta voidaan säätää halutunlaiseksi jälkituotannossa (Steen & Boardman 2010, 13).



KUVA 18. Ambient occlusion -tekstuurikartta (Ucbugg 2015)

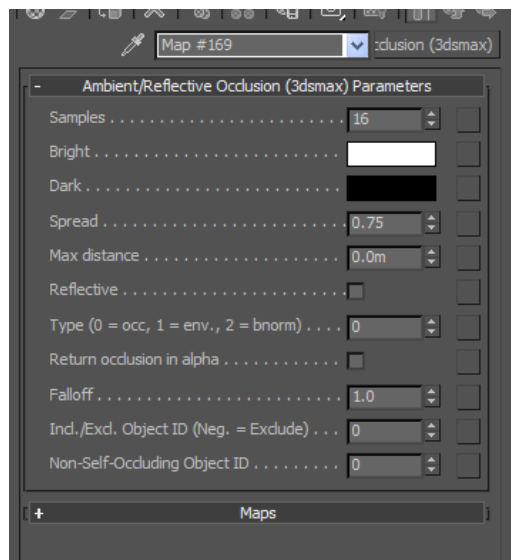
Tällä tavoin tuotetut varjot muodostuvat, kun mallissa sijaitsevien geometrioiden pinnalta lähetetään kuvan 19 tavoin säteitä lähiympäristöön. Kun nämä säteet tulevat kontaktiin toisen pinnan kanssa, säteen lähtöpinta muuttuu tummemmaksi. Jos säteet taas eivät löydä pintakontaktia, kyseinen pinta ilmenee valaistumpana. Ambient occlusion ei lasketa objekteja, joilla on läpinäkyvyyttä. Tämä johtuu siitä, että algoritmi tarkastelee vain sitä, estääkö geometria ominaisuuksiltaan valon kulun vai ei. Jos objekti läpäisee valoa, sen laskettaminen jätetään huomiotta. (Masters 2013.) Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kaikki, mikä sijaitsee läpinäkyvän objektin takana, ei ole nähtävissä ambient occlusion -mapissa (MintViz 2013).



KUVA 19. Ambient occlusion -säteet (Masters 2013)

Occlusion-varjot on mahdollista ottaa käyttöön kahdella tapaa. Kuten on jo mainittu, ne voidaan renderöitä erikseen omaksi tiedostokseen, jolloin niitä voidaan hyödyntää jälkituotannossa, tai ne voidaan renderöidä kiinni tarvittavaan kuvaan. Monet 3D-mallintajat suosivat ensimmäistä tapaa, sillä silloin saadaan enemmän kontrollia ambient occlusion -varjojen vaikutuksesta lopulliseen kuvaan. 3ds Maxissa occlusion-varjot on mahdollista laskea kiinni renderöitävään kuvaan käyttämällä Arch & Design -materiaaleista löytyviä ambient occlusion -asetuksia.

Kun varjot halutaan laskea erikseen, ratkaisuna on luoda uusi mental ray -materiaali, jonka surface- eli pintashaderiin asetetaan Ambient/Reflective occlusion -materiaali. Kun materiaali on luotu, se voidaan asettaa renderöintiasetuksista Material override -kohtaan, jolloin kyseinen materiaali ajetaan muiden materiaalien yli renderöintivaiheessa. (Isaksen 2010.) Jotta ambient occlusion saadaan lasketettua ilman ulkopuolisia vaikuttajia, epäsuora valaistus, kuten global illumination ja final gather kannattaa kytkeä pois päältä (Cox 2014b).

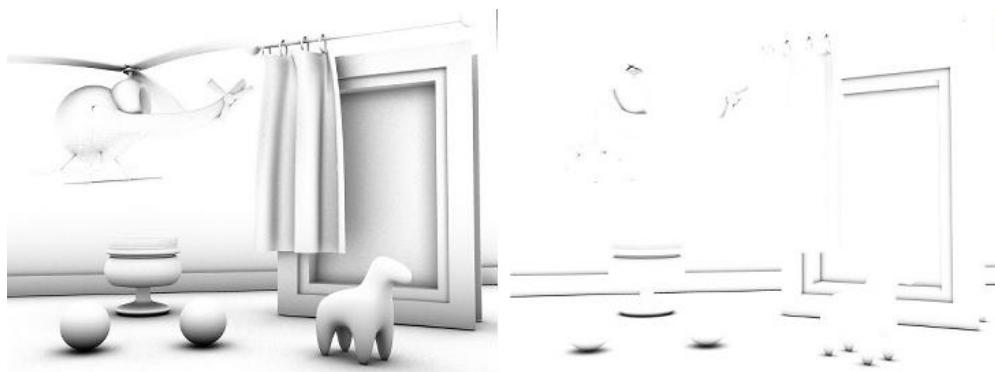


KUVA 20. Mental rayn ambient occlusion -asetukset (Cox 2014)

Kuvassa 20 on mental rayn ambient occlusionin asetuskikuna. Yksi tärkeimmistä asetuksista on säteiden määrä, jota käytetään varjojen laskemiseen, eli samples-asetus. Isommalla sädemäärällä saadaan sulavampia ja tarkempia tuloksia renderöintiajan nousua vastaan, kun taas pienemmällä

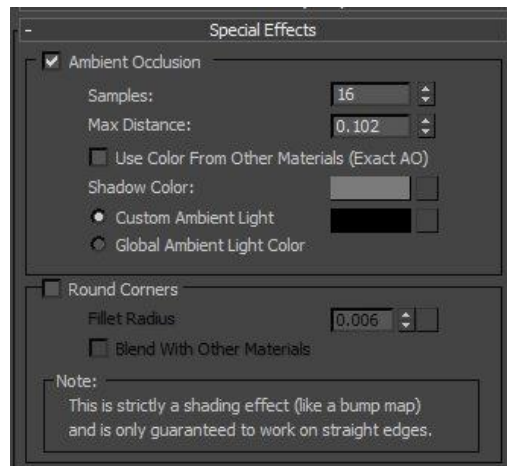
sädemäärällä lopputulos voi näyttää rakeisemmalta ja vähemmän tarkalta. (Masters 2014.)

Varjojen lopputulosta on mahdollista muokata maksimietäisyysarvolla. Tämä arvo määrittää, kuinka pitkältä matkalta säteet etsivät geometriaa varjojen luontia varten. Suuremmalla arvolla säteet matkaavat pidemmälle, jolloin myös ambient occlusion- varjoja syntyy enemmän ja varjot ovat niin sanotusti leveämpiä. Pienemällä maksimietäisyysarvolla säteet etsivät geometriaa lyhyemmältä matkalta ja varjot ovat kapeampia. Pienen maksimietäisyyden varjot ulottuvat lähinnä vain pienempiin rakosiin ja koloihin, jotka sijaitsevat ympäristössä. (Masters 2013.) Kuvassa 21 esimerkki eri säteiden maksimietäisyyksistä. Vasemmanpuoleisessa kuvassa on käytetty korkeampaa maksimietäisyyttä. Varjot ovat selkeästi suurempia ja laajemmalle levinneempiä kuin oikeanpuoleisessa kuvassa, jossa maksimietäisyys on pienempi. Oikeanpuoleisessa kuvassa varjot ovat pieniä ja hillittyjä.



KUVA 21. Ambient occlusion -varjot eri maksimietäisyyksillä (Autodesk 2014)

Kun ambient occlusion halutaan renderöidä kiinni kuvaan, voidaan käyttää mental rayn Arch & Design -materiaaleja, joiden kautta päästään ambient occlusionin asetuksiin käsiksi. Kuvassa 22 materiaalieditorin ambient occlusion -asetuksista. Asetuksia on tätä kautta käytettynä vähemmän, mutta oleellimmat, eli säteiden määrä ja niiden maksimietäisyys löytyvät.



KUVA 22. Arch&Design -materiaalin ambient occlusion -asetukset (Cox 2014)

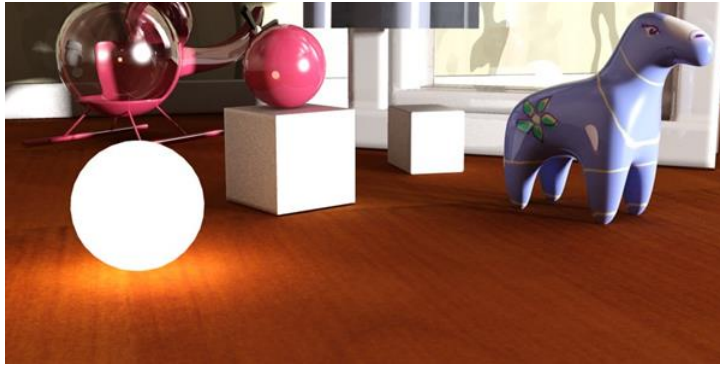
Ambient occlusion -shaderi sisältää mielenkiintoisen ominaisuuden niin sanottuun perinteiseen ambient occlusioniin verrattuna, sillä sen on mahdollista johtaa väriä muista materiaaleista, toisin sanoen sillä on vaihtoehtona ottaa käyttöön värinvuotamisefekti. Tällä voidaan korjata pieniä ambient occlusionin käytöstä aiheutuvia virheitä. (Autodesk 2014f.) Kuvassa 23 nähdään ambient occlusion, kun se ei ota ympäröiviä materiaaleja huomioon. Kuvasta voi huomata heti, kuinka hehkuvan pallon alle laskeutuva kontaktivarjo ei tunnu oikealta, ja punaisesta pallosta laskeutuu täysin tumma varjo.



KUVA 23. Muita materiaaleja ei oteta huomioon (Autodesk 2014)

Kun asetus ympäröivien materiaalien huomioonottamisesta laitetaan päälle, lopputulos on heti miellyttävämpi. Lattia hehkuvan pallon alla valaistuu

oikein, ja punaisesta pallostä vuotaa väriä sen alapuolella olevaan kuuti-
oon (kuva 24).



KUVA 24. Muut materiaalit otetaan huomioon (Autodesk 2014)

Kun käytössä on materiaali, jonka kautta on mahdollista ottaa käyttöön ambient occlusion, se on mahdollista renderöidä jälleen erillään lopullisesta renderöinnistä. Tällöin se voidaan renderöidä erillisenä render passina, joka voidaan määrittää renderöintiasetuksista render elements- kohdasta. (Green 2015a.)

4 CASE: LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULUN OPETTAJAINHUONE

Opinnäytetyön case oli luoda epäsuora valaistus Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan alan opettajainhuoneeseen. Projekti toteutettiin 3ds Max -ohjelmalla ja epäsuoran valaistuksen luomiseen käytettiin mental rayn global illumination- sekä final gather- tekniikoita. Projektissa käytettiin näitä tekniikoita siksi, että ne ovat nykyaikana yleisimmin käytettyjä yhdessä ja että projektissa päästään testaamaan useampaa metodia. Epäsuoran valaistuksen laskettaminen radiositylla ei ole enää kovin yleistä, ja tuntuu, että tämä tekniikka on jäänyt melko lailla pois käytöstä ainakin toistaiseksi.

4.1 Lähtökohta ja valmistelut

Projektin lähtökohtana oli melko yksinkertainen 3D-malli Lahden ammattikorkeakoulun opettajainhuoneesta. 3D-tilassa oli valmiita materiaaleja sekä yksi yleisvalo. Aikataulun puitteissa tilan mallit pidettiin entisellään, eli niitä ei lähdetty muuttamaan. Tätä projektia varten malleihin luotiin kuitenkin uusia materiaaleja, jotta saavutettiin hieman miellyttävämpi lopputulos. Uusilla materiaaleilla yritettiin myös varmistaa parempaa kontrollia ja toimivuutta materiaalien sekä valaistuksen yhteiseen toimivuuteen. Projektissa käytettiin Arch & Design -materiaaleja.

Opettajainhuoneen mallista puuttui kattoelementti, joten huoneeseen mallinnettiin yksinkertainen katto-objekti. Katon malli pidettiin yksinkertaisena siksi, että tässä projektissa sitä ei tulisi näkemään kameranäkymästä tai renderöidyistä kuvista. Puuttuva katto mallinnettiin, koska projektissa käytetään mental rayn global illuminationia, joka perustuu fotonien kimpoiluun ympäristössään. Ilman kattoelementtiä fotoneita pääsisi kimpoamaan tilasta pois, ja näin ollen osaa fotoneista ei voitaisi hyödyntää, sillä ne eivät enää palaisi valaisemaan itse tilaa.

Tässä projektissa keskityttiin tarkastelemaan vain huoneen yhtä nurkkaa ja tutkimaan epäsuoran valaistuksen luomista tässä kohdassa tilaa. Kuvassa 25 lähtökohta, kun tilaan oli asetettu uusia materiaaliaaleja, ja valaistuksena toimi alkuperäinen yleisvalo. Lähtökohtakuvan renderöinnissä

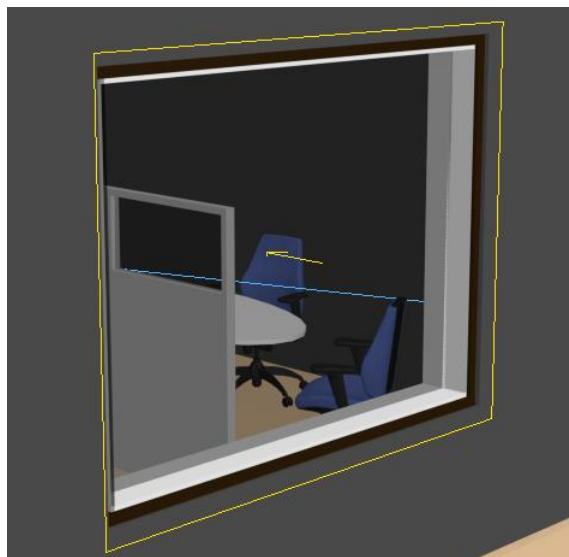
käytössä oli final gather oletusasetuksineen, sillä se on automaattisesti käytössä alhaisilla asetuksilla 3ds Maxissa.



KUVA 25. Lähtötilanne

4.2 Valot

Projektin valaistus aloitettiin asettamalla malliin päivänvalosysteemi, joka laitettiin vastaamaan Suomen maantieteellistä sijaintia päivänvalossa. Huomattiin, että päivänvalo jo yksinään tekee huomattavan nousun renderöintiin. Jotta päivänvalo saatiin varmasti tulemaan ikkunoista sisään, opettajainhuoneen ikkunoille asetettiin mental rayn taivasportaaleita (kuva 26). Taivasportaalit tehostavat esimerkiksi ikkunasta sisälle tulevaa päivänvaloa ohjaamalla olemassa olevaa valoa portaalin läpi. Tällä tavoin päivänvalon vaikutus tilassa on voimakkaampi, ilman että samaa lopputulosta tarvitsee yrittää tavoitella korkeilla final gather- tai global illumination-asetuksilla, mikä puolestaan johtaa korkeisiin renderöintiin (Autodesk 2014e).



KUVA 26. Taivasportaali, valon ohjaussuunta ulkoa sisälle

Seuraavaksi tarkasteltavan tilan yläpuolelle asetettiin fotometrinen valo jäljittelemään loisteputkilamppuja, sillä oletettiin, että opettajien huone on valaistu kyseisillä valoilla. Loisteputkilamppujen valo oli lämpimän valkoista. Käyttöön valittiin fotometriset valot siksi, että niiden toiminta ja arvot perustuvat fyysisesti korrekteihin valoihin, toisin kuin 3ds Maxin standardivalot. Kuvassa 27 tila, kun sitä valaisi päivänvalo, sekä fotometrinen kattovalo. Tässä vaiheessa renderöintiprosessista oli asetettu final gather pois, eli kuvaan ei olla enää lasketettu epäsuoraa valaistusta. Tämä tehtiin sen takia, että global illuminationia ja final gatheria päästiin tarkastelemaan puhtaalta pöydältä seuraavissa vaiheissa. Renderöitävien kuvien laatu pidettiin myös alhaisena tässä vaiheessa, sillä testirenderöintien aikana kannattaa pitää aikaa vievät laskentaprosessit mahdollisimman vähäisinä.



KUVA 27. Valaistus ilman globaalia valaistusta

Kuvasta voitiin huomata, että tilassa on alueita, jotka jäävät pelkän suoran valaistuksen käytön vuoksi kovin pimeiksi, sillä valo ei ulotu niihin paikkoihin. Tällaisia alueita on erityisesti vasemmanreunimmaisen tuolin takana sekä kameraa vastapäisessä nurkassa. Tilaan muodostuvat varjot olivat myös kovin tummia ja kuvan yleisilme oli synkkä.

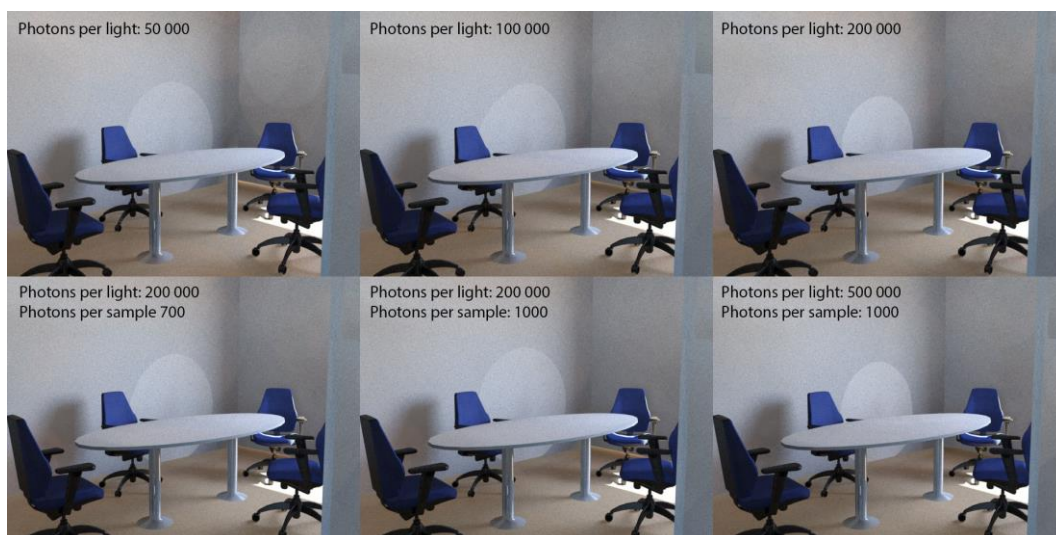
4.3 Global illumination

Seuraava vaihe oli ottaa mental rayn global illumination käyttöön. Final gather pidettiin tässä vaiheessa vielä pois päältä, sillä sen korjaava vaikutusta photon mappingin virheisiin haluttiin testata myöhemmässä vaiheessa. Tilasta renderöitiin kuva photon mappingin oletusasetuksilla, jotta nähtiin, millainen vaikutus pelkillä oletusasetuksilla oli renderöintiin. Lopputuloksen voi nähdä kuvasta 28.



KUVA 28. Renderöinti photon mappingin oletusasetuksilla

Kuvasta oli heti nähtävissä tilan selkeä valaistuminen ja varjojen keventyminen. Vasemman reunan tuolin taustaa sekä kameraa vastapäinen nurkka eivät olleet enää yhtä synkkiä. Vastavuoroisesti kuvasta voitiin nähdä, mitä virheitä globaali valaistus oli aiheuttanut. Pinnoilta voitiin huomata läikikkyyttä, ja tilan perälle lattiaan oli ilmestynyt valojuova, jonka ei olisi kuulunut muodostua kyseiseen kohtaan. Seuraavaksi tehtiin sarja testirenderöintejä photon mappingin asetuksia nostamalla, jotta nähtiin, millainen vaikutus niillä on kuvan laatuun (katso kuva 29).



KUVA 29. Testirenderöinnit asetuksia nostaan

Oletusarvoisesti photon mapping lähettää jokaisesta valosta 20 000 fotonia. Tätä arvoa lähdettiin nostamaan katsoen, kuinka se vaikuttaa lopputulokseen. Fotoniarvoa korottamalla aina 200 000 fotoniin per valonlähde läikikkyyttä saatiin hälvenemään ja valovirhettä lattianrajassa pieneneväseen. Läikikkyyttä oli kuitenkin vielä havaittavissa. Seuraavaksi kokeiltiin nostaa keskiarvotukseen käytettävien fotonien määrää viidensadan fotonin oletusarvosta seitsemäänsataan sekä tuhanteen fotoniin asti. Tämän arvon korotus tarjosi hieman sulavampia tuloksia, mutta ei juurikaan korjannut todellisia ongelma-alueita. Takaseinällä näkyvä valoläikkä ei juurikaan lähtenyt tasoittumaan, ja tuhannen fotonin keskiarvotuksella lattianrajan valojuova vaikutti jopa pahenevan. Fotonimäärää korotettaessa 200 000:een ja tuhannen fotonin keskiarvotuksella renderöintiäika nousi korkeintaan noin kaksi minuuttia. Tämä tuntui vähältä ajalta suhteutettuna siihen, että mallin renderöintiajat olivat jo projektin alussa melko korkeat.

Viimeisenä päätettiin vielä mielivaltaisesti testata, mitä viisisataatuhatta fotonia per valo saa aikaan. Fotonien keskiarvotus pidettiin ennallaan tuhannessa fotonissa. Huomattiin, että läikikkyys paheni, mikä voi johtua siitä, että tuhannen fotonin keskiarvotus ei ole riittävästi viidellesadalle tuhannelle fotonille per valo. Renderöintiäika kuitenkin nousi tässä vaiheessa tuntuvasti.

4.4 Final gather

Final gather otettiin yhteiskäyttöön globaalin valaistuksen rinnalle, jolloin fotonit per valo asetettiin aiempien testirenderöintiä perusteella kahteen sataantuhanteen, ja photons per sample- arvo seitsemäänsataan. Final gatherin oletusasetuksilla kuvan ilme parani heti. Ongelma-alueet, eli sitkeä valoläikkä takaseinällä, sekä lattianrajan virheellinen valoraita poistui. Kuva myös tuntui valaistuvan hieman enemmän. Kuvassa 30 nähdään testirenderöintiä final gatheria käyttäen.



KUVA 30. Renderöinti global illuminationia ja final gatheria hyödyntäen

Kun final gatheria käyttää yhdessä global illuminationin kanssa, global illuminationin asetusten ei tarvitse olla niin korkealla kuin jos sitä käyttäisi ainoana menetelmänä. Globaalia valaistusta voi käyttää ikään kuin pohjana final gatheria varten. Tämä on varsin toimiva yhdistelmä, sillä photon mapping on laskemiltaan tarkempi ja realistisempi kuin final gather. Hyvän lähtökohdan voi siis laskettaa photon mappingia käyttäen, minkä jälkeen final gather täydentää puuttuvat tiedot. Renderointiajat pysyvät tällä tavoin todennäköisesti paljon alhaisempina. Tämän todentamiseksi tilasta renderöitiin kuva, jossa global illumination palautettiin oletusasetuksiinsa (katso kuva 31).



KUVA 31. Käytössä global illumination oletusasetuksilla ja final gather

Renderöity kuva näytti toimivalta myös pienillä global illumination -asetuksilla. Final gather -arvoja nostamalla renderöinteihin saatiin vielä pieniä parannuksia, mutta todettiin, että renderöintiaikojen noustessa lopputulos ei ollut sen arvoista.

Vaikka tässä projektissa käytettiin global illuminationia ja final gatheria yhteistyössä, on kuitenkin hyvä muistaa, että useasti final gatheria käytetään ainoana työkaluna epäsuoran valaistuksen luomiseen. Tämä johtuu siitä, että se on nopeammin laskettava ja tuottaa useasti hyvännäköisiä lopputuloksia, vaikkei sillä saavutetakaan yhtä fyysisesti korrekkeja lopputuloksia kuin photon mappingia käyttäen. Tämän todentamista varten tilasta renderöitiin testikuva käyttäen ainoastaan final gatheria, jonka asetuksia nostettiin oletusasetuksista vain hieman. Renderöidystä kuvasta 32 voitiin huomata, kuinka tilaan saatiin toimiva epäsuora valo valoineen ja varjoineen myös pelkkää final gatheria käyttämällä. Varjot ovat hieman tummempia kuin photon mappingia käytettäessä, ja ikkunan läheisyyteen valo ei laskeudu aivan oikein. Tällaiset virheet ovat kuitenkin jossain määrin korjattavissa final gatherin asetuksia nostamalla.



KUVA 32. Pelkällä final gatherilla laskettu valaistus

4.5 Kuvan laatu

Koko valaistusprosessin ajan tarkasteltava tila oli jäänyt kovin tummaksi erilaisista valaistusyrytyksistä huolimatta. Koska projektin tarkoitus oli tutkia epäsuoran valaistuksen käyttöä, päätettiin testata tilassa käytettyjen valojen fotonien energian tehostamista. Kattolampun fotoniasetuksista määrättiin fotonit lähtemään liikkeelle kolminkertaisella lampun energiamäärällä. Tämän lisäksi nurkan viereisen ikkunan taivasportaalin fotonivälitystä tehostettiin nostamalla sen tehokerrointa kaksinkertaiseksi. Lopputulos nähdään kuvasta 33. Tila on huomattavasti valoisampi, joskin tapa päästä lopputulokseen ei välttämättä ollut paras mahdollinen. Tähän valaistukseen tyydyttiin aikataulun puitteissa, vaikkakin kuvan laatua halutttiin vielä parannella hieman.



KUVA 33. Fotonien tehon lisäys sekä taivasportaalin tehostaminen

Kuvasta poistettiin kohinaa lähinnä laatu/kohina -asetusta nostamalla. Kuvaan haluttiin myös palauttaa pieniä varjoalueita, sillä paikoitellen kuva kaipasi hieman kiinnittyvyyttä. Tilasta renderöitiin ambient occlusion -mappi, joka yhdistettiin photoshopissa viimeistelyyn tilakuvaan. Kuvassa 34 nähdään pienimuotoinen ambient occlusion -kompositointi. Vasemmalla on viimeistelty versio tilakuvasta, keskellä ambient occlusion -mappi, ja oikeassa reunassa on lopullinen versio, kun occlusion-varjot on lisätty kuvaan.



KUVA 34. Ambient occlusion- kompositointi

Kuvassa 35 nähdään valmis projektikuva. Lisätyt varjot toivat etenkin tuoleille mukavaa kiinnittyneisyyttä korostamalla kontaktivarjoja. Efekti on erityäin hienovarainen mutta miellyttävä. Huoneen nurkan ja lattianrajan varjot korostuivat ambient occlusion -varjojen lisäämisestä liikaa, mutta se korjattiin haalentamalla occlusion-varjoja kyseisistä kohdista mapin lisäyksen jälkeen.



KUVA 35. Lopullinen kuva

4.6 Työn analysointi

Projektissa oli valaistuksen kanssa ongelmia, sillä tilan valaisu järjellisillä valaistusarvoilla ei ottanut onnistuakseen. Lisäksi kiusana oli pitkät renderöintiajat valaistuksen, global illuminationin, sekä final gatherin testaukses-

sa, mikä ei sovi hyvin yhteen melko kiireisen projekti aikataulun kanssa. Vaikuttavia tekijöitä itse mallin puolesta oli luultavasti ainakin sen suuruus, sillä suora valo, fotonit ja final gather säteet todennäköisesti kimpoilivat myös pitkälle kameran ulottumattomiin. Lisävalot ja suuremmat fotonit- ja sädemäärät olisivat voineet olla ratkaisu, mutta renderöinti-aikojen puolesta se ei ollut tässä vaiheessa järkevää. Oikean lähestymistavan etsimiseen ongelman ratkaisemiseksi ei ollut aikaa.

Epäsuoran valaistuksen luomista ja erilaisten tekniikoiden käyttöä päästiin kuitenkin testaamaan käytännössä, ja lopputulos oli olosuhteisiin nähden tyydyttävä. Oli hyvä huomata käytännössä, kuinka paljon final gatherilla pystytään korvaamaan global illuminationia ja sen korkeita laskenta-aikoja sekä kuinka niitä kahta ominaisuutta pystytään käyttämään kätevästi yhdessä. Myös väittämät ambient occlusionin ja globaalien valaistuksen yhteiskäytöstä pitivät paikkaansa. Projekti oli mainio kokemus, sillä käytännön työskentely on antavampaa kuin pelkän teorian käsittely.

5 YHTEENVETO

Valaistuksen luomisessa on aina omat haasteensa, mikä tuli todettua myös tämän opinnäytetyön aikana. Erilaiset työkalut epäsuoran valon luomiseen täytyy todella hallita, jotta saadaan kaunis lopputulos vieläpä optimaalisilla renderöintiajoilla. Vaikka valaistusartistin ei nykypäivänä välttämättä tarvitse käyttää jokaista tuntemaansa keinoa valojen hallitsemiseen, tekniikan kehityksessä täytyy pysyä mukana ja pystyä hallitsemaan uudenlaiset tekniikat. On myös tärkeää tietää tietyssä määrin valosta ja siitä, kuinka se käyttäytyy eri olosuhteissa, etenkin jos on tarpeen käyttää fyysisesti korrekkeja elementtejä ja renderöintitekniikoita.

Erilaisten epäsuoran valaistustekniikoiden tunteminen on hyödyllistä ja tärkeää, kun puhutaan oikeista projekteista ja siitä, millainen lopputulos on haluttu. Realistisen ja tyylitellyn lopputuloksen saavuttamiseksi voidaan valita erilaisia työkaluja tai niitä voidaan käyttää eri tavoin erilaisen lopputuloksen saavuttamiseksi.

Loppujen lopuksi totuus on kuitenkin se, että tuntemusta epäsuoran valaistuksen luomiseen tarvitaan, jos haaveillaan oikean maailman tunnusta 3D-maailmassa, oli kyseessä sitten vanhanaikaisempi tekijä tai ajan hermoilla ratsastava artisti.

LÄHTEET

Painetut lähteet:

Brooker, D. 2008. Essential CG lighting techniques with 3ds Max. Oxford: Focal Press.

Livny, B. 2008. Mental ray for maya, 3ds Max, and XSI. Indianapolis: Wiley Publishing.

Steen, J. & Boardman, T. 2010. Rendering with mental ray & 3ds max. Second Edition. Amsterdam: Elsevier/Focal Press.

Wisslar, V. & Harreld, K. 2013. Illuminated pixels: the why, what, and how of digital lighting. Boston, MA: Cengage learning.

Elektroniset lähteet:

3dsmax-tutorials. 2015. Radiosity controls [viitattu 1.11.2015]. Saatavissa: http://www.3dmax-tutorials.com/Radiosity_Control_Panel.html

Anton & Max. 2015. Best V-Ray settings – Indirect Illumination. Renders-tuff [viitattu 19.10.15]. Saatavissa: <http://renderstuff.com/vray-indirect-illumination-best-settings-cg-tutorial/>

Autodesk. 2014a. Ambient Occlusion [viitattu 9.10.2015]. Saatavissa: <http://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax/files/GUID-88D3C277-BEFA-4742-B953-3CB377809FA6-hm.html>

Autodesk. 2014b. Caustics & Photon Mapping (GI) Rollout (mental ray renderer) [viitattu 29.10.2015]. Saatavissa: <https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax/files/GUID-C88F47C4-7825-4307-ADCE-5E5B5A9E2DB8-hm.html>

Autodesk. 2014c. Final Gathering (FG) Rollout (mental ray Renderer) [viitattu 27.10.2015]. Saatavissa:

<http://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax/files/GUID-5126C754-A8C7-4338-8E92-E33192C161BA-htm.html>

Autodesk. 2014d. Modeling Global Illumination with Radiosity [viitattu 31.10.2015]. Saatavissa: <https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax-Archive/files/GUID-C5A3C77B-794B-4444-9783-7F2EA11C16BD-htm.html>

Autodesk. 2014e. Mr Sky Portal [viitattu 5.11.2015]. Saatavissa: <https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax/files/GUID-9254EEBB-0047-4EEF-A1E5-AFF5696C8994-htm.html>

Autodesk. 2014f. Special Effects Rollout [viitattu 30.10.2015]. Saatavissa: <https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax/files/GUID-6F8332A7-CD75-4DA6-9E91-3A167B847A44-htm.html>

Cox, G. 2014a. 3DS Max/Mental Ray: Basic Final Gather Explained. Artasmedia [viitattu 28.10.2015]. Saatavissa: <http://artasmedia.com/2014/10/29/3ds-maxmental-ray-basic-final-gather-explained/>

Cox, G. 2014b. 3DS Max/Vray/Mental Ray: Ambient Occlusion. Artasmedia [viitattu 30.10.2015]. Saatavissa: <http://artasmedia.com/2014/11/13/3ds-maxvraymental-ray-ambient-occlusion/#prettyPhoto>

Digital-Tutors Team. 2013. Understanding Global Illumination. Digital Tutors [viitattu 26.10.2015]. Saatavissa: <http://blog.digitaltutors.com/understanding-global-illumination/>

Green, K. 2015a. Compositing with Render Elements in 3ds Max. Opetusvideo. 30.10.2015. Saatavissa: <http://www.digitaltutors.com/tutorial/859-Introduction-to-mental-ray-in-3ds-Max#play-21708>

Green, K. 2015b. Exploring the Global Illumination parameters. Opetusvideo. 29.10.2015. Saatavissa: <http://www.digitaltutors.com/tutorial/859-Introduction-to-mental-ray-in-3ds-Max#play-21688>

Green, K. 2015c. Methods for refining and enhancing radiosity results. Opetusvideo. 1.11.2015. Saatavissa: <http://www.digitaltutors.com/tutorial/3562-Introduction-to-Lighting-in-3ds-Max-2009#play-4792>

Green, K. 2015d. Simulating indirect lighting using Global Illumination. Opetusvideo. 23.10.2015. Saatavissa: <http://www.digitaltutors.com/lesson/21686-Simulating-indirect-lighting-using-Global-Illumination>

Isaksen, T. 2010. Fast Ambient Occlusion in 3ds Max. 3dtotal [viitattu 30.10.2015]. Saatavissa: http://www.3dtotal.com/index_tutorial_detailed.php?id=185&catDisplay=1&roPos=1&page=1#.VjNyLpenFqM

Klein, A. 2009. Indirect Illumination with Mental Ray. 3dtotal [viitattu 19.10.15]. Saatavissa: http://www.3dtotal.com/index_tutorial_detailed.php?id=482&catDisplay=1&roPos=1&page=1#.ViTbSJe1dD0

Masters, M. 2013. Understanding Ambient Occlusion. Digital Tutors [viitattu 30.10.2015]. Saatavissa: <http://blog.digitaltutors.com/understanding-ambient-occlusion/>

Masters, M. 2014. Two Easy Methods for Rendering Ambient Occlusion Passes in 3ds Max. Digital Tutors [viitattu 30.10.2015]. Saatavissa: <http://blog.digitaltutors.com/two-methods-rendering-ambient-occlusion-passes-3ds-max/>

Masters, M. 2015. Understanding Final Gather. Digital Tutors [viitattu 2.10.2015]. Saatavissa: blog.digitaltutors.com/understanding-final-gather/
KAK

MintViz. 2013. V-ray ambient occlusion through glass. MintViz workshop [viitattu 25.10.2015]. Saatavissa: <http://www.workshop.mintviz.com/tutorials/v-ray-ambient-occlusion-through-glass/>

Kuvalähteet:

1. Scratchapixel. 2015. An Introduction to Light-Matter Interaction [viitattu 16.10.2015]. Saatavissa: <http://www.scratchapixel.com/old/lessons/3d-basic-lessons/lesson-14-interaction-light-matter/an-introduction-to-light-matter-interaction/>
2. Anton & Max. 2015. Best V-Ray settings – Indirect illumination. Renderstuff [viitattu 16.10.2015]. Saatavissa: <http://renderstuff.com/vray-indirect-illumination-best-settings-cg-tutorial/>
3. Anton & Max. 2015. Best V-Ray settings – GI Engines Choise. Renderstuff [viitattu 23.10.2015]. Saatavissa: <http://renderstuff.com/vray-gi-engines-choice-best-settings-cg-tutorial/>
4. Digital-Tutors Team. 2013. Understanding Global Illumination. Digital Tutors [viitattu: 28.9.2015]. Saatavissa: <http://blog.digitaltutors.com/understanding-global-illumination/>
5. Digital-Tutors Team. 2013. Understanding Global Illumination. Digital Tutors [viitattu: 28.9.2015]. Saatavissa: <http://blog.digitaltutors.com/understanding-global-illumination/>
6. Digital-Tutors Team. 2013. Understanding Global Illumination. Digital Tutors [viitattu: 28.9.2015]. Saatavissa: <http://blog.digitaltutors.com/understanding-global-illumination/>
7. Harriss, E. 2015. Setting up a scene for Global Illumination using mental ray in SOFTIMAGE|XSI. Edharriss [viitattu: 23.10.2015]. Saatavissa: http://www.edharriss.com/tutorial_GI/xsi_global.htm
8. Tanya Hietamies

9. Tanya Hietamies

10. Masters, M. 2015. Understanding Final Gather. Digital Tutors [viitattu 2.10.2015]. Saatavissa: blog.digitaltutors.com/understanding-final-gather/

11. Hill, B. 2003. Indirect Illumination – what is it?. Bxh.designs [viitattu 26.10.2015]. Saatavissa:
http://www.bxhdesigns.com/tutorials/indirect_illumination/indirect_illumination.htm

12. Masters, M. 2015. Understanding Final Gather. Digital Tutors [viitattu 2.10.2015]. Saatavissa: blog.digitaltutors.com/understanding-final-gather/

13. Tanya Hietamies

14. Autodesk. 2014. Modeling Global Illumination with Radiosity [viitattu 14.10.2015]. Saatavissa: <http://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax-Archive/files/GUID-C5A3C77B-794B-4444-9783-7F2EA11C16BD-hm.html>

15. Tanya Hietamies

16. 3dsmax-tutorials, 2015. Radiosity controls [viitattu 1.11.2015]. Saatavissa: http://www.3dmax-tutorials.com/Radiosity_Control_Panel.html

17. Autodesk. 2014. Special Effects Rollout [viitattu 30.10.2015]. Saatavissa: <https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax/files/GUID-6F8332A7-CD75-4DA6-9E91-3A167B847A44-hm.html>

18. Ucbugg. 2015. Lighting a Scene [viitattu 23.10.2015]. Saatavissa: <http://ucbugg.github.io/learn.ucbugg/lighting-a-scene>

19. Masters, M. 2013. Understanding Ambient Occlusion [viitattu 25.10.2015]. Saatavissa: <http://blog.digitaltutors.com/understanding-ambient-occlusion/>

20. Cox, G. 2014. 3DS Max/Vray/Mental Ray: Ambient Occlusion. Artas-media [viitattu 30.10.2015]. Saatavissa: <http://artasmedia.com/2014/11/13/3ds-maxvraymental-ray-ambient-occlusion/#prettyPhoto>

21. Autodesk. 2014. Special Effects Rollout [viitattu 30.10.2015]. Saatavissa: <https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax/files/GUID-6F8332A7-CD75-4DA6-9E91-3A167B847A44-htm.html>

22. Cox, G. 2014. 3DS Max/Vray/Mental Ray: Ambient Occlusion. Artas-media [viitattu 30.10.2015]. Saatavissa: <http://artasmedia.com/2014/11/13/3ds-maxvraymental-ray-ambient-occlusion/#prettyPhoto>

23. Autodesk. 2014. Special Effects Rollout [viitattu 30.10.2015]. Saatavissa: <https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax/files/GUID-6F8332A7-CD75-4DA6-9E91-3A167B847A44-htm.html>

24. Autodesk. 2014. Special Effects Rollout [viitattu 30.10.2015]. Saatavissa: <https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax/files/GUID-6F8332A7-CD75-4DA6-9E91-3A167B847A44-htm.html>

25. – 35. Tanya Hietamies

