
3D-valaistus ja teksturointi

Case: Animaatio Suomen Metsästysmuseolle



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Tietotekniikan koulutusohjelma

Riihimäki, syksy 2016

Mikko Kivelä



Riihimäki
Tietotekniikan koulutusohjelma
Mediajärjestelmät

Tekijä Mikko Kivelä

Vuosi 2016

Työn nimi 3D-valaistus ja teksturointi Case: Animaatio Suomen Metsästysmuseolle

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Suomen Metsästysmuseo. Toimeksiantona oli luoda saadun referenssimateriaalin pohjalta 3D-animaatio, jossa esitellään vipulukollisen kiväärin toimintaperiaate. Tavoitteena oli tuottaa animaatio, joka täyttäisi toimeksiantajan vaatimukset ja joka voitaisiin asettaa esille Suomen Metsästysmuseon näyttelyyn. Toimeksiantaja antoi asiantuntija-apua aseiden teknisessä toiminnallisuudessa sekä seurasi työn kulkua säännöllisillä tapaamisilla.

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin ensisijaisesti syvemmin 3D-valaistukseen ja siinä käytettyihin periaatteisiin sekä 3D-objektin pintarakenteeseen ja yleisiin menetelmiin, joilla siihen vaikutetaan. Teoriaosuudessa keskityttiin valaistuksen yleisiin ominaisuuksiin, varjojen eri vaihtoehtoihin sekä kolmipistevalaisutekniikkaan ja siihen, miten sitä käytetään. Teksturoinnin osuudessa käytiin läpi mistä objektin pintarakenne koostuu ja objektien pinnoittamisen mekanismia. Teoriaosuuden tavoitteena oli selventää lukijalle valaisun ominaisuuksia ja ratkaisuja 3D-ohjelmistoissa ja miten 3D-ohjelmassa on mahdollista käsitellä 3D-objektien pintarakennetta.

Käytännön osuudessa käytiin läpi projektin työvaiheet, perehtymällä valaisu- ja teksturointi-osuuksiin. Muut työvaiheet käytiin pintapuolisesti esittelemällä syventymättä niiden tekniikoihin tai ratkaisuihin.

Lähtökohdat työn tekemiselle oli koulutuksesta ja omasta harrastuneisuudesta saatu pohja 3D-grafiikan tuottamiselle. Työssä käytettiin apuna eri työvaiheiden tekniikoiden tutoriaaleja, 3D-alan julkaisuja, kirjallisuutta ja foorumeita sekä asealan kirjallisuutta.

Avainsanat Animaatio, 3D-grafiikka, valaistus, teksturointi

Sivut 53 s. + liitteet 1 s.

Riihimäki
Degree Programme in Information Technology
Media Systems

Author	Mikko Kivelä	Year 2016
Subject of Bachelor's thesis	3D lighting and texturing Case: Animation for The Hunting Museum of Finland	

ABSTRACT

This thesis was commissioned by The Hunting Museum of Finland. The assignment was to create a 3D-animation based on the given reference material, which presented the functions of a lever action rifle. The purpose of the thesis project was to produce an animation that would meet the commissioner's requirements so it could be placed on display at the exhibition of the museum. The commissioner provided expert assistance with the gun's technical functionality and monitored the workflow by arranging regular meetings on the project.

The main subject of this thesis was to get familiarized with the creation of 3D-lighting and the principles used in it and also texturing 3D-objects and the common methods there. The theory part of lighting focuses on the general features of light, the different options for shadows and also the three point lighting technique and how it is used. The texturing part examines how a 3D-texture is formed and discusses the mechanics of texture mapping. The goal of the theory part is to clarify the features of lighting and the possible methods of texture mapping.

The practical part reviews the different stages of the thesis and goes through the lighting and texturing stages in more detail. The other stages are presented more superficially without going through the techniques that were used as deeply.

3D-modeling education and the author's own experience on the subject provided a basis for making this thesis. Different technique tutorials, publications in the 3D-industry, literature, forums and arms industry literature were used in making of the thesis.

Keywords Animation, 3D computer graphics, lighting, texturing

Pages 53 p. + appendices 1 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	VALAISTUS 3D-YMPÄRISTÖSSÄ	2
2.1	Valon ominaisuudet.....	2
2.1.1	Voimakkuus.....	3
2.1.2	Suunta	3
2.1.3	Väri	6
2.1.4	Valon tyyppi	7
2.1.5	Valon voimakkuuden suhde etäisyyteen	13
2.2	Suora ja epäsuora valo.....	15
2.2.1	Global illumination.....	16
2.3	Varjot.....	17
2.3.1	Varjoalgoritmit	19
2.4	Kolmipistevalaisu.....	20
2.4.1	Key-to-Fill ratio.....	21
3	SHADER.....	22
3.1	Valon heijastuminen objektin pinnasta	22
3.1.1	Fresnel-heijastuminen.....	23
3.2	Teksturointi	24
3.3	UV-koordinointi	25
3.4	Yleisimpiä tekstuurikarttoja	27
3.4.1	Color map	28
3.4.2	Opacity map.....	29
3.4.3	Normal map	30
3.4.4	Bump map	31
3.4.5	Specular map	32
4	SOVELTAVAN PROJEKTIN TYÖVAIHEET	33
4.1	Referenssimateriaalin käyttö	33
4.2	Mallinnus.....	35
4.3	Riggaus.....	36
4.4	Animointi	38
4.4.1	Keyframe-animointi	38
4.4.2	Kameroiden lisääminen	39
4.5	Valaistus	40
4.6	Teksturointi	42
4.6.1	Materiaalien määrittely.....	42
4.6.2	Bump map -tekstuurikarttoitus	42
4.6.3	Objektien UV-koordinointi	43
4.7	Renderöinti	47
4.7.1	Beauty-taso	47
4.7.2	Ambient occlusion -taso	47
4.7.3	Specular-taso	48
4.7.4	Läpinäkyvien osuuksien renderöinti.....	49
4.8	Kompositointi ja jälkikäsittely	50
5	YHTEENVETO	51

LÄHTEET	52
---------------	----

Liite 1	Kuvia animaatiosta
---------	--------------------

1 JOHDANTO

3D-grafiikkaa luodessa työprosessi jakautuu päätyövaiheisiin: mallinnus, materiaalien lisääminen, valaistuksen ja kameroiden lisääminen, animointi ja lopuksi renderöinti (Autodesk 2015d). Jokainen näistä kohdista voidaan jakaa vielä omiin työvaiheihinsa ja työvaiheiden sisältö ja nimitykset saattavat vaihdella käytetystä ohjelmistosta riippuen. Työvaiheiden järjestyskään ei ole aina sama, vaan se voi vaihdella tarvittaessa tietyiltä osin. Tässä luokittelussa ei ole myöskään otettu huomioon renderöinnin jälkeen tapahtuvaa kompositointia ja jälkikäsittelyä, jotka kylläkin yleensä tehdään 3D-ohjelman ulkopuolella eri ohjelmilla.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään luetelluista päätyövaiheista materiaalien ja valaistuksen lisäämiseen. Opinnäytetyön tarkoituksena on käydä läpi yleisesti 3D-valaistuksen ominaisuuksia ja periaatteita sekä käydä läpi mistä 3D-materiaali muodostuu, mitä on 3D-teksturointi ja miten yleisimmät tekstuurikartat vaikuttavat renderöityyn lopputulokseen. Näiden aiheiden lisäksi työssä esitellään toimeksiannetun 3D-projektin kaikki työvaiheet, keskittyen kuitenkin valaistukseen ja teksturointiin.

Kaikki työn 3D-mallinnukset on tehty Autodesk 3ds Max -ohjelmalla, Normal map tekstuurikartat Quixel nDo2 -ohjelman avulla, kuvien käsittely Adobe Photoshop -ohjelmalla ja loppuvaiheen kompositointi sekä jälkikäsittely Adobe After Effects -ohjelmalla. Tästä huolimatta teoriaosuudet käsittelevät asioita yleisellä tasolla, eivätkä keskity tietyn ohjelman ominaisuuksiin.

2 VALAISTUS 3D-YMPÄRISTÖSSÄ

Yksi 3D-mallinnuksen tärkeimmistä työvaiheista on 3D-ympäristön valaiseminen. Tämä tarkoittaa virtuaalisen kolmiulotteisen ympäristön valaisemista ohjelmallisesti luoduilla valoilla. Käytännössä kuitenkin 3D-projektin valaisemisessa on paljon samoja tavoitteita kuin esimerkiksi valokuvauksessa tai videokuvauksessa. Valaistuksella ja valaistuksen synnyttämällä varjoilla pyritään usein luomaan vaikutelma kolmiulotteisuudesta, vaikka lopputulos on kaksiulotteinen kuva tai video. (Brooker 2008, 29.)

3D-ympäristön valaiseminen poikkeaa käytännön valaisemisesta, koska 3D-ohjelmistot eivät ole sidottuja oikean maailman rajoitteisiin ja valaisuratkaisut saattavat erota siitä miten todellisessa valaisemisessa edettäisiin. Valoja voi luoda ohjelmallisesti nykytekniikalla käytännössä yhteen skeneen – eli 3D-projektitiedostoon – niin paljon kuin haluaa ja niiden ominaisuuksia voi muokata laajemmin kuin oikeassa valaistuksessa on mahdollista. Vaikka 3D-grafiikan tavoitteena on usein mahdollisimman uskottava lopputulos, voi sen saavuttaa eri tavoilla. (Birn 2014, 10.)

Uskottava lopputulos 3D-grafiikassa ei aina tarkoita fotorealismia – eli 3D-kuvaa tai -animaatiota, jota ei erota oikeasta – mutta se on usein tavoitteena. Fotorealismi on tärkeää, koska nykyiset 3D-alan työpaikat vaativat yleensä fotorealistista lopputulosta. Elokuva-ala, tv-sarjat, peliala, mainosala ja monet muut käyttävät yhä enemmän ja enemmän 3D-grafiikkaa. Tämä johtuu siitä, että 3D-grafiikalla voidaan kuvata tilanteita, joita ei oikeassa elämässä voi tapahtua, se on halvempaa ja koska nykyinen teknologia vihdoin sallii fotorealistisen 3D-grafiikan luomisen. (Price 2015.)

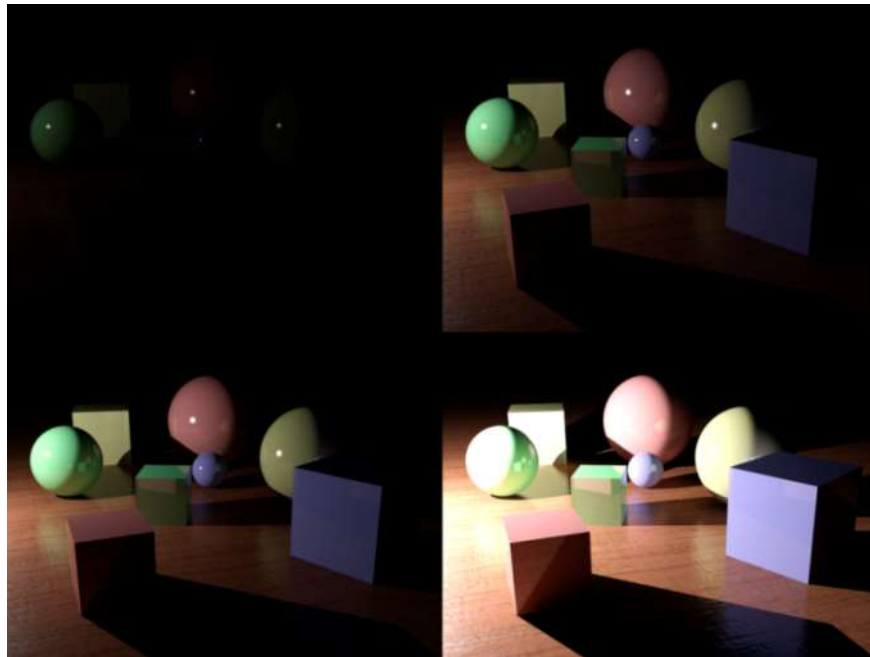
Valaiseminen ei kuitenkaan ole aina pelkästään realistisuuden tavoittelua. Vaikka lopputulos olisi juuri sellainen, mikä se olisi oikeassa tilanteessa, ei se välttämättä tuota katsojassa minkäänlaisia tuntemuksia. Valaisemisessa haetaan myös tunnetta. Oikeanlaisen tunnelman luominen voi olla vielä hankalampaa kuin pelkästään realistisuuden tavoittelu. (Akram 2002.)

2.1 Valon ominaisuudet

Jokaisella valonlähteellä on omat ominaisuutensa, niin oikeassa maailmassa kuin 3D-ympäristössä. Näitä ominaisuuksia muokkaamalla valon olemus muuttuu ja siitä saadaan halutunlainen valaisun elementti. Näitä elementtejä yhdistelemällä luodaan lopullinen valaistus, jonka osat tukevat toisiaan. Valaistuselementti voidaan purkaa yleisimpiin osiin, joita ovat voimakkuus, suunta, väri ja koko. Näiden lisäksi voidaan valita valon tyyppi, eli minkälaisesta valosta on kyse, sekä valolle voidaan asettaa rajoituksia varjojen suhteen. Esimerkiksi valo voi olla luomatta varjoja ollenkaan. (Akram 2002.)

2.1.1 Voimakkuus

Valon voimakkuus on yksi selkeimmistä ja näkyvimmistä valon ominaisuuksista. Se merkitsee valon määrää, jonka yksi valonlähde tuottaa mallinnetussa ympäristössä. Tällä tavalla on mahdollista korostaa haluttuja kohteita kohdistamalla niihin voimakkaampia valoja ja jättämällä muihin kohteisiin kohdistettujen valojen voimakkuutta pienemmäksi. (Brooker 2008, 22.) Kuvassa 1 on esitetty, miten yhden valonlähteen voimakkuuden muutos muuttaa kuvan luonnetta ja pääpainoa.



Kuva 1. Yksi valo eri voimakkuuksilla.

2.1.2 Suunta

Valon suunnalla tarkoitetaan sitä, mihin suuntaan valonlähteestä lähtevä valaistus osoitetaan. Valon suuntaus on tärkeää, koska yhdessä muiden valon ominaisuuksien kanssa sen avulla pystytään osoittamaan ja korostamaan mallinnuksen kolmiulotteisuutta. Jos mallinnettua kohdetta valaistaisiin kaikista suunnista samalla voimakkuudella, näyttäisi se katsojasta kaksiulotteiselta kuvalta. Tämä johtuu siitä, että kohteen kaikkia puolia valaistetaan tasaisesti, eikä varjoja tai korostuksia pääse syntymään, vaan kohde on väreiltään tasainen. (Akram 2002.) Sekä tasaisesti että epätasaisesti valaistujen objektien ero on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Tasaisesti ja epätasaisesti valaistu pallon muotoinen objekti.

Kolmiulotteiseen kohteeseen saadaan luotua syvyyttä ja muotoa korostavia väri vaihteluita suuntaamalla valo mielenkiintoisesta kulmasta. Mielenkiintoinen kulma on aina tapauskohtainen käsite ja viime kädessä kohtauksen tai otoksen valaisemisesta vastaava päättää suunnat niin, että ne sopivat lopputulokseen. (Akram 2002.)

Valojen suunnalla voidaan vaikuttaa hyvin paljon kohtauksen tai otoksen luomaan tunnetilaan katsojassa. Usein käytetään useampaa kuin yhtä valoa, jotka suunnataan kohteeseen eri suunnista. Päävalon suunnaksi voidaan esimerkiksi määrittää yksi perussuunnista, joita ovat valon suuntaus edestä, sivusta, takaa, yläpuolelta tai alapuolelta. (Yot 2008.)

Etuvalossa valonlähde on sijoitettuna suoraan katsojan näkymästä lähteväksi. Kuvassa 3 voidaan nähdä esimerkki etuvalolla valaistusta 3D-objektista. Tällaista suuntausta käytetään useimmiten salamavaloa käytettäessä valokuvatessa. Voimakas etuvalo tekee kuvista usein epämiellyttäviä, koska se tekee kuvasta lattean näköisen ja materiaalien tai tekstuurien varjot eivät näy katsojalle. Pehmeämmällä etuvalolla voidaan kuitenkin vähentää tasaisuuden tunnetta. (Yot 2008.)



Kuva 3. 3D-objekti etuvalolla valaistuna.

Sivuvalossa valonlähde on sijoitettuna kohteen sivulle, josta se osoittaa kohteeseen päin. Sivusta suuntautuvalla valolla voidaan korostaa kohteen kolmiulotteisuutta, muotoa ja tekstuuria kovien varjojen avulla. Tällaisella suuntauksella saadaan luotua dramatiikkaa suurilla kontrastieroilla ja heijastuvilla varjoilla. (Yot 2008.) Kuvassa 4 on esitetty sivuvalolla valaistu 3D-objekti.



Kuva 4. 3D-objekti sivuvalolla valaistuna.

Takavalossa valonlähde suuntautuu kohteen takaa katsojaa kohti. Takavalolla vain kohteen ääriviivat näkyvät valaistuna ja muut osat jäävät varjoon, mikä luo dramaattisen ilmeen. Tällaista suuntausta käytetään usein korkeilla kontrastieroilla ja kuvat ovat usein varjoisia. (Yot 2008.) Kuvassa 5 on esitetty takaa valaistu 3D-objekti.



Kuva 5. 3D-objekti takavalolla valaistuna.

Kohteen yläpuolelta suoraan alaspäin suuntautuvalla valolla saadaan kohteen muoto hyvin esille. Kun valo on voimakas, saadaan myös luotua kovia varjoja kohteen alapuolelle. Pehmeä valo taas muistuttaa normaalia päivänvaloa ulkoilmassa, mitä ei usein haluta tunnelmallisiin otoksiin, koska se on liian tavallisen oloinen. (Yot 2008.) Kuvassa 6 on esitetty voimakkaalla ylävalolla valaistu 3D-objekti, joka heijastaa teräviä varjoja.



Kuva 6. 3D-objekti ylävalolla valaistuna.

Kohteen alapuolelta suoraan ylöspäin suuntautuvaa valoa käytetään harvemmin, koska tämänkaltaiset tilanteet ovat ylipäätään harvinaisempia. Alhaalta suunnattua valoa käytetään usein luovasti, esimerkiksi valaistaan taskulampulla kasvoja, jolloin lopputuloksesta voidaan saada oudon ja pelottavan näköinen. (Yot 2008.) Kuvassa 7 on esitetty alhaalta valaistu 3D-objekti.

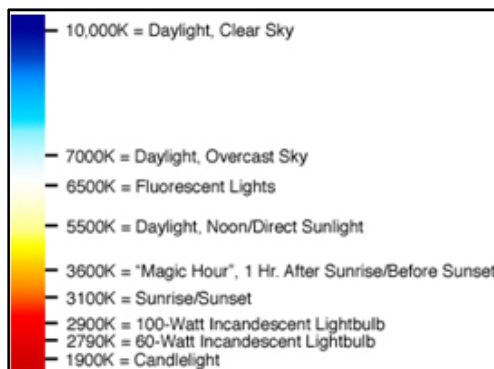


Kuva 7. 3D-objekti alavalolla valaistuna.

2.1.3 Väri

Kappaleen kolmiulotteinen muoto voidaan tunnistaa kaksiulotteisesta kuvasta eri suunnista tulevien valonsäteiden voimakkuuden ja värin luomien varjostuksien ja korostuksien avulla (Akram 2002). Valaistuksen värin avulla luodulla tunnelmalla pystytään jopa vaikuttamaan siihen miten katsoja näkee kappaleen muodon tai liikkeen. Valaistuksen värillä asetetaankin lopputulokselle haluttu sävy, jonka tulisi korostaa valittua teemaa. (Burton 2011.)

Valon väri pystytään mittaamaan värielämpötilalla, jonka yksikkö on kelvin. Värielämpötilan määrittäminen perustuu alkujaan William Thompsonin (lordi Kelvin) tutkimukseen, jossa hiiltä lämmitettäessä se alkaa säteilemään eri väristä valoa riippuen sen lämpötilasta. Tästä kehittyi myöhemmin värielämpötila-asteikko, jolla voidaan mitata valon eri värien värielämpötiloja. Kuvassa 8 on esitetty värielämpötila-asteikko, jossa on merkittynä päivänajojen rajapyykkejä. Värielämpötila ei kuitenkaan merkitse valonlähteen lämpötilaa, vaan havaittavissa olevan valon väriä. (Brooker 2008, 13.)



Kuva 8. Värielämpötila-asteikko (Burton, 2011).

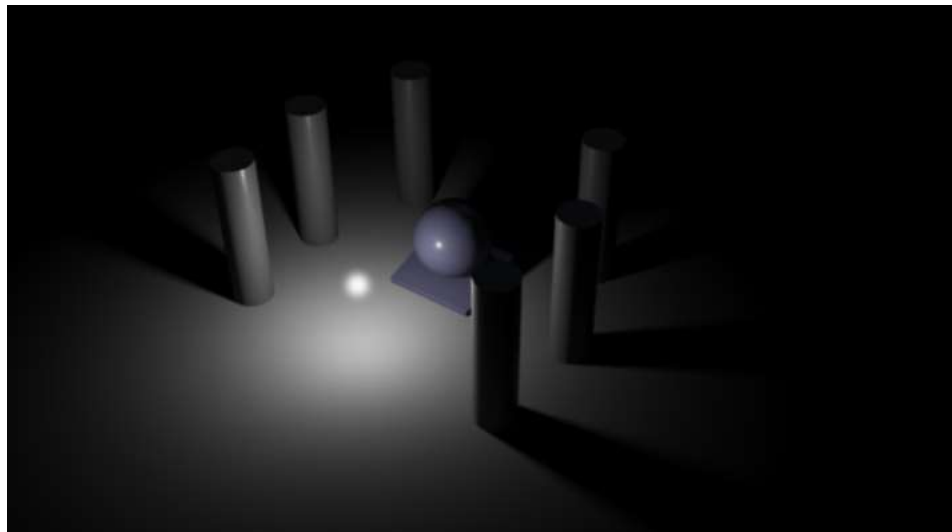
Kuten kuvasta 8 voidaan nähdä, asteikko alkaa punaisesta ja jatkaa valkoisen läpi sinisen sävyihin. Asteikon alkupään punaiseen ja keltaiseen taittavat värit ovat yleisiä sisätiloissa. Kynttilän valon värilämpötila on noin 1900K ja tavallisten hehku- ja halogeenilamppujen noin 3000K. Päivänvalon värilämpötila vaihtelee 5500K ja 7500K välillä. (Burton 2011.)

Valon värilämpötilan avulla pystytään tuottamaan haluttu tunnelma lopputulokseen käyttämällä eri ympäristöjen, valonlähteiden ja päivänaikojen arvoja hyväksi valaistusta luodessa. Tämän lisäksi valon väripitoisuudella pystytään korostamaan haluttuja asioita. Väripitoisuus tai kylläisyys (saturation) tarkoittaa kuinka paljon mustaa ja valkoista on sekoittunut pääväriin. Väripitoisuudeltaan puhtailla väreillä kuvataan kohteen läheisyyttä. Esimerkiksi sumussa lähellä oleva kohde erottuu väreiltään selvästi, kun taas kauempana olevien kohteiden värit haalistuu. Tätä periaatetta voidaan käyttää muissakin tapauksissa. (Akram 2002.)

2.1.4 Valon tyyppi

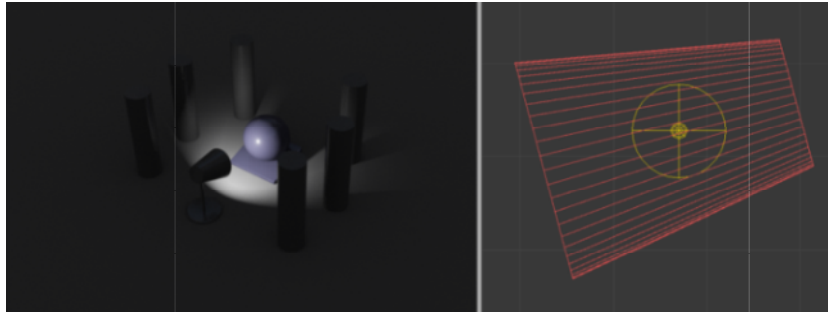
Valonlähteen tyyppiä pystytään määrittelemään useimmissa 3D-ohjelmistoissa samankaltaisia valintoja, jotka pyrkivät luomaan karkeasti samanlaisia valoja, kuin mitä oikeassa elämässä nähdään. Näitä valotyyppejä ovat pistevalo, kohdevalo, suora kohdevalo, skylight, aluevalo, 3D-objekti valona, ympäristövalo ja image-based lighting. (Birn 2014, 24.)

Pistevalo (point light) on valotyyppi, joka säteilee valoa yksittäisestä pisteestä joka suuntaan. Tällaista valoa voidaan verrata esimerkiksi hehkulamppuun, joka roikkuu keskellä huonetta, valaisten huonetta yhdestä pisteestä. (Birn 2014, 25.) Kuvassa 9 on valaistu 3D-ympäristö yhdellä pistevalolla.



Kuva 9. Pistevalo.

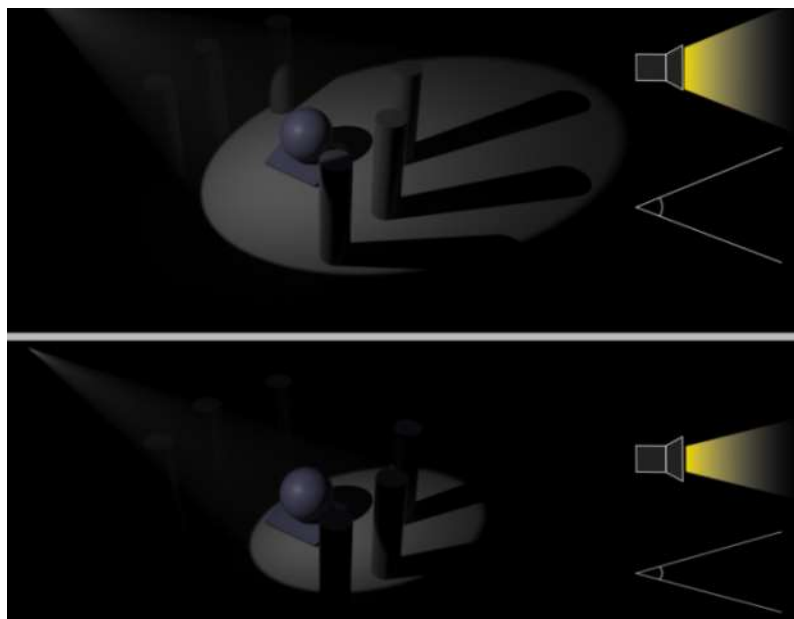
Pistevaloa voidaan kuitenkin suunnata luomalla sen ympärille heijastavia pintoja, jotka saavat valonsäteet osoittamaan karkeasti haluttuun suuntaan. Tämänkaltaista suuntausta on kuitenkin hankala hallita, joten käytännössä aina suunnatuille valoille käytetään kohdevaloja. (Birn 2014, 25.) Kuvassa 10 pistevalon ympärille on lisätty kartiomainen 3D-objekti, joka käyttäytyy lampunvarjostimena suunnaten valonsäteitä.



Kuva 10. Pistevalo geometrian sisällä.

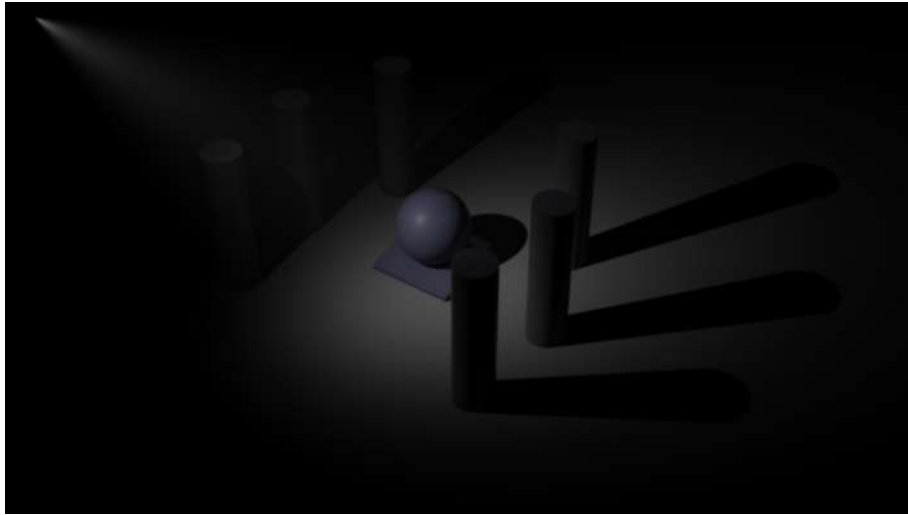
Kohdevalo (spotlight) säteilee valoa myös yksittäisestä pisteestä, mutta osoittaa vain kartion muotoiselle alueelle. Kohdevalo on yksi yleisimmin käytetyistä valotyypeistä, koska sen ominaisuuksia pystytään säätämään kattavasti, minkä vuoksi saadaan helpommin haluttu lopputulos. Esimerkiksi saadaan osoitettua valonsäteet vain tiettyyn kohteeseen, jolloin muut kohteet jäävät valaisematta. (Birn 2014, 26.)

Kohdevalon ominaisuuksia – kuten suunta, kartion kulma (cone angle) ja reunojen pehmeys (penumbra angle) – pystytään määrittämään tarkasti, mikä tekee kohdevaloista käteviä monenlaisissa tilanteissa (Birn 2014, 26). Kartion kulma tarkoittaa kohdevalosta lähtevien valonsäteiden kulmaa. Tämän avulla saadaan kohdistettua kohdevalo tarkasti haluttuun kohteeseen. Kartion kulman vaikutus voidaan nähdä kuvassa 11, jossa 3D-ympäristöä on valaistu kahdella eri kulmalla.



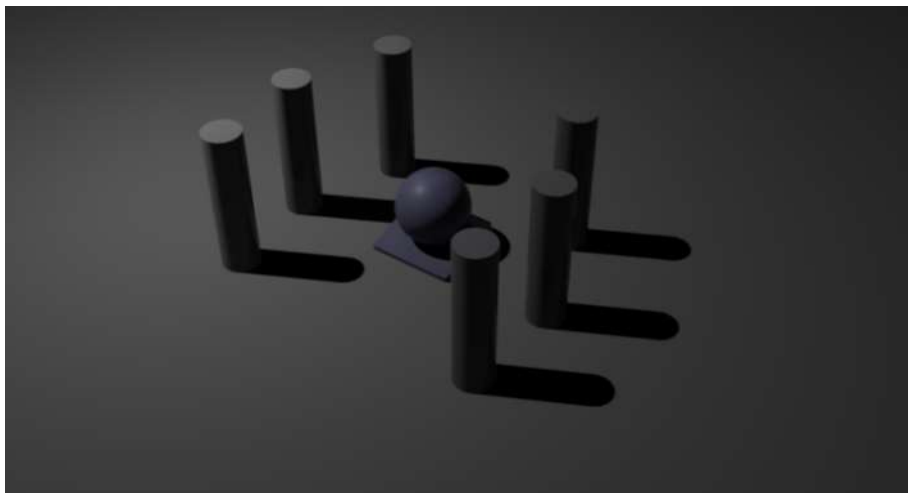
Kuva 11. Kohdevalo kahdella eri kartion kulmalla.

Kohdevalon kartion kulman lisäksi voidaan säätää kartion reunojen pehmeyttä. Tämä tarkoittaa sitä, että kohdevalosta lähtevät valonsäteet eivät luo terävää valaistua aluetta, vaan valon määrä pikkuhiljaa vähenee reunoja kohti mennessä. Tätä voidaan käyttää esimerkiksi, jos halutaan valaista kappaletta pehmeämmin, mutta silti kohdistetusti. Yhdistämällä useampia kohdevaloja, joiden reunat ovat pehmeitä, saadaan luotua yhtenäisiä valaistusratkaisuja, joiden valot täydentävät toisiaan. (Birn 2014, 28.) Kuvassa 12 on esitetty esimerkki pehmeillä kartion reunoilla valaiseva kohdevalo.



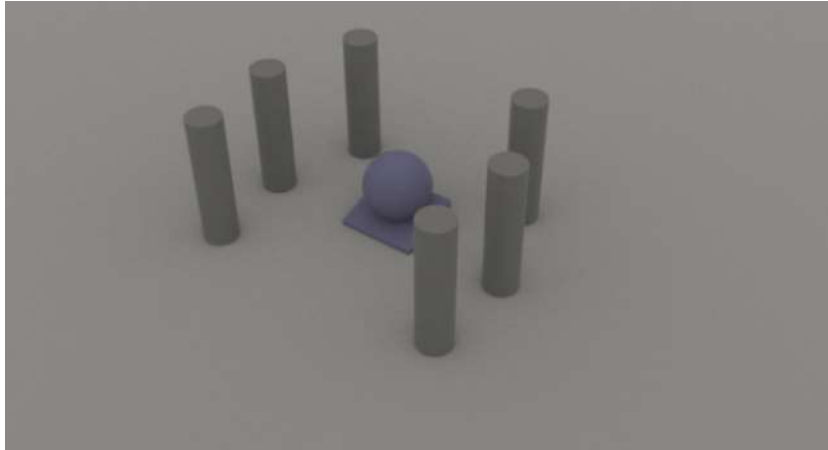
Kuva 12. Kohdevalo pehmeillä reunoilla.

Suoraa kohdevaloa (directional light) käytetään yleensä auringonvalon simuloimiseen, koska se luo tasaisen valon valitusta suunnasta (Birn 2014, 30). Suora kohdevalo soveltuu tähän käyttöön hyvin, koska se luo suoran valokentän, jossa varjot heijastuvat samaan suuntaan. Tämä näyttää katsojasta siltä kuin valo tulisi jostakin kaukaa, vaikka 3D-ohjelmistossa sen sijainnilla ei välttämättä ole juurikaan merkitystä. Sijainnin sijaan sen suuntauksella on, sillä kääntelemällä suoraa kohdevaloa tai muuttamalla sen kohdetta, muutetaan myös valon suuntaa. (Brooker 2008, 33.) Kuvassa 13 näkyy suoran kohdevalon suoran varjot ja etäisyyden tuntu.



Kuva 13. Suora kohdevalo.

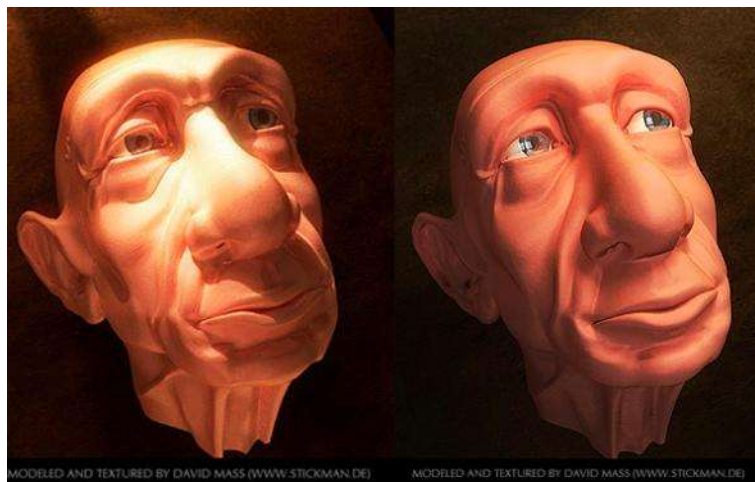
Kohdevalon lisäksi toinen auringonvaloa tai päivänvaloa simuloiva valotyyppi on skylight. Skylight valaisee koko 3D-skeneä ympäröiden sen kupumaisella pinnalla, joka säteilee valoa. Tämä muistuttaa ilmakehän läpi tulevia valonsäteitä. Kuvassa 14 näkyy kuinka skylight valaisee kaikkia objekteja tasaisesti. Skylight on aina ympäröivä rakenne, jota ei voi muuttaa, mutta sen ominaisuuksista voi määrittää halutun voimakkuuden ja värin. (Brooker 2008, 34.)



Kuva 14. Skylight.

Aluevalo (area light) tarkoittaa valonlähdettä, joka ei ole pistemäinen, vaan sille on asetettu tietty muoto ja koko. Tämä on oikeassa elämässä itsestäänselvyys, sillä ei ole olemassa valoa, jolla ei olisi jotakin muotoa tai kokoa. Aluevaloilla saadaankin luotua realistisempia valaisuratkaisuja. (Brooker 2008, 35.)

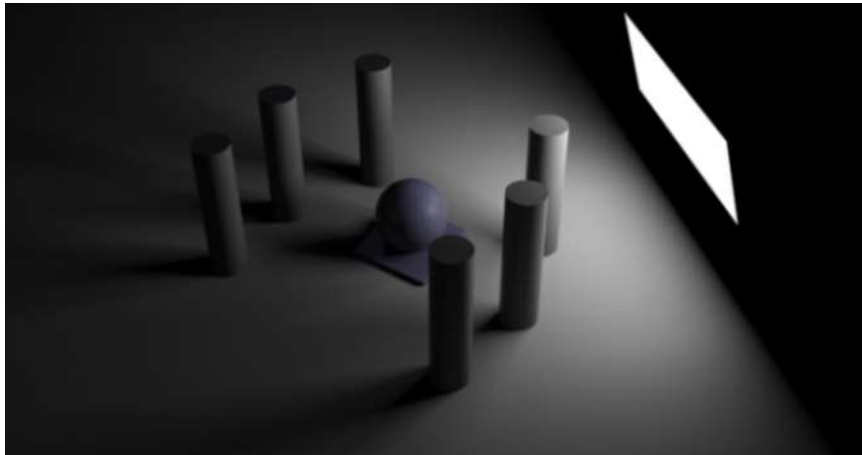
Valonlähteen koolla vaikutetaan valaistuksen pehmeuteen ja sitä kautta yleisvaikutelmaan. Pieni valonlähde saa aikaan teräviä varjoja, mikä tekee vaikutelmasta jännittyneen. Kun valonlähteen kokoa kasvatetaan, varjot pehmenevät ja yleisilmeestä tulee luontevampi. (Akram 2002.) Kuvan 15 esimerkeistä voidaan nähdä valonlähteen koon vaikutus varjojen pehmeuteen ja otoksen tunnelmaan.



Kuva 15. Pienellä ja suurella valonlähteellä valaistut otokset vierekkäin (Akram 2002).

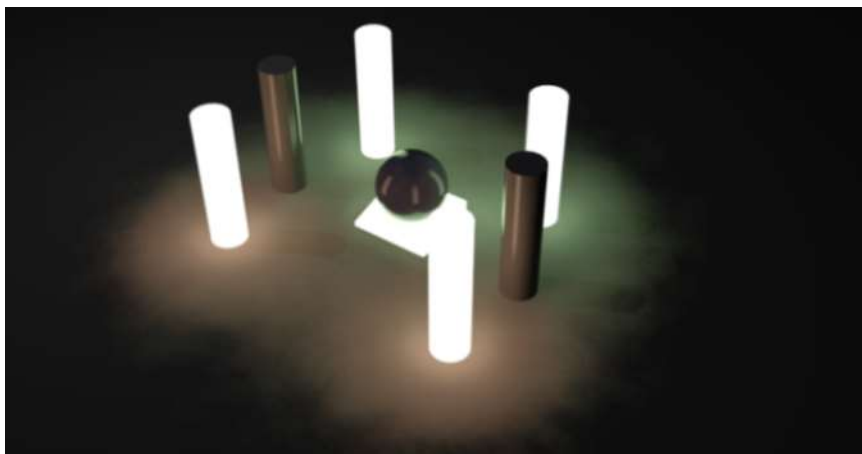
Aluevaloille voi asettaa erilaisia muotoja – kuten suorakulmio, ympyrä tai pallo – joiden mukaisesti valonsäteiden säteily lasketaan. Yleensä kannattaakin pyrkiä käyttämään vastaavaa muotoa, kuin mitä oikeassa tilanteessa olisi käytössä. Esimerkiksi viivamaista valonlähdettä voidaan käyttää loisteputkenä (Birn 2014, 32).

Aluevalot ovat yleensä realistisempia ja niillä pystytään luomaan tarkempia valaistuksia, mutta niiden heikkous on se, että ne vaativat paljon laskentatehoa ja niiden renderöinti voi viedä aikaa. Tämän vuoksi niitä käytetään enemmän vasta lopullista tuotosta renderöitäessä ja yleensä yksittäisissä kuvissa. (Brooker 2008, 35.) Kuvassa 16 näkyy suorakulmion muotoinen aluevalo.



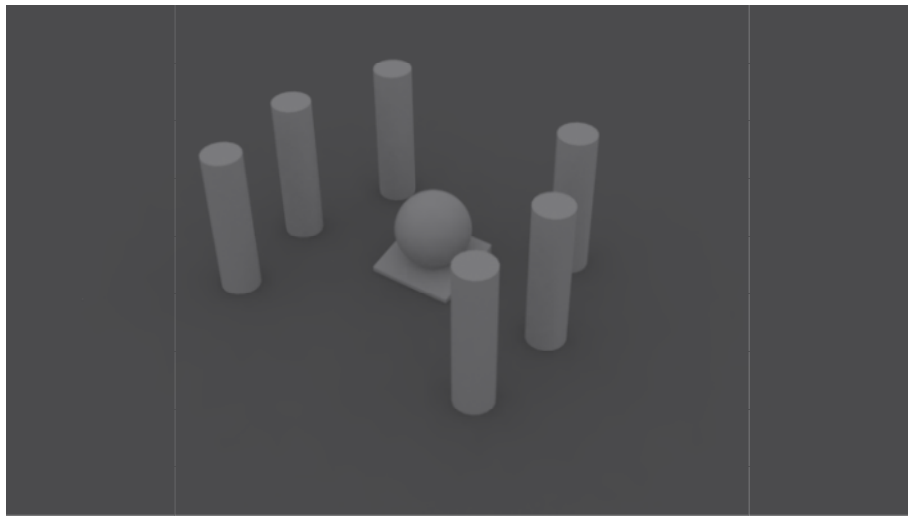
Kuva 16. Aluevalo näkyvissä.

Erillisten valojen lisäksi valaisuun on mahdollista käyttää 3D-objekteja, jotka on asetettu säteilemään valoa. Tällä tavalla voidaan luoda epätavallisen muotoisia valonlähteitä – kuten neon-kyttilä tai muut normaalista poikkeavat valot – jotka valaisevat ympäristöä. Yleensä tällaiset valonlähteet ovat kuitenkin hankalampia säätää sopiviksi ja niiden renderöinti voi viedä enemmän aikaa, koska ohjelmistot ovat optimoituja käyttämään ohjelmiston sisäisiä valoja. Tämän vuoksi 3D-objekteja kannattaa käyttää valoina vain erikoistapauksissa. (Birn 2014, 37.) Kuvassa 17 on asetettu 3D-objekteja toimimaan valonlähteinä.



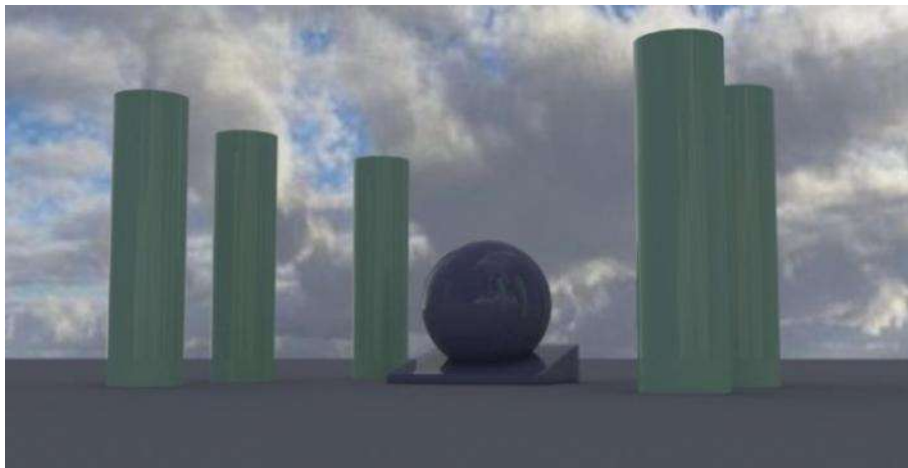
Kuva 17. 3D-objekteja valonlähteinä.

Ympäristövalo (ambient light) ei ole yksittäinen valonlähde, joka asetetaan tiettyyn paikkaan 3D-ohjelmiston näkymässä (viewport), vaan se valaisee koko 3D-skenen aina tasaisesti. Oikeassa elämässä ympäristövalona voidaan kokea valonsäteiden kimpoileminen ympäröivästä maailmasta, mutta se ei luo samanlaista tasaista valaistusta kuin ympäristövalo, mikä tekeekin ympäristövalolla valaistusta otoksista epärealistisia. Ympäristövaloa ei yleensä kannatakaan käyttää, jos haluaa realistisen lopputuloksen, koska se valaisee kaikkea samalla voimakkuudella ja värillä, jolloin lopputuloksesta tulee epäluonnollisen tasainen. Sitä voi kuitenkin käyttää erilaisten tasaisempien pintojen kuvaamiseen, jolloin se on kätevä työkalu. (Brooker 2008, 36.) Kuvassa 18 näkyy kuinka ympäristövalo valaisee tasaisesti jokaista objektiä.



Kuva 18. Ympäristövalo.

Image-based lighting (IBL), eli kuvaan perustuva valaisu, on tekniikka, jolla voidaan luoda valaistus valitun kuvan perusteella. Tätä voidaan käyttää esimerkiksi asettamalla kuva taivaasta 3D-skenen ympärille, jonka värisävyjen perusteella ohjelma määrittää valaistuksen, heijastumiset ja kiillot. (Birn 2014, 123.) Kuvassa 19 on esitetty IBL-tekniikalla valaistu 3D-ympäristö.



Kuva 19. Image-based lighting.

Image-based lightingia käytettäessä suositellaan käyttämään HDR-kuvia (High Dynamic Range). HDR-kuva tarkoittaa kuvaa, johon on tallennettu laajempi kirkkausalue, kuin ruudulla pystytään näkemään. Tällä tavalla kaikki värisävyt saadaan sisällytettyä yhteen kuvaan, josta niitä pystytään käyttämään hyväksi valaisemisessa. (Birn 2014, 124.)

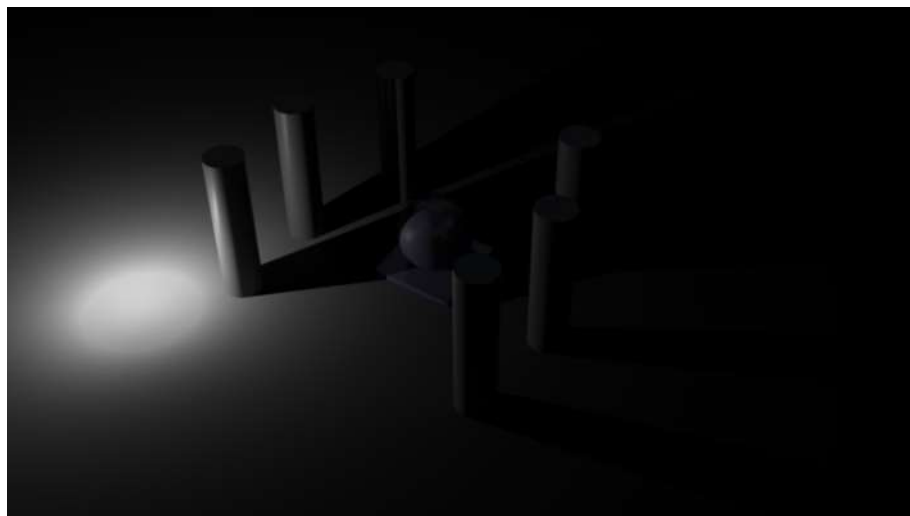
2.1.5 Valon voimakkuuden suhde etäisyyteen

Valo noudattaa fysiikan lakeja, joista yksi olennaisimmista 3D-valaistuksessa on käänteisen neliön laki (inverse square law). Käänteisen neliön laki määrittää, miten valon säteiden voimakkuus vaimenee (attenuation) etäisyyden kasvaessa. (Brooker 2008, 17.)

Birnin (2000, 99) mukaan, kun oikeassa elämässä pistemäisestä lähteestä säteilee valoa – tai muuta säteilyä, joka noudattaa samaa lakia – sen voimakkuus tietyllä etäisyydellä lähteestä vaimenee neljäsosaan, kun tämä etäisyys kaksinkertaistetaan. Tämä voidaan kirjoittaa myös muotoon:

$$\text{Kohteen valaistus} = \frac{\text{Voimakkuus}}{\text{Etäisyys}^2} \quad (1)$$

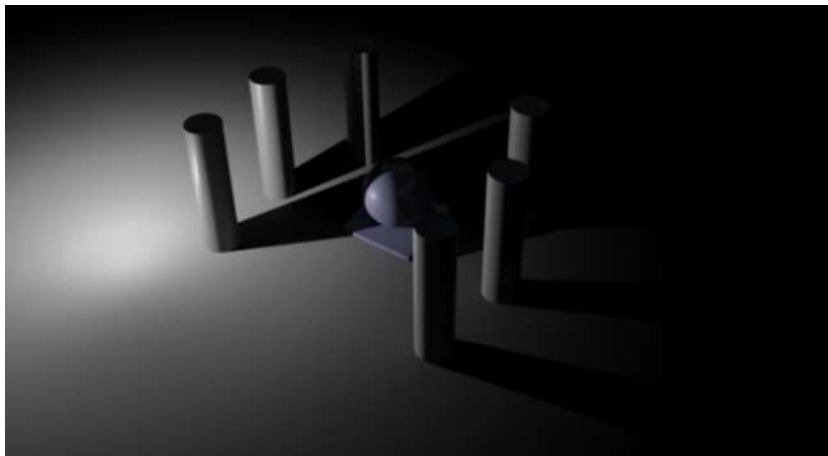
3D-valaistuksessa käänteisen neliön lakia noudattamalla voi kuitenkin olla hankala saada valaistus halutunlaiseksi, pitäen samalla renderöintiajat sopivan pieninä. Tämä johtuu siitä, että käänteisen neliön lain mukaan valon voimakkuus ei koskaan häviä, vaan puolittuu loputtomiin. Käytännössä kuitenkin valon voimakkuus pienenee nollaan, kun etäisyys kasvaa tarpeeksi suureksi, jolloin sen muutos ei enää vaikuta otoksen valaistuksen määrään. Koska valon voimakkuus vaimenee pienillä etäisyyksillä nopeasti ja suurilla etäisyyksillä hitaasti, se luo helposti ylivalottuneita kohtia valonlähteen lähelle ja renderöinti vie enemmän aikaa, koska myös kauempana olevat kohteet ovat valaistuja. (Birn 2000, 99.) Käänteisen neliön lakia noudattava valon voimakkuuden vaimeneminen on esitetty kuvassa 20, jossa näkyy myös kuinka valonlähteen lähellä olevat objektit ovat voimakkaasti valaistuja, mutta voimakkuus vaimenee nopeasti.



Kuva 20. Käänteisen neliön lakia noudattava voimakkuuden vaimeneminen.

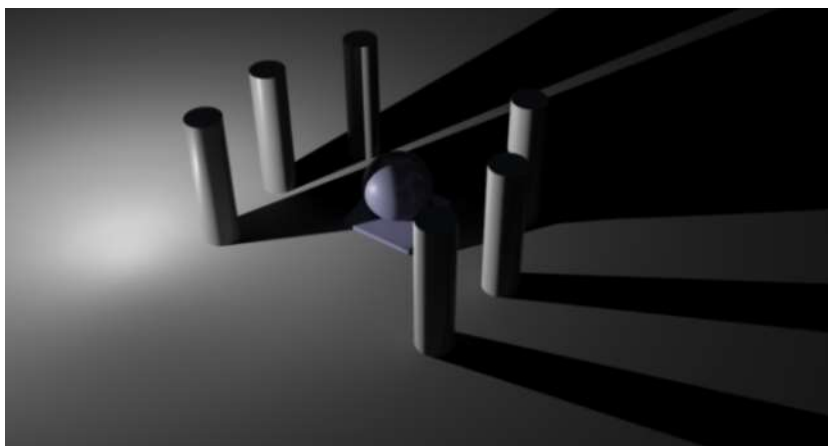
3D-ohjelmistoissa voidaan, vastoin fysiikan lakeja, määrittää myös valon voimakkuuden vaimentumiselle etäisyydet, joiden välillä voimakkuus vaimenee lineaarisesti (linear attenuation). Sitä hallitaan yleensä kahdella arvolla: vaimentumisen alkamisetäisyys valonlähteestä ja vaimentumisen loppumisetäisyys valonlähteestä. (Brooker 2008, 43.)

Vaimentumisen alkamisetäisyydellä määritetään se etäisyys valonlähteestä, josta valon voimakkuus alkaa vaimenemaan. Loppumisetäisyydellä taas määritetään se etäisyys, jossa valon voimakkuus saavuttaa nollan. Lineaarinen voimakkuuden vaimeneminen ei ole yhtä realistinen, kuin käänteisen neliön mukaisesti laskettu vaimeneminen, mutta sen arvot ovat tarkasti määritettävissä, mikä tekee siitä käytännöllisen. (Brooker 2008, 43.) Kuvassa 21 näkyy esimerkki vapaavalintaisesti määritetyistä vaimentumisen etäisyyksistä.



Kuva 21. Itse määritetyt voimakkuuden vaimentumisetäisyydet.

Näiden kahden vaimenemissäännön lisäksi voidaan valita myös, että voimakkuus ei vaimene lainkaan etäisyyden kasvaessa. Tällä tavalla voidaan luoda realistinen lopputulos tiettyihin tilanteisiin, kuten jos pieneen huoneeseen säteilee ikkunasta voimakas auringonvalo. Valon voimakkuus ei vaimene huoneen matkalla niin paljon, että se olisi huomattavissa. (Brooker 2008, 43.) Kuvassa 22 näkyy esimerkki tilanteesta, jossa valo ei vaimene etäisyyden kasvaessa.

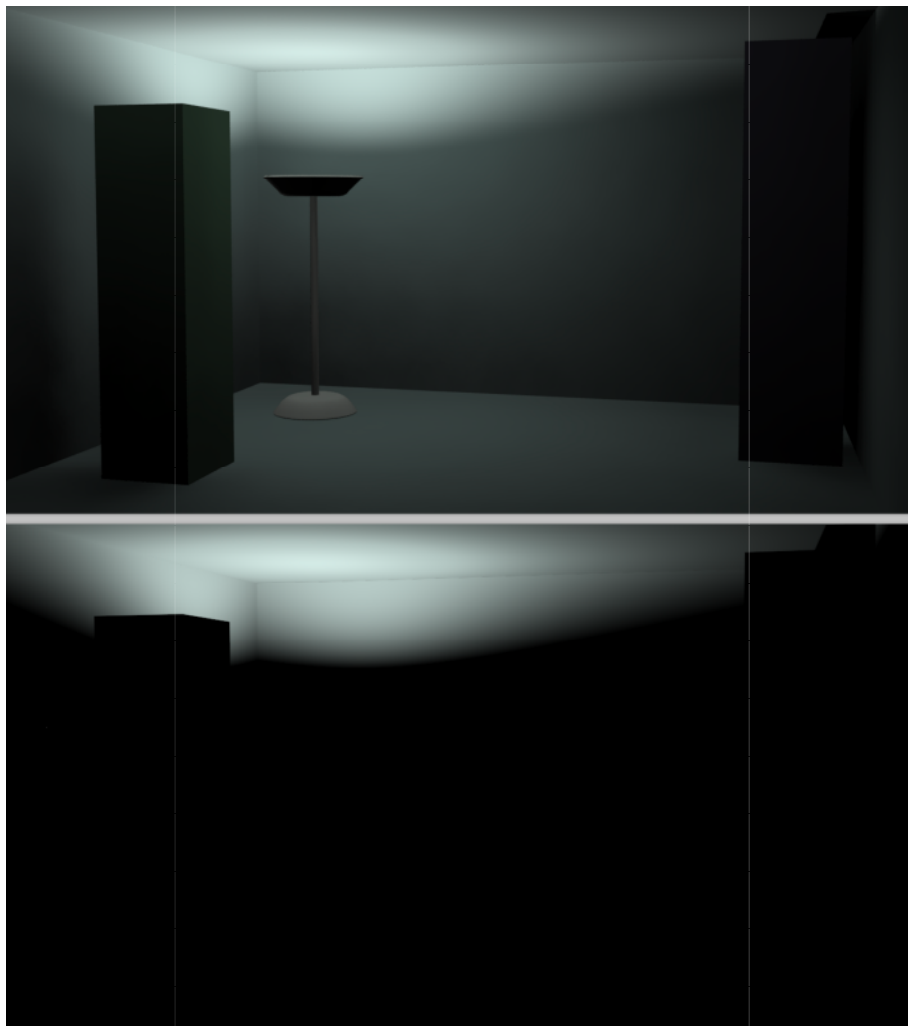


Kuva 22. Voimakkuus ei vaimene etäisyyden kasvaessa.

2.2 Suora ja epäsuora valo

3D-grafiikassa on kahdenlaista valoa: suoraa ja epäsuoraa. Suora valo tarkoittaa sitä, että se osuu valonlähteestä suoraan 3D-objektiin. Suoraa valoa laskettaessa, ei lasketa valonsäteiden heijastumista pinnasta poispäin. Jos suoralla valolla halutaan luoda heijasteita pinnoista, täytyy heijastevalot luoda erikseen. (Brooker 2008, 48.)

Epäsuora valo on valoa, joka heijastuu 3D-objektin pinnasta poispäin, valaisten myös muita lähellä olevia 3D-objekteja. Oikeassa elämässä epäsuoraa valoa on kaikkialla, koska kaikki pinnat heijastavat valoa myös poispäin. (Birn 2000, 241.) Kuvassa 23 näkyy esimerkkinä kuinka jalkalamppu, joka osoittaa kirkasta valoa suoraan kattoon, valaisee epäsuoran valon ansiosta myös muuta huonetta. Ilman epäsuoraa valoa, vain katto näkyy valaistuna.

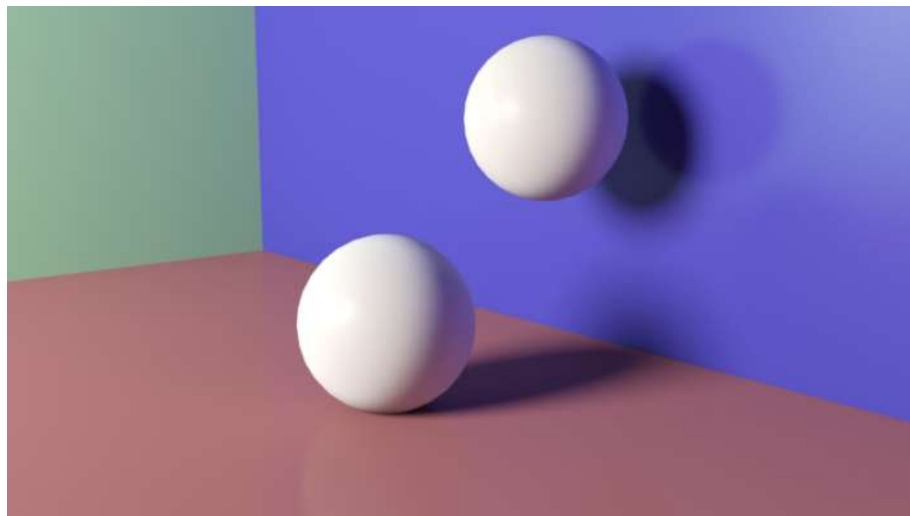


Kuva 23. Epäsuora ja suora valo.

2.2.1 Global illumination

Global illumination (GI) on nimitys algoritmeille, joiden avulla saadaan 3D-grafiikassa laskettua realistisempia valaistuksia. Global illumination ottaa huomioon sekä suorat että epäsuorat valot että niiden värien heijastumiset. Ilman global illuminationia ei voitaisi laskea valon heijastumista 3D-objektien pinnoista, vaan kaikki valo olisi suoraa valoa. Tällöin realistisen lopputuloksen saavuttaminen olisi hankalaa tai jopa mahdotonta, koska kaikki heijastevalot täytyisi luoda manuaalisesti. (Birn 2000, 241.)

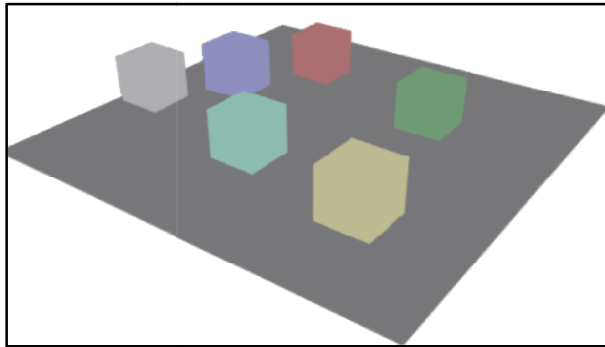
Global illuminationin realistisuutta lisää se, että 3D-objektin pinnan väri heijastuu valon mukana toisen objektin pinnalle. Tätä heijastumisen englanninkielinen nimi on color bleeding. (Birn 2014, 132.) Kuvassa 24 on esitelty miten värikäs pinta heijastuu vaalean objektin pinnalle.



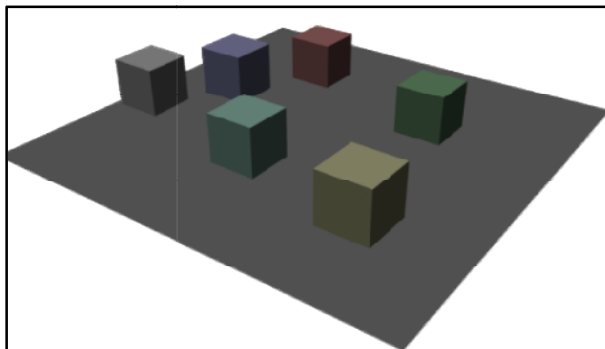
Kuva 24. Global illumination – Värien heijastuminen.

2.3 Varjot

Varjot ovat valaistuksen toinen puoli, joka on vähintäänkin yhtä tärkeä osa 3D-suunnittelua. Ihmissilmä tunnistaa varjojen avulla valonlähteen sijainnin, mistä kappale on tehty, kuinka kaukana se on ja miten se on sijoittunut muuhun ympäristöön verrattaessa. Ilman varjoja on hyvin vaikea arvioida kappaleen sijaintia, koska ne sitovat kappaleen ympäristöön. Tämä voidaan huomata tarkastelemalla kuvia 25 ja 26, joissa kappaleilla ei ole varjoja ollenkaan tai ne eivät synnytä heittovarjoja. (Brooker 2008, 45.)

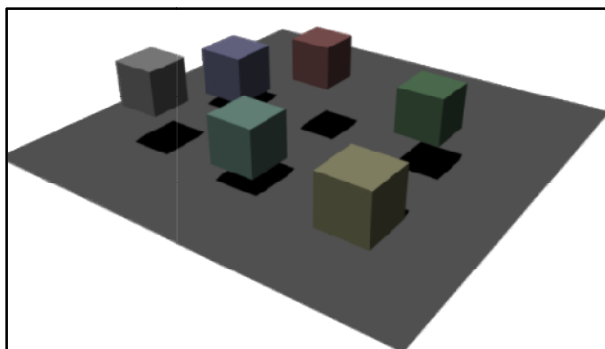


Kuva 25. Ei varjoja.



Kuva 26. Ei heittovarjoja.

Kun varjot astuvat kuvaan, pystytään helposti määrittämään kappaleiden sijainti. Kuvassa 26 näkyvät varjot laatikoiden alla tekevät selväksi, että laatikot eivät olekaan kaikki tason pinnalla, vaan leijuvat eri korkeuksilla ilmassa. Tämä oli mahdotonta arvioida ilman varjoja.



Kuva 27. Varjot näkyvissä.

Sijainnin lisäksi varjoilla voidaan korostaa kolmiulotteisuutta paljastamalla varjojen avulla kappaleiden muotoja, joita ei muuten näkyisi. Esimerkiksi valaistus voidaan tarkoituksellisesti sijoittaa niin, että kappaleesta heijastuu varjo, joka paljastaa kappaleen muotoja, joita katsoja ei muuten havaitsisi. (Brooker 2008, 47.) Kuvassa 28 näkyy esimerkki, jossa kappaleen heittovarjosta näkee myös kappaleen muita muotoja, joita ei muuten näkyisi.



Kuva 28. Kappaleesta tuleva varjo tuo esiin muotoja, joita ei muuten näe.

Samantapaista tekniikkaa voi myös käyttää niin, että kohdekappaleeseen heitetään muiden kappaleiden varjoja, jotka korostavat kohdekappaleen muotoa. (Brooker 2008, 47). Kuvassa 29 on esitelty esimerkki tällaisesta käytöstä, jossa ikkunan sälekaihtimien luomat palkkimaiset varjot taipuvat kohdekappaleen pinnalla.

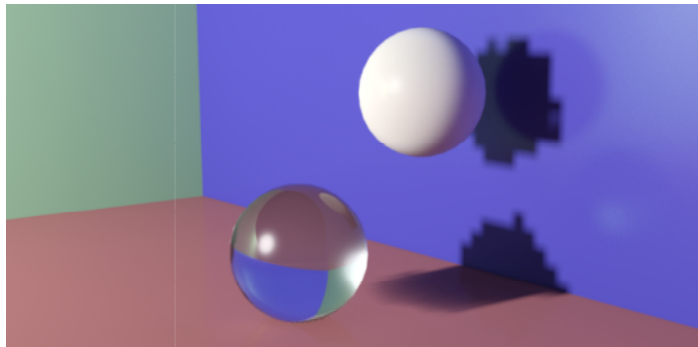


Kuva 29. Heittovarjoja kappaleen pinnalla.

2.3.1 Varjoalgoritmit

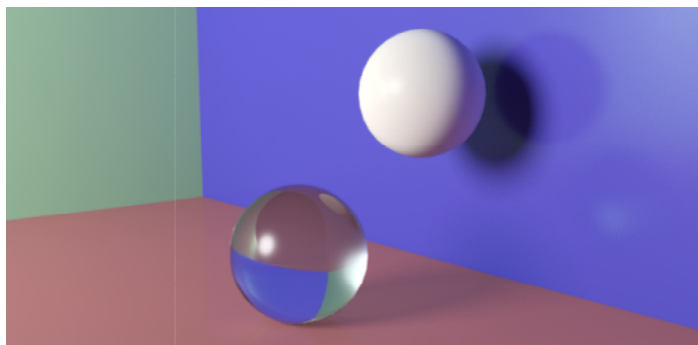
Useimmissa renderöintimoottoreissa on mahdollista valita kahdesta eri tavasta laskea 3D-grafiikassa syntyneet varjot: shadow mapping ja raytracing.

Shadow mapping on varjoalgoritmi, joka käyttää laskettua depth mappia varjojen sijainneille. Depth map kuvaa renderöintimoottorille taulukon avulla valonlähteiden etäisyydet lähimmästä varjoa muodostavasta objektista. Etäisyydet lasketaan ennen varsinaista renderöintiä, eikä niitä tarvitse enää laskea uudelleen, ellei geometriaa muuteta. Tämä nopeuttaa jo ennestään verrattain nopeaa renderöintiä. Etäisyystietojen avulla renderöintimoottori laskee valonsäteiden etenemisen loppuvan, kun se osuu objektiin. Shadow mapping on hyvä vaihtoehto, kun halutaan lyhyt renderöintiäika, mutta huonona puolena on varjojen epätarkkuus. (Birn 2000, 76.) Shadow mapping -algoritmin epätarkat varjot näkyvät kuvassa 30.



Kuva 30. Shadow mapping.

Raytracing on tekniikka, jossa lasketaan jokaisen valonsäteen kulku valonlähteestä valaistavaan kohteeseen. Raytracing sopii paremmin global illuminationin kanssa käytettäväksi, koska se osaa tulkita objektin läpinäkyvyyden sekä värit. Tällä tekniikalla saadaan realistisempia varjoja, mutta ne vaativat myös enemmän laskentatehoa ja renderöintiajat ovat pidemmän kuin shadow mapping -tekniikalla. Raytracingia käytettäessä ei myöskään mitään jää muistiin, vaan kaikki lasketaan jokaisella renderöintikerralla uudestaan. (Brooker 2008, 49.) Kuvassa 31 näkyy, kuinka varjot näyttävät luonnollisemmilta raytracing-tekniikkaa käytettäessä.

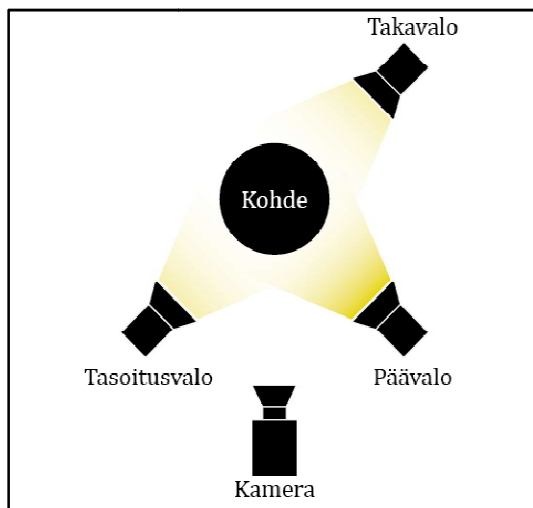


Kuva 31. Raytracing.

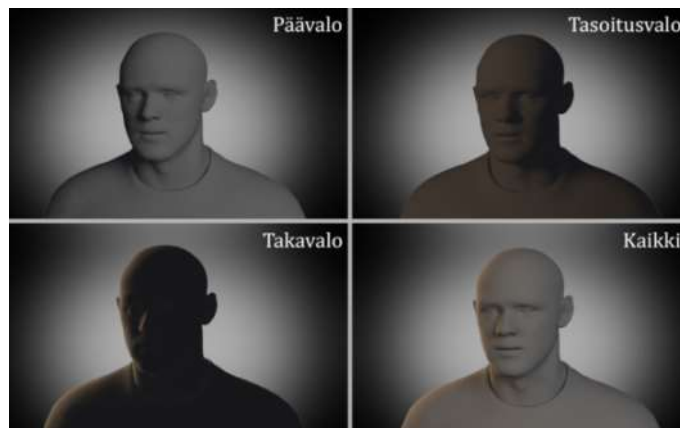
2.4 Kolmipistevalaisu

Kolmipistevalaisu on valaisutekniikka, joka on muotoutunut alun perin Stanley McCandlessin teatteria varten kehittämistä valaisutekniikoista. Sen jälkeen se on jatkanut yhtenä yleisimmistä valaisuratkaisuista, jota käytetään yhä paljon elokuvissa, televisiossa sekä mainostamisessa. Kolmipistevalaisu on menestynyt niin hyvin, koska se tuottaa suhteellisen hyvän lopputuloksen pienellä vaivalla. Kolmea valonlähdettä on vielä helppo hallita ja esimerkiksi televisiotuotannossa yleensä käytettyjen riippuvien valojen sijoittaminen on tarkasti määritettävissä. (Burton 2011.)

Kolmipistevalaisussa kohde valaistetaan kolmella eri valolla, jotka ovat esitelty kuvassa 32. Valojen yleisimmät nimitykset ovat päävalo, tasoitusvalo ja takavalo. Päävalolla valaistetaan suurin osa kohteesta ja määritellään, millainen tunnelma otoksessa on. Tasoitusvalolla pehmennetään päävarjon luomia varjoja ja valaistetaan pimeämpiä kohtia, joihin päävalo ei pääse. Takavalolla erotetaan kohde taustasta valaisemalla kohteen reunat takaapäin. (Birn 2000, 38.) Kuvassa 33 on esitelty esimerkein, miltä eri valot näyttävät erikseen sekä miltä lopullinen valaistus näyttää.



Kuva 32. Esimerkki kolmipistevalaisun valojen sijainneista.



Kuva 33. Kolmipistevalaisun valot erikseen sekä kaikki yhdessä.

2.4.1 Key-to-Fill ratio

Päävalon ja tasoitusvalon suhteen kerrointa kutsutaan usein Key-to-Fill ratioksi. Tämä suhde määrittää otoksen varjojen tummuuden tai toisin sanoen vaikuttaa otoksen kontrastiin. (Saint-Jean 2012.)

Key-to-Fill ratio ilmoitetaan suhdeluvulla kuten 8:1. Tämä kertoo päävalon olevan noin kahdeksan kertaa kirkkaampi kuin tasoitusvalo. Kun päävalo on paljon kirkkaampi kuin tasoitusvalo, syntyy otokseen tarkkoja varjoja ja otoksen tunnelma saadaan dramaattisemmaksi. Jos taas suhdeluku on lähempänä 1:1:tä, on otos olemukseltaan tasainen, eikä selkeitä varjoalueita synny. (Saint-Jean 2012.) Kuvassa 34 näkyy esimerkki, jossa sama otos on esitetty kahdella eri Key-to-Fill ratiolla.



Kuva 34. Kuva kahdella eri Key-to-Fill ratiolla (Saint-Jean 2012).

3 SHADER

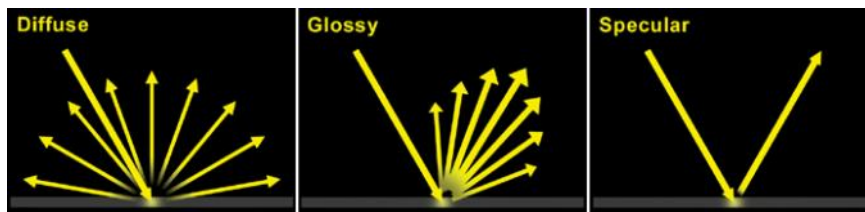
3D-ympäristössä shader määrittää miten kappale heijastaa tai kuljettaa valoa. Shaderille pystytään lisäämään tietoa erilaisilla tekstuurikartoilla (texture map), joilla voidaan simuloida esimerkiksi pinnan muotoja, heijastumia ja läpinäkyvyyttä. (Autodesk 2015f.)

Shader tuottaa laskennallisesti 3D-malliin varjostuksen. Varjostus syntyy, kun valo heijastuu kappaleen pinnasta tietyllä tavalla. Valon heijastumiseen vaikuttavat kaikki shaderille asetetut määritelmät, kuten kuinka paljon kappale imee valoa tai onko kappale läpinäkyvä. (Masters 2013.)

Joissakin 3D-ohjelmistoissa käytetään ilmaisua *materiaali*, kun tarkoitetaan ohjelmiston valmiita shadereita. Kaikki objektin pinnasta renderöintimoottorille tietoja välittävät yhdistelmät ovat kuitenkin yleisesti shadereita. (Birn 2014, 312.)

3.1 Valon heijastuminen objektin pinnasta

Kolme yleisintä valon heijastumistapaa ovat diffuusi- (diffuse reflection), kiilto- (glossy reflection) ja spekulariheijastukset (specular reflection), jotka ovat esillä kuvassa 35. Diffuusiheijastus jakaa valonsäteet tasaisesti joka suuntaan. Kiiltoheijastuksessa valonsäteet jatkavat samansuuntaisesti, mutta myös hajaantuvat samalla. Spekulariheijastuksessa valonsäteet jatkavat suoraan pois päin objektin pinnasta. (Birn 2014, 312.) Kuvassa 36 näkyy miltä nämä heijastumistavat näyttävät objektin pinnalla.



Kuva 35. Heijastukset (Birn 2014, 359).

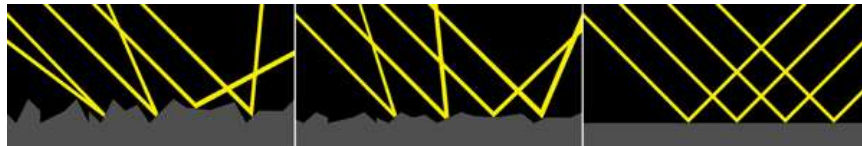


Kuva 36. Renderöity kuva eri heijastuksista (Birn 2014, 359).

Kuten kuvasta 36 näkyy, diffuusiheijastus luo esineelle matan pinnan, kiiltoheijastus kiiltävän ja spekulariheijastus peilimäisen. Useimmat pinnat sisältävät näitä kaikkia kolmea heijastumistapaa. Oikeassa elämässä pinnat eivät koskaan ole ääripäitä. Esimerkiksi peilin voisi kuvitella

heijastavan kaikki valonsäteet suoraan pois spekulariheijastuksen tavoin, mutta oikeasti sekin sisältää diffuusi- tai kiiltoheijastuksia. (Birn 2014, 312.)

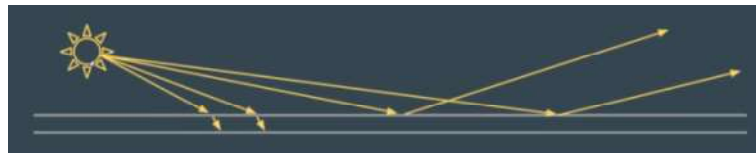
Jotta pystyisi ymmärtämään paremmin, mikä tekee esineen pinnasta matan, kiiltävän tai peilimäisen, voi ajatella valon heijastumiset mikroskooppisella tasolla. Pienikin epätasaisuus esineen pinnassa saa valonsäteet heijastumaan eri tavoilla. Mitä karkeampi pinta on, sitä enemmän valonsäteet hajaantuvat. (Birn 2014, 315.) Kuvassa 37 näkyy mikroskooppisen pienen karkeuden aiheuttama valonsäteiden hajaantuminen.



Kuva 37. Pinnan karkeuden vaikutus valon heijastumiseen (Birn 2014, 315).

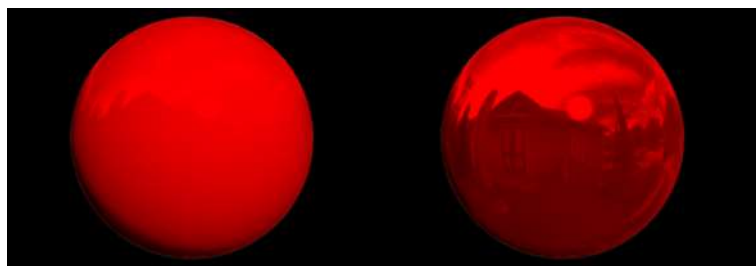
3.1.1 Fresnel-heijastuminen

Fresnel-heijastuminen on yksinkertaisesti sääntö, jonka mukaan valo heijastuu todennäköisemmin objektin pinnasta pois päin pienellä tulokulmalla, kuin suurella tulokulmalla (Zaal 2015). Fresnel-heijastumisen määrä siis riippuu katsojan kuvakulmasta. Kuvassa 38 on esitetty valonsäteiden kulku, ja kuinka se muuttuu tulokulman pienentyessä.



Kuva 38. Fresnel-heijastuminen (Zaal 2015).

Ilman fresnel-heijastumista renderöity 3D-objekti näyttää epäluonnolliselta. Tämä johtuu siitä, että kaikki pinnat heijastavat valoa fresnel-heijastuksen kaltaisesti oikeassa elämässä. (Zaal 2015.) Erityisesti tämän voi huomata veden heijasteissa. Jos katsoo vettä suoraan yläpuolelta, siitä näkyy läpi. Jos taas katsoo vettä pitkin vaakatasossa, se heijastaa takana olevan näkymän pinnalleen. (Birn 2014, 318.) Kuvassa 39 on esitetty, miten fresnel-heijastus vaikuttaa 3D-kappaleeseen.



Kuva 39. 3D-objekti fresnel-heijastuksella ja ilman.

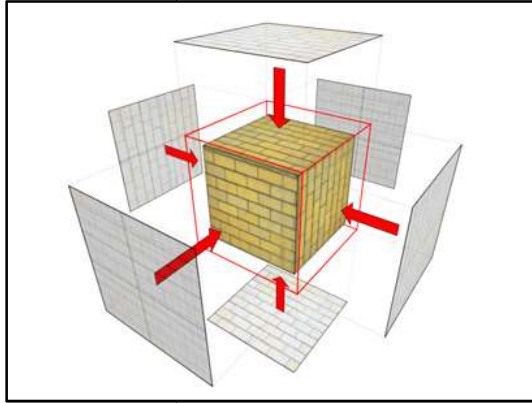
3.2 Teksturointi

Teksturoinnilla tarkoitetaan yleensä 3D-mallin päällystämistä graafisesti luodulla tai proseduraalisesti algoritmin avulla lasketulla kaksiulotteisella bitmap-kuvalla (tekstuurikartalla), jolla saadaan asetettua mallin pinnalle halutunlaisia värejä ja kuvioita. Teksturointi on kuitenkin laajemmin hyödynnettävissä oleva kokonaisuus, jolla pystytään imitoimaan kappaleen materiaalin pintarakennetta ja ulkonäköä todenmukaisemmin kuin pelkästään pinnoitusta vaihtamalla. (Kangas 2002, 1.)

Esineen tai kappaleen olemus voidaan jakaa kolmeen osaan: rakenne, pintarakenne ja pintakäsittely. Rakenne tarkoittaa kappaleen rakennustapaa, eli mistä kappale koostuu. Tämä mallinetaan 3D-ohjelmassa 3D-avaruudessa sijaitsevilla pisteillä, joiden avulla luodaan itse kappaleen pääpiirteet ja -muodot. Pintarakenteella ja -käsittelyllä määritetään se, miten kappale heijastaa valoa. Valon heijastumistavat tekevät kappaleiden pinnoista erilaisia, mikä tekee erilaisista tekstuureista tunnistettavia. Esimerkiksi metallit ovat usein kiiltäviä ja tasaisia, kun taas puupinnat ovat käsittelemättöminä usein mattapintaisia ja karkeita. (Kangas 2002, 2.) Shader ja teksturointi tuottavat yhdessä renderöidyn lopputuloksen pintarakenteen ja -käsittelyn.

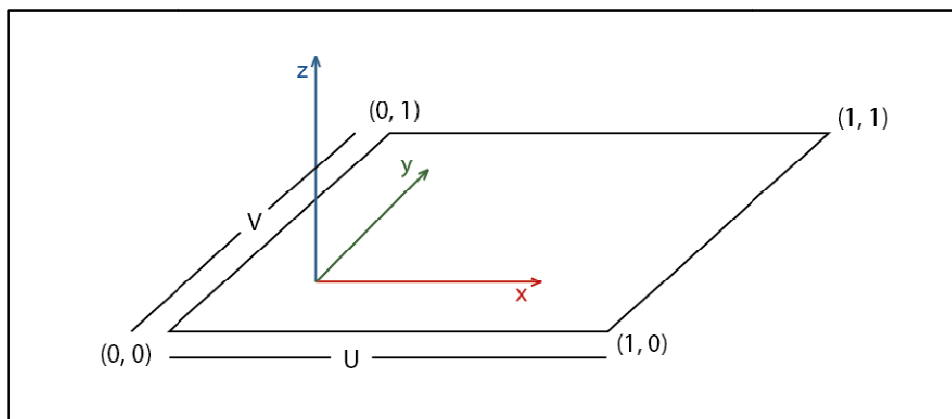
3.3 UV-koordinointi

UV-koordinoinnilla pystytään pinnoittamaan 3D-kappale kaksiulotteisen tekstuurikartan avulla. Se kertoo mihin paikkaan kappaleessa sijoitetaan tietty kartan piste ja käärii tekstuurikartan 3D-kappaleen ympärille halutulla tavalla. (Blender 2016.) Kuvassa 40 on esitetty, miten kuution muotoiselle kappaleen jokaiselle pinnalle on koordinoitu sama tekstuurikartta.



Kuva 40. Kuution jokaiselle pinnalle koordinoitu tekstuurikartta (Autodesk 2015h).

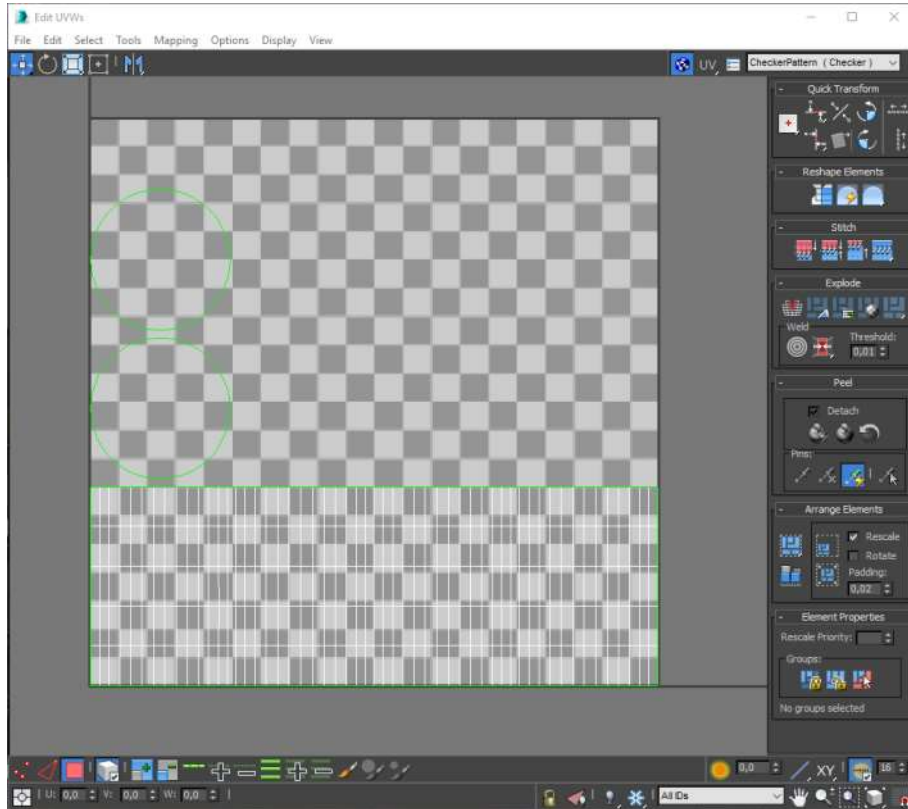
Nimen kirjaimet U ja V vastaavat X- ja Y-akseleita yleisessä koordinaatistossa. Kuvassa 41 on esitetty UV-koordinaatiston suhde yleiseen xyz-koordinaatistoon. Jos laajennetaan teksturointia kolmanteen ulottuvuuteen, lisätään akseli W, joka vastaa Z-akselia. Kolmannen akselin avulla saadaan lisättyä myös kappaleen sisälle tekstuuri pintojen lisäksi. Koska kaksiulotteisesta graafisesti luodusta kuvasta ei saada kolmannelle akselille tietoa, kolmannen ulottuvuuden tekstuuri voidaan luoda esimerkiksi proseduraalisesti algoritmien avulla. (Autodesk 2015g.)



Kuva 41. UV-koordinaatisto.

UV-koordinointi tehdään, kun 3D-mallin geometria on valmiiksi mallinnettu. Mallinnus tehdään loppuun asti, koska jos geometriaa muokataan, UV-koordinaatit eivät enää pidä paikkaansa ja mallin pinnalle voi syntyä epämuodostumia. Jos kuitenkin joutuu muuttamaan geometriaa vielä UV-koordinoinnin ja tekstuurikarttojen teon jälkeen, ne joutuu tekemään uudestaan. (Birn 2014, 10:17.)

UV-koordinoinnissa täytyy määrittää, miten tekstuurikartta saadaan parhaiten asetettua 3D-kappaleen pinnalle. Useimmissa 3D-ohjelmissa on mahdollista muokata kappaleen tekstuureja erillisellä UV-koordinaattien muokkaamiseen tarkoitettuna editorilla. Kuvassa 42 näkyy 3ds Maxin UV-editori. Sillä nähdään objektin pinnat levitettynä ja päälle voidaan luoda haluttu tekstuurikartta kuvankäsittelyohjelmalla. (Birn 2014, 10:17.) Kuvassa 43 on esitetty, miltä kuvankäsittelyohjelmalla luotu tekstuurikartta näyttää 3D-objektille asetettuna.



Kuva 42. UV Texture Editor 3ds Maxissa.

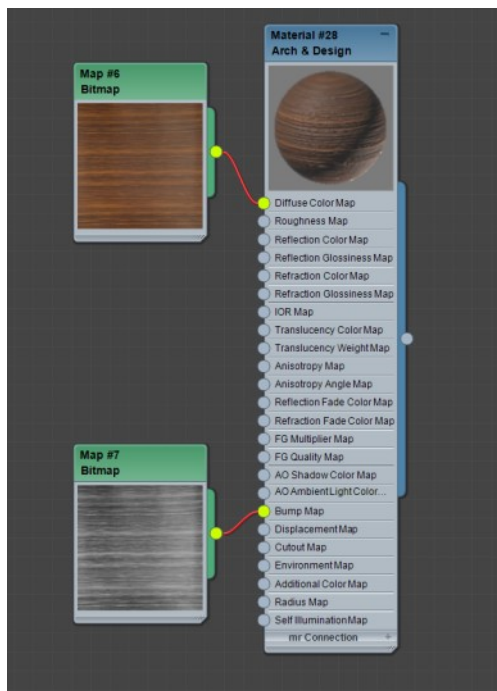


Kuva 43. Tekstuurikartta sovitettuna UV-koordinaattien avulla lieriöön.

3.4 Yleisimpiä tekstuurikarttoja

Tässä luvussa perehdytään projektityössä käytettyihin sekä muutamiin yleisimpiin 3D-ohjelmistojen tekstuurikarttoihin. Tekstuurikarttoja käytetään yleensä objektin pinnan ulkonäön parantamiseen, eli monessa tapauksessa todenmukaisuuden tavoitteluun. Tekstuurikarttoja voidaan myös käyttää 3D-ympäristön tai valoprojektioiden luomiseen. (Autodesk 2015b.)

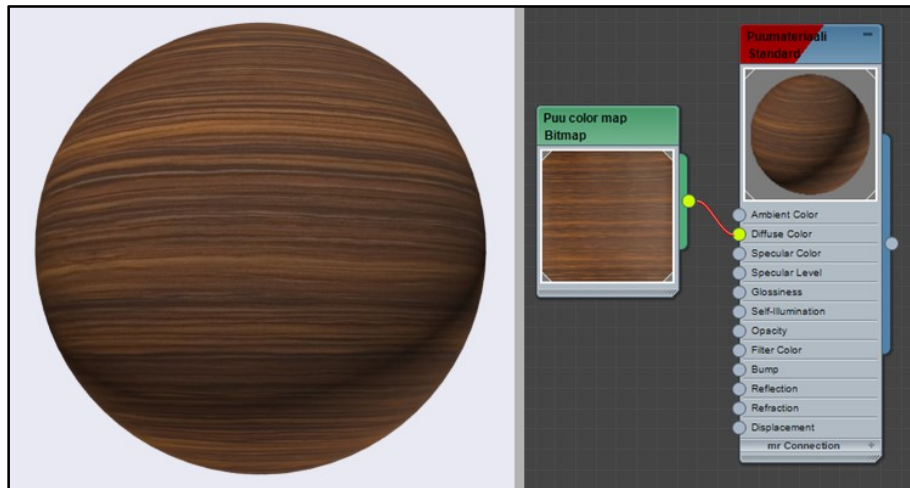
3D-ohjelmassa shaderille lisätään tekstuurikartta, jonka perusteella valon heijastuminen lasketaan. Tekstuurikarttoja on monia erilaisia ja yhdelle shaderille voidaan lisätä useita karttoja samanaikaisesti, jotka muuttavat objektin ulkonäköä eri tavoilla. Tekstuurikartat voidaan määrittellä 3D-mallin pinnalle UV-koordinaattien avulla, jotka käytiin läpi luvussa UV-koordinointi. Kuvassa 44 näkyy esimerkki, jossa 3ds Maxin materiaaleditorissa on asetettu valmiille Arch & Design -shaderille kaksi eri tekstuurikarttaa materiaalikanavien avulla.



Kuva 44. Shader, jolle on määritelty diffuse color map ja bump map 3ds Maxissa.

3.4.1 Color map

Color map tai toiselta nimeltään diffuse color map tarkoittaa 3D-kappaleen tekstuurin pinnan väritystä. Shaderille määritetty color map värittää kappaleen asetetun kuvan perusteella. Color map ei vaikuta kappaleen valaistukseen tai varjostukseen, vaan ainoastaan päällystää kappaleen määritetyn kuvan perusteella. (Russell 2014b.) Kuvassa 45 on esitetty shaderille lisätty diffuse color -tekstuurikartta.

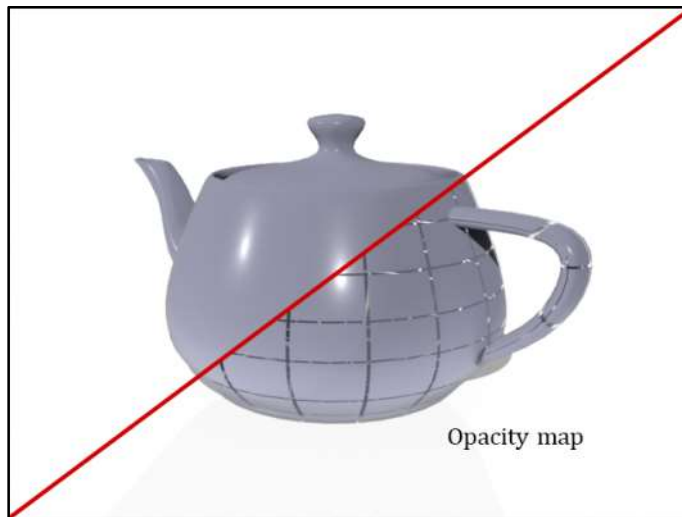


Kuva 45. Color map asetettuna ja renderöitynä.

Color mapin bitmap-kuvaa miettiessä kannattaa muistaa, että siinä ei tule määrittää kiiltäviä kohtia, varjoalueita tai muitakaan valaistuksen luomia heijastuksia. Näiden tulisi syntyä renderöinnin yhteydessä 3D-skenen valaistuksen perusteella. Myös kaikki kappaleen pinnan tahrat ja jäljet on hyvä lisätä erillisillä tekstuurikartoilla. (Birn 2014, 10:4.)

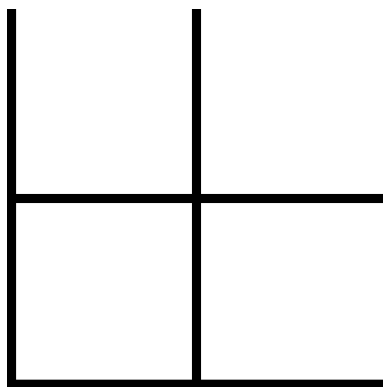
3.4.2 Opacity map

Opacity map määrittää kappaleen läpinäkyvyyden kaksiulotteisen kuvan perusteella. Läpinäkyvyyden määrittävää kartoitusta kutsutaan monella nimellä: opacity-, cutout-, transparency- tai alpha map. Tällä tekniikalla voidaan luoda nopeasti vaativia muotoja, kuten verkkoaitoja, joiden yksittäisten verkkosilmukoiden mallinnus veisi paljon aikaa. (Masters 2013.) Kuvassa 46 näkyy esimerkki, jossa 3D-objektin tietyt osat ovat määritetty läpinäkyviksi opacity mapin avulla.



Kuva 46. 3D-kappale opacity mapilla ja ilman.

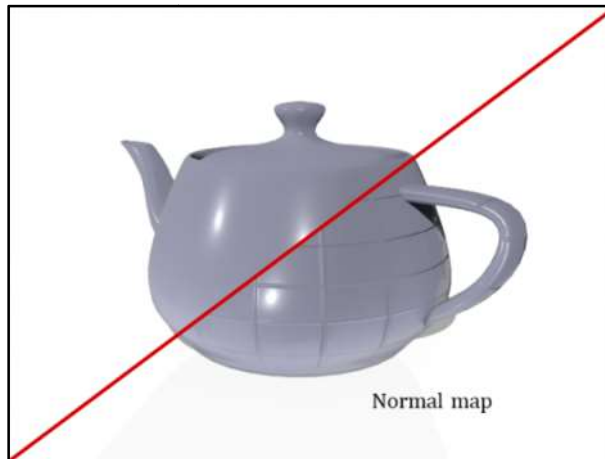
Opacity map on harmaasävyinen, mutta yleensä musta-valkoinen, jossa mustat ja valkoiset alueet määrittävät kappaleeseen täyden näkyvyyden tai että kappaletta ei näy kyseisessä kohdassa. Harmaan eri arvoilla saadaan määritettyä osittainen läpinäkyvyys. (Autodesk 2015a.) Kuvassa 47 on esitetty esimerkki opacity mapista.



Kuva 47. Tiilikuvioinen opacity map, joka on käytössä kuvassa 46.

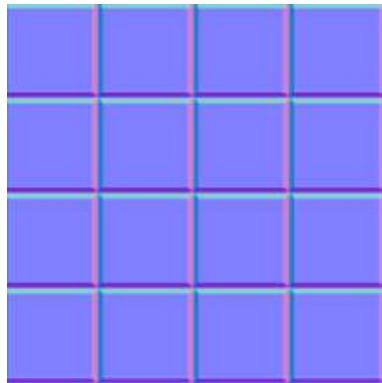
3.4.3 Normal map

Normal mapilla voidaan luoda yksinkertaisen 3D-kappaleen pinnalle monimutkaisia muotoja, joita ei itse geometriassa ole. Tätä käytetään usein pienempiin yksityiskohtiin tai jälkiin kuten koloihin tai naarmuihin, joiden mallintaminen kappaleeseen olisi työlästä ja lisäisi kappaleen monimutkaisuutta huomattavasti. Normal mappien käyttö on pelialalla yleistä, koska halutaan pitää 3D-mallit yksinkertaisina, mutta näyttävän näköisinä. (Autodesk 2015c.) Kuvassa 48 näkyy esimerkki, jossa 3D-objektin pinnalle on luotu epätasaisuuksia normal mapin avulla.



Kuva 48. 3D-kappale normal mapilla ja ilman.

Normal map käyttää kuvan RGB-arvoja määrittämään kappaleen pinnan varjostuksen suunnan tietyssä pisteessä. RGB-arvot vastaavat X,Y,Z-koordinaatiston suuntia. Koska normal map vaikuttaa vain kappaleen varjostukseen, ei se muuta kappaleesta muodostuvia varjoja. (Polycount 2016.) Kuvassa 49 on esitetty esimerkki normal mapista.



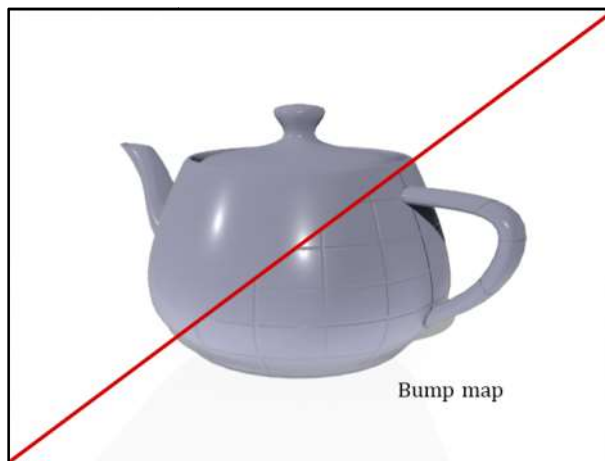
Kuva 49. Tiilikuvioinen normal map, joka on käytössä kuvassa 48.

Normal mappeja on mahdollista tehdä käsin kuvankäsittelyohjelmalla. Tämä on kuitenkin hankalaa ja sen takia siihen käytetään erillistä ohjelmaa, kuten CrazyBump tai xNormal. Näillä voidaan luoda normal map joko valokuvan pohjalta tai 3D-mallien. 3D-malleista voidaan usein tehdä normal map high poly ja low poly -mallien välille. (Hajjoannou 2013.)

High poly on yksityiskohtaisempi suuremman ja low poly pienemmän polygonimäärän sisältävä 3D-malli. Low poly -mallille lisätyllä high poly -mallin pohjalta tehdyllä normal mapilla voidaan saada yksinkertainen malli näyttämään yksityiskohtaisemmalta, kuin mitä sen geometria oikeasti on. (Birn 2014, 10:15.)

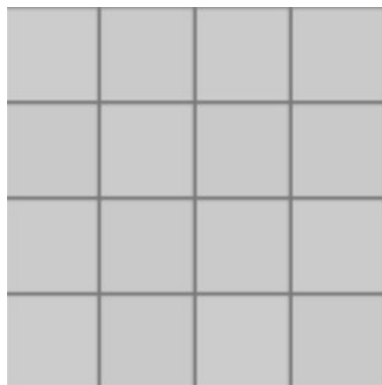
3.4.4 Bump map

Bump mappia käytetään samankaltaisissa tapauksissa kuin normal mappia. Bump mapilla luodaan 3D-kappaleen pinnalle yksityiskohtia, joita ei 3D-mallin geometriassa ole. Yksityiskohdat luodaan valon heijastumista muuttamalla, eikä tämä vaikuta kappaleen resoluutioon. Pinnan karkeus tai pienet painaumat on helpompi lisätä jälkikäteen kappaleen pinnalle erillisellä bump mapilla, kuin mallintaa ne suoraan kappaleeseen. (Russell 2014a.) Kuvassa 50 näkyy esimerkki, jossa 3D-objektin pinnalle on luotu epätasaisuuksia bump mapin avulla.



Kuva 50. 3D-kappale bump mapilla ja ilman.

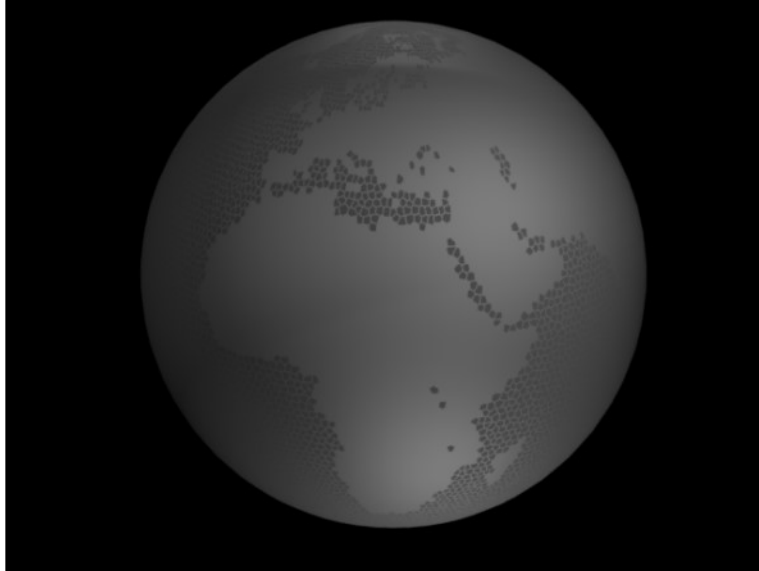
Bump map eroaa normal mapista siinä, että bump mapille asetettava bitmap-kuva käyttää vain harmaan eri sävyjä määrittääkseen uran syvyyden. Syvyyserot ovat kuitenkin vain varjostuksen muutoksia, joten ne eivät näy kappaleen synnyttämässä varjoissa. (Russell 2014a.) Kuvassa 51 on esitetty esimerkki bump mapista.



Kuva 51. Tiilikuvioinen bump map, joka on käytössä kuvassa 50.

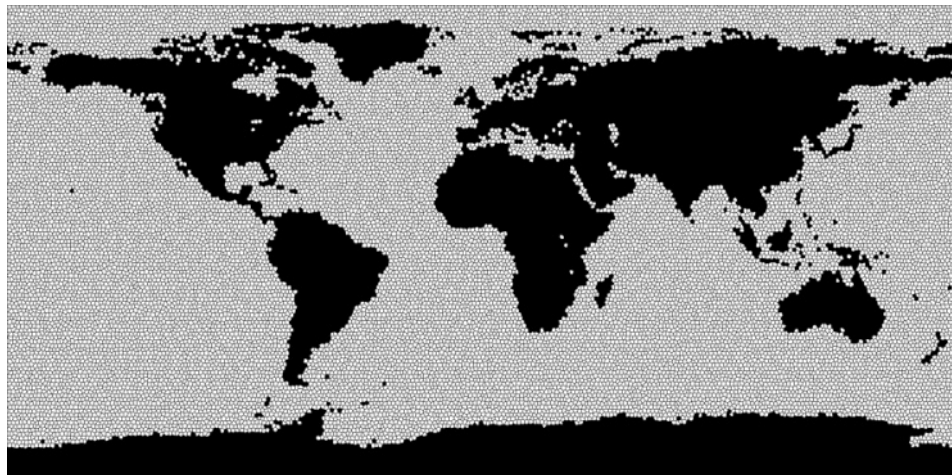
3.4.5 Specular map

Specular map muuttaa 3D-kappaleen korostumia ja kiiltäviä kohtia. Se vaikuttaa korostumien määrään, väriin tai voi poistaa ne kokonaan. Specular map ei kuitenkaan luo korostumia itse kappaleeseen, vaan niiden tulee syntyä skenen valaistuksesta. (Birn 2014, 10:6.) Specular mapilla voidaan esimerkiksi rajata kappaleen kiiltäviä kohtia, kuten kuvassa 52.



Kuva 52. 3D-kappale specular mapilla.

Specular mapissa tummat värit vähentävät 3D-mallin kiiltäviä kohtia ja kirkkaat korostavat. Sillä voi myös vaikuttaa kiillon väriytykseen. Specular mapille asetetulla tekstuurikartalla voidaan hallita samalla tavoin myös kappaleen heijastuskykyä (reflectivity). (Birn 2014, 10:6.) Kuvassa 53 on esitetty esimerkki specular mapista.



Kuva 53. Specular map, joka on käytössä kuvassa 52.

4 SOVELTAVAN PROJEKTIN TYÖVAIHEET

Tässä luvussa käydään läpi opinnäytetyön käytännön osuuden vaiheet ja lähtökohdat. Tarkoituksena ei ole käydä kohtia yksityiskohtaisesti läpi, vaan ilmaista yleiset työvaiheet ja projektin kulku.

Suomen Metsästysmuseo tarvitsi näyttelynsä asepaja-alueeseen 3D-mallinnetun animaation Sako Finnwolf VL 63 vipulukollisesta kivääristä, jossa esiteltäisiin vipulukon toiminta ja aseensa ulkoasu. Animaatio olisi noin minuutin mittainen video, jossa katsoja näkisi aseensa yleisilmeen ja osien toiminnan ladattaessa ja ammuttaessa. Animaatio tulisi pyörimään tauotta näyttelyn seinällä olevassa televisiossa, eikä animaatioon tulisi tekemään ääniä lainkaan. Osien toiminta tulisi kuvata niin että aseensa osat muuttuvat osittain läpinäkyviksi, kun asesta ladataan ja kun aseella ammutaan, jotta aseensa osien toiminta näkyisi. Animaatiosta tehtäisiin yhteensä kolme eri variaatiota, joissa olisi aseensa nimi ja toimintaperiaate suomeksi, ruotsiksi ja englanniksi.

Animaation toteuttamiseksi museo antoi käytettäväksi valokuvia aseesta ja siitä irrotetuista osista sekä keskeneräiseksi jääneen 3D-mallin, joka oli tuotettu Autodesk Maya-ohjelmalla. Referenssinä annettiin myös vastaava video eri kivääristä, josta oli jo tehty samankaltainen esittelyvideo.

4.1 Referenssimateriaalin käyttö

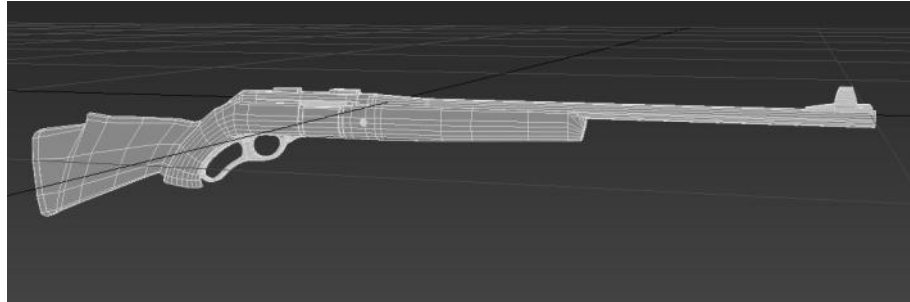
Referenssimateriaaliin, jonka pohjalta 3D-animaatiota lähdettiin toteuttamaan, kuului siis pääasiallisesti valokuvia aseesta, mutta myös käytettävissä oleva 3D-malli sekä esimerkkivideo lopullisen animaation tyylistä. 3D-malli oli harmillisesti vielä todella keskeneräinen, joten sitä ei pystynyt suoraan käyttämään hyväksi.

Ensimmäinen vaihe oli tutkia saadut referenssivalokuvat aseesta. Kuvia oli otettu yli 150 kappaletta, joten joukosta suodatettiin samankaltaiset ja aseensa muotoja huonosti kuvaavat otokset sivuun, jolloin olisi helpompi käydä läpi useammin tarvittuja kuvia. Kuvassa 54 näkyy yksi referenssiksi saaduista valokuvista.



Kuva 54. Sivuprofiili mallinnettavasta kivääristä.

Referenssiksi annettu keskeneräinen 3D-malli käytiin myös läpi. Sitä tutkittiin alustavasti Maya-ohjelmistolla, jonka jälkeen malli käännettiin 3ds Max -ohjelmistolle sopivaan muotoon. Mallin skene oli jaettu osien mukaisesti eri kansioihin ja tiedostoihin. Nämä tiedostot muutettiin tallentamalla ne Mayalla ”Send to 3ds Max” -toiminnon avulla. Tämän jälkeen osia pystyi tarkastelemaan 3ds Maxissa, jossa myös tehtiin lopullinen päätös mille mallin osille olisi käyttöä. Kuvassa 55 on esitetty siirretyt 3D-objektit 3ds Maxissa.



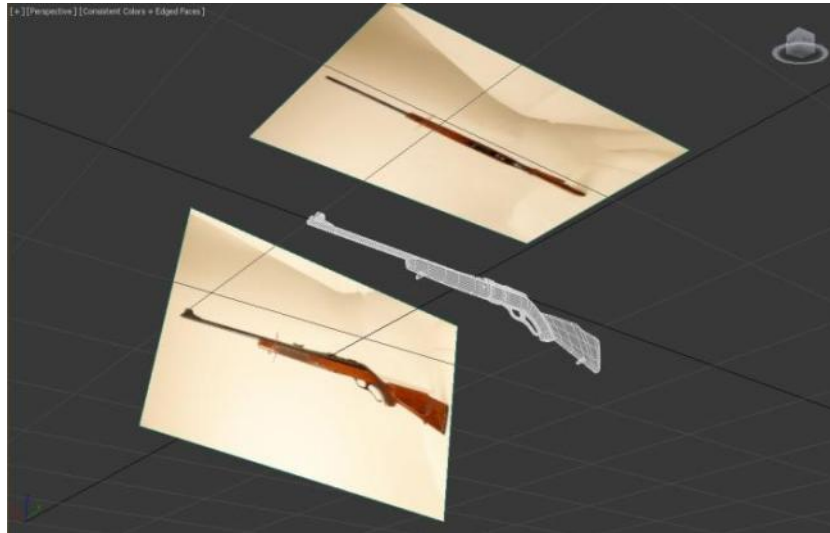
Kuva 55. Siirretyt osat 3ds Maxissa.

Vanhasta mallista pystyttiin hyödyntämään muutamia valmiimpia osia. Hyödynnettyjä osia olivat asean tukki, tähtiäkokonaisuudet, piippu, kahvan sormisuoja, hihnapidikkeet ja hammaspyörä. Näistä jokainen oli vielä viimeistelemättä geometrisesti, mikä tehtiin mallinnusvaiheessa.

Kaiken tämän lisäksi referenssimateriaaliksi haettiin internetistä lisää kuvia tietyistä aseiden sisällä olevista osista sekä tarkentavia videoita yleisesti kiväärien toiminnasta. Aseiden toiminta olisi animaation tärkeintä antia, joten sitä oli syytä selvittää ennen varsinaista työskentelyä aloittamista.

4.2 Mallinnus

Kun oli päädytty jatkotyöstämään saadusta mallista tukki, piippu sekä joitakin pienempiä osia, siirrettiin ne kaikki samaan skeneen. Tähän skeneen luotiin taustalle tasogeometriat eri akseleiden tasalle, joihin heijastettiin aseiden kuvat sivuilta. Heijastetut aseiden kuvat näkyvät kuvassa 56. Tällä tavalla saatiin selkeät lähtökohdat mallin ääriiviivojen sijainneista.



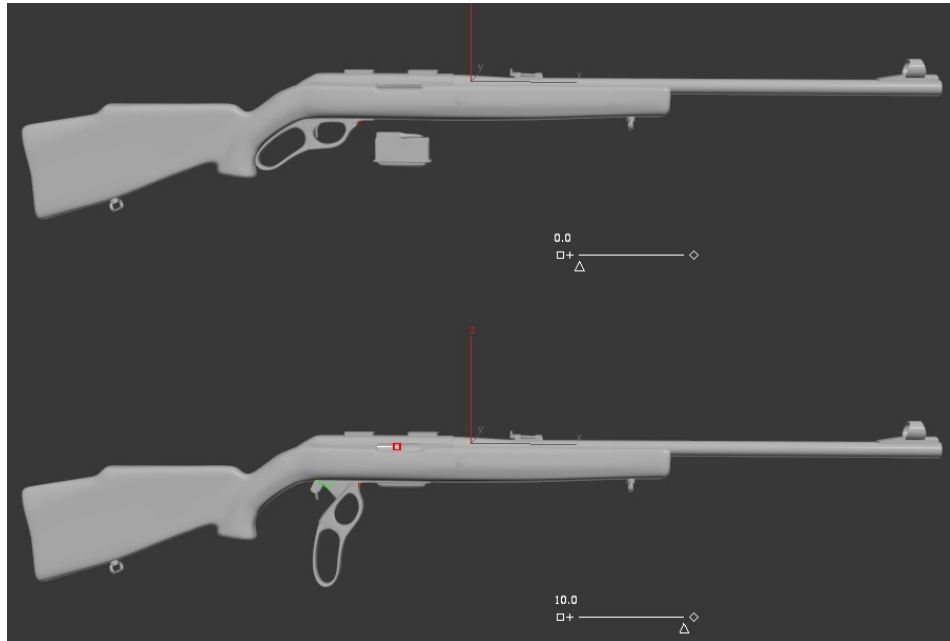
Kuva 56. Tasot, joille on heijastettu aseiden kuvat.

Vanhasta mallista pidetyt osat muotoiltiin uudelleen vastaamaan paremmin aseiden ulkomuotoa. Tämä tapahtui siirtämällä kunkin osan vertex-pisteitä, edgejä tai tasoja sekä lisäämällä niitä tarvittaessa, jotta lopullinen subdivision surface -tekniikalla pyöristetty osa vastaisi referenssikuvia. Subdivision surface -tekniikalla jaetaan 3D-objektin pinta useammaksi polygoniksi, mutta itse geometria pysyy samana. Akseleiden tasalla olevista aseiden kuvista pystyttiin tarkistamaan 3D-objektien mittakaava.

Aseiden osat, jotka mallinnettiin alusta asti tyhjästä, aloitettiin pintamallinnuksen mukaisesti. Ensimmäin luotiin 3ds Maxin standard primitives -valikosta kuutio tai suorakulmainen särmiö, jota monimutkaistamalla muutettiin kappaleen geometriaa halutunlaiseksi. Tässä käytettiin paljon 3ds Maxin Swift loop -toimintoa, jolla kappaleen saa jaettua halutusta kohtaa. Pinnan polygonit jakaantuvat tästä kohtaa geometrian pysyessä samana.

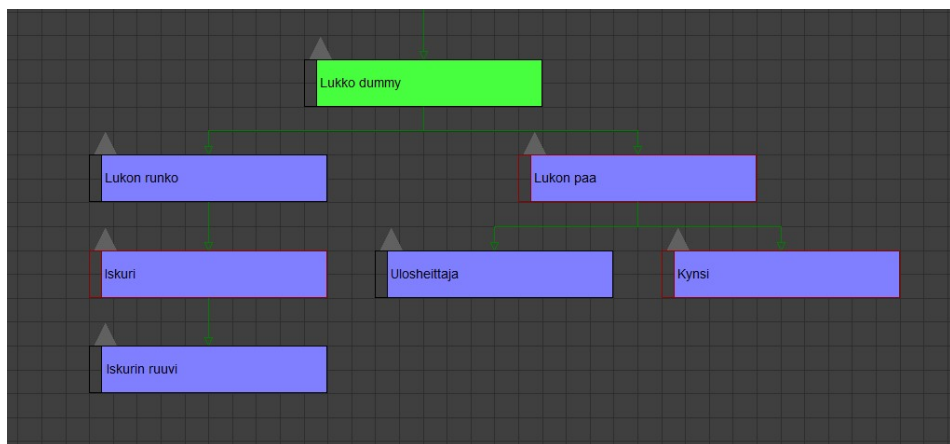
4.3 Riggaus

Riggauksessa, joka tarkoittaa kontrollijärjestelmien määrittämistä 3D-mallin osille, luotiin skenen kappaleille keskinäinen järjestelmä, jonka mukaisesti mallinnetut kappaleet liikkuvat. Järjestelmän avulla saatiin aseeseen latauksen aikana tapahtuvia osien liikkeitä toimimaan synkronoidusti erillisillä kontrolleilla. Esimerkki käytetystä slider-kontrollista on esitetty kuvassa 57. Kontrollien avulla jokaista kappaletta ei tarvinnut animoida erikseen liikuttamalla, mikä olisi ollut todella hankalaa.



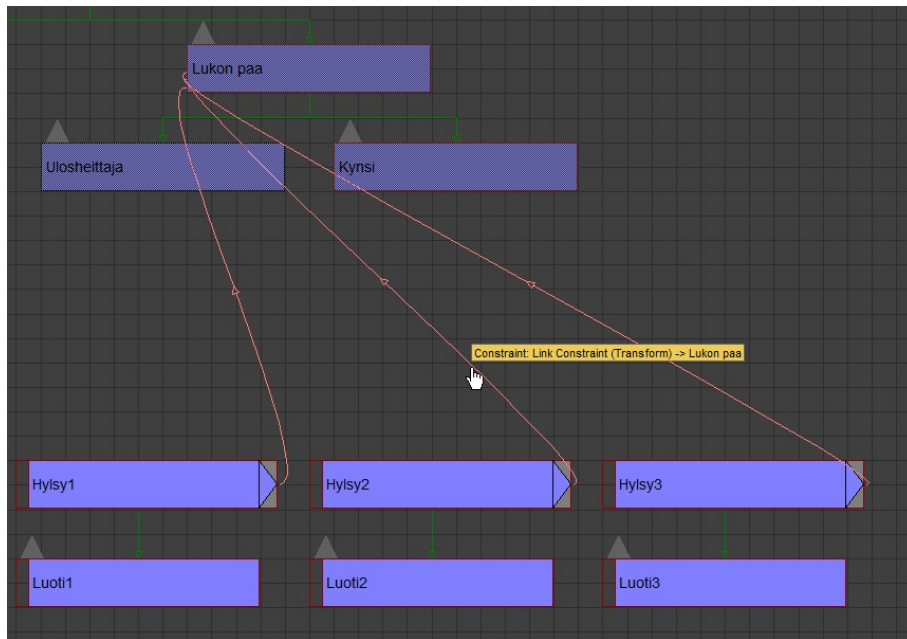
Kuva 57. Slider, jolla saadaan liikuteltua kahvaa.

Riggsausjärjestelmän luominen aloitettiin, kun kappaleiden geometriat olivat mallinnettu lopullisiksi. Ensimmäisenä mallin liikkuville osille luotiin dummy-apuobjektit, jotka linkitettiin kappaleisiin hierarkisena ketjuna, joiden perusteella liikkeet siirtyisivät halutulla tavalla parent-objektilta child-objektille. Kuvassa 58 näkyy apuobjektin alle järjestetystä linkityshierarkiasta.



Kuva 58. Kappaleiden hierarkia.

Riggausjärjestelmässä käytettiin myös objektien constraint-ohjaimia, joilla saadaan ohjattua objektin sijaintia, suuntausta tai skaalausta suhteessa toiseen objektiin. Tätä käytettiin esimerkiksi hylsyjen liikkeissä. Hylsyjen X-akselin sijainti asetettiin olemaan riippuvainen lukon pään X-akselin sijainnista link constraint -ohjaimen avulla, jolloin hylsyn reuna seuraisi lukon pään reunaa tarkasti. Tässä tuli ottaa huomioon, että liikettä tuli tapahtua vain tietyllä latausliikkeellä – kun seuraava patruuna siirtyisi piippuun. Kullekin hylsulle asetettiin tietyt framet, jolloin link constraint -toiminto olisi aktiivinen. Muilla ajanhetkillä liikettä ei tapahtuisi. Kuvassa 59 näkyy hylsyjen linkitys lukon päähän link constraint -ohjaimen avulla.



Kuva 59. Link constraint 3ds Maxin schematic view -näkyvässä.

4.4 Animointi

Kun mallin osat oli rigattu keskenään toimivaksi kokonaisuudeksi, pystyttiin aloittamaan animointi. Animaatiovaiheen aluksi määriteltiin animaatiolle kehysnopeudeksi (fps) 25 framea sekunnissa, koska näin saataisiin framejen määrä pysymään maltillisena ja se on myös yksi yleisimmistä nopeuksista. Animoinnissa tallennettiin osien liikkeet tiettyihin frameihin keyframeina käyttäen riggauksessa luotuja kontrolleja.

4.4.1 Keyframe-animointi

Yksinkertaisimpia liikkeitä, kuten lippaan liike, ei ole rigattu, joten lippaan siirtyminen aseeseen sen alapuolelta avainnettiin animaatiovaiheessa. Tämä tapahtui yksinkertaisesti lisäämällä lippaalle ja patruunoille keyframe ala-asennossa siihen kohtaan, jossa se lähtisi nousemaan ylöspäin. Tämän jälkeen objektien paikkaa muutettiin niin että ne olivat aseessa ja lisättiin toinen keyframe. Samankaltainen toimenpide suoritettiin hylsille, joille animoitiin aseesta ulostulo ampumisen jälkeen latauksen yhteydessä. Hylsille lisättiin myös kiertävää liikettä ilmassa, jotta hylsyjen lennosta saataisiin todenmukainen. Kuvassa 60 näkyy aikajana, jolle on asetettu keyframeja.

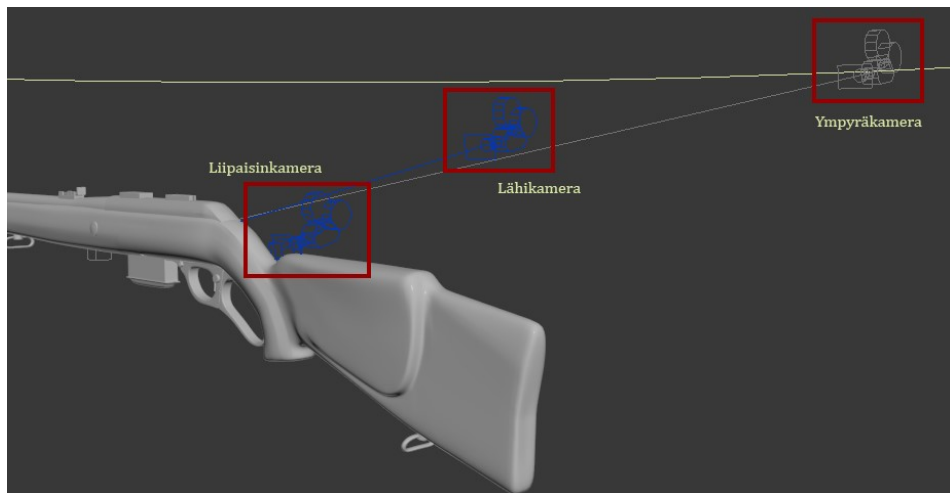


Kuva 60. Aikajana, jolle on asetettu keyframeja.

4.4.2 Kameroiden lisääminen

Animointivaiheessa luotiin myös skeneen kamerat, joilla aseensa toimintaa saataisiin kuvattua halutuista kuvakulmista. Kamerat näkyvät kuvassa 61. Kameroiden liikeradat ja kohteet asetettiin samankaltaisiksi kuin referenssiksi saadussa esimerkkivideossa. Kameroita lisättiin kolme:

- Ympyräkamera, joka kiertää aseensa ympäri, jolla nähtäisiin aseensa yleiskuva.
- Lähikamera, joka liikkuu lähemmäs aseensa koneistoa, jolla nähtäisiin aseensa toiminta läheltä.
- Liipaisinkamera, joka kuvaisi aseensa liipaisimen liikettä.



Kuva 61. Lisätyt kamerat.

Kameroiden liikkeitä ja aseensa toimintaa ajoitettiin niin että tulisi selkeät ajat eri osuuksille. Eri osuuksien aikavälit sekä nimitykset ovat esitelty taulukossa 1. Animaation jakaminen osuuksiin helpotti tulevaa renderöintiä, jossa osuudet renderöitiin vain tarvittavilta osin, ettei ylimääräisiä kuvasarjoja jäisi ja renderöintiajat kasvaisi.

Taulukko 1. Osuudet jaettuna framejen mukaan.

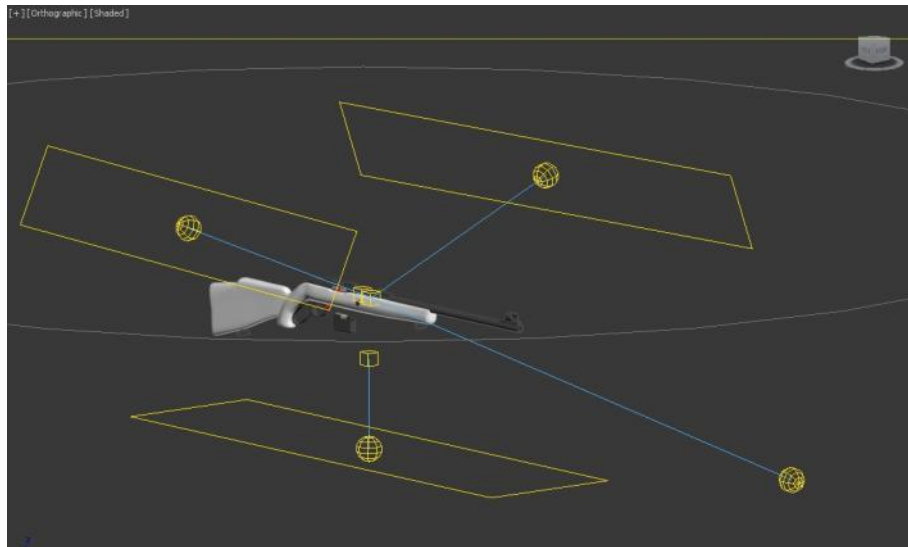
Osuuden numero	Framet	Kamera
1	0-250	Ympyrä
2	250-500	Lähi – Näkyvä osuus
3	450-1200	Lähi – Läpinäkyvä osuus
4	1150-1250	Lähi – Näkyvä osuus
5	660-1200	Liipaisin

Osuudet laskettiin menevän toistensa päälle joistakin kohtia, koska näille kohdin tulitaisiin sijoittamaan siirtymät läpinäkyvän ja näkyvien osuuksien välille.

4.5 Valaistus

Aseen tulisi olla tasaisesti valaistuna joka puolelta, koska kuvakulma vaihteli aseenvierityksen ympärillä ja että saataisiin selkeä ja esittelymäinen lopputulos. Valaistuksen tulisi myös pysyä muuttumattomana animaation ajan.

Valaistuksessa käytettiin kolmea aluevaloa sekä yhtä kohdevaloa. Aluevalot olivat suorakulmaisia noin aseenvierityksen mittaisia, jotka valaisivat asetusta edestä, takaa ja alta. Käytettyjen valojen sijainnit näkyvät kuvassa 62. Aluevalot sijoitettiin aseenvierityksen ympärille luomaan tasainen valaistus koko aseenvierityksen mitalle. Kohdevalo sijoitettiin piipun osoittamaan suuntaan, jotta piipun suunta saataisiin paremmin näkyviin.



Kuva 62. Valojen sijainnit.

Kaksi aluevaloa mallin kummallakin sivustalla vastasivat lopputuloksen päävalaistuksesta. Ne asetettiin heijastamaan raytracing-tekniikan mukaisia varjoja. Alavalon vastasi tasoitusvalo, jolla pehmenettiin mallin alaosan varjoja. Tässä tapauksessa ei käytetty perinteistä kolmipistevalaisutekniikkaa, koska animaation kuvakulma kiertää koko 3D-mallin ja haluttiin saada esittelynomainen tasainen valaistus.

Aluksi lisättiin yksi pistemäinen valo 3ds Maxissa Photometric Lights valikon alta, joka sijoitettiin karkeasti aseenvierityksen sivustalle yläviistoon. Tämän jälkeen valon muodoksi valittiin rectangle ja koko muutettiin vastaamaan aseenvierityksen mitta, jotta saataisiin pehmeästi valaistua alue koko aseenvierityksen mitalta. Valon ominaisuuksista valittiin värilämpötilaksi 6500K, joka vastaa referenssivalikoista. Valon voimakkuus säädettiin kokeilemalla yhdessä etäisyyden kanssa, joista tehtiin testirenderöintejä pienemmällä resoluutiolla ja nopeammilla renderöintiasetuksilla. Kun valon asetukset alkoivat vastata odotuksia, kopioitiin valosta instanssi aseenvierityksen toiselle puolelle samalle kohdalle. Instanssi perii kaikki alkuperäisen valon tai objektin muutokset, joten mahdolliset jatkomuutokset voitiin tehdä vain toiselle valoista, ja kummankin valon parametrit muuttuivat.

Kun ylemmät valot oli saatu säädettyä, lisättiin aseeseen alle tasoitusvalo, jonka muodoksi valittiin myös rectangle. Tämän valon tarkoituksena oli pehmentää alapuolelle syntyviä varjoja ja saada ase erottumaan mustasta taustasta. Alavalon voimakkuus säädettiin noin kymmenesosaksi päävalojen voimakkuudesta, värilämpötilaksi määriteltiin 6500K ja se asetettiin tilaan, jossa se ei loisi varjoja.

Tässä vaiheessa kävi ilmi, että aseeseen piipun pää ja etutähtäin eivät erottuneet mustasta taustasta tarpeeksi, joten lisättiin vielä yksi kohdevalo piipun suuntaan. Tämä asetettiin suhteellisen kauas aseeseen kärjestä ja sen voimakkuus pieneksi, koska tarkoituksena oli vain korostaa piipun päätä.

4.6 Teksturointi

Teksturointi aloitettiin, kun valaistus oli vielä keskeneräinen, ja ne viimeisteltiin yhdessä. Ensin määriteltiin, mitä materiaaleja skenessä olisi tarpeen pääpiirteissään olla. Suunniteltiin mihin osiin keskityttäisiin enemmän ja mihin vähemmän. Tärkeimmät teksturoitavat osat olivat animaatioissa läheltä kuvatut kappaleet: tukki, sen lähellä olevat metallisuojat ja ladattavat patruunat. Lopuille osista ei olisi tarvetta luoda erikseen yksityiskohtaisia pintatekstuureja, koska ne eivät näkyisi yleiskuvasta.

4.6.1 Materiaalien määrittely

Osien materiaalit olivat tukin puumateriaali, metalliosien tumma metalli, hylsyjen ja luotien messinki, sisäosien harmaa metalli sekä tukin pään musta osuus. Jokaiselle materiaalille luotiin oma shader-valintansa 3ds Maxin materiaaleditorissa (slate material editor). Yksittäiselle materiaalille luotiin oma Arch & Design Mental Ray (A&D) -materiaalivalinta, jonka shader-parametreja muokkaamalla saatiin pinnoitus vastaamaan oikeaa materiaalia.

Käydään läpi esimerkkinä metallia vastaavan shaderin luominen. Shaderin luominen aloitettiin lisäämällä materiaaleditorissa Mental Rayn valmis shader-pohja – Arch & Design. Tälle pystyttiin vielä valitsemaan valmiista templateista brushed metal -pohja, joka vaihtaa automaattisesti shaderin parametrit vastaamaan paremmin metallin pintarakennetta. Tämän lisäksi shaderille tulee automaattisesti reflection color map tekstuurikartaksi – tekstuurikartta, joka määrittelee objektista heijastuvien valonsäteiden värin – noise-patternin. Automaattisesti lisätty reflection color map poistettiin ja shaderille asetettiin diffuse color- ja bump-tekstuurikartat. Näillä saatiin lisättyä pintaan väritys ja halutut painaumat. Tekstuurikartat luotiin Adobe Photoshopilla UV-koordinoinnin yhteydessä, josta lisää luvussa Objektien UV-koordinointi. Shaderin parametreista muutettiin lopuksi reflectivityä pienemmäksi ja säädettiin bump map tekstuurikartan voimakkuus sopivaksi.

4.6.2 Bump map -tekstuurikartoitus

Bump mappauksella saa nopeasti lisättyä kappaleelle kuoppia tai rosoisuutta bitmap-kuvan avulla. Tätä tekniikkaa käytettiin hyväksi tukin kädensijojen karhennuksissa ja metalliosien epätasaisuuksien lisäämisessä. Materiaaleille lisättiin bump map -kuva, jonka perusteella ohjelmisto laskee renderöinnissä valon heijastumiset kuin pinta ei olisi tasainen, muutamatta geometriaa.

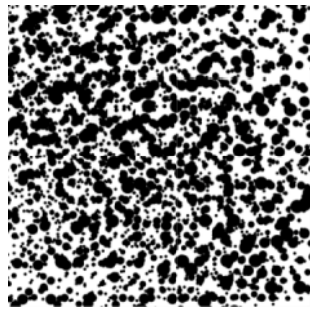
Aseen tukin karhennuksille tehtiin oma bump mapiksi käytettävä bitmap-kuva Adobe Photoshopissa, joka on esitetty kuvassa 63. Jotta karhennuksien sijainnit tulivat oikein tukin pinnalle, täytyi kappaleelle lisätä Unwrap UVW -modifier, josta lisää luvussa Objektien UV-koordinointi. Photoshopissa tehty kuva lisättiin aiemmin luodun

puumateriaalin bump mapiksi ja kokeilemalla määriteltiin sopiva arvo bump mapin voimakkuudeksi.



Kuva 63. Tukin karhennuksien bump map -kuva.

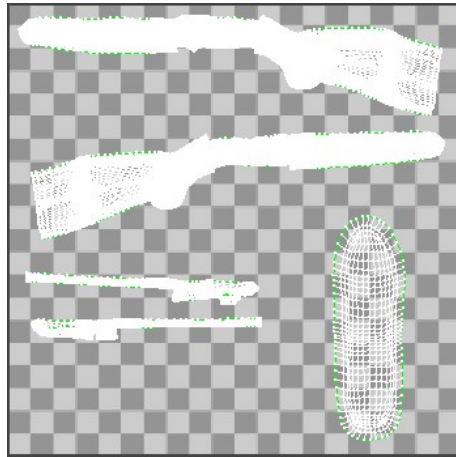
Metalliosissa bump map -tekniikalla saatiin osien pinnalle hieman rosoisuutta ja kulumaa, joiden avulla metalli näyttäisi käytetyltä. Tässä tapauksessa ei haluttu luoda mitään tiettyä kuviota metallin pinnalle vaan epämääräistä rosoisuutta, joten kuvaan on lisätty paljon mustia pisteitä valkoiselle pohjalle, jotka kuvaavat pieniä painaumuksia. Käytetty rosoisuutta kuvaava bump map -kuva on esitetty kuvassa 64. Kun kuva oli tehty, lisättiin se tarvittavien metalliosien shaderien tekstuurikartoiksi. Lopuksi säädettiin bump mapin voimakkuutta sopivaksi.



Kuva 64. Bump map painaumista.

4.6.3 Objektien UV-koordinointi

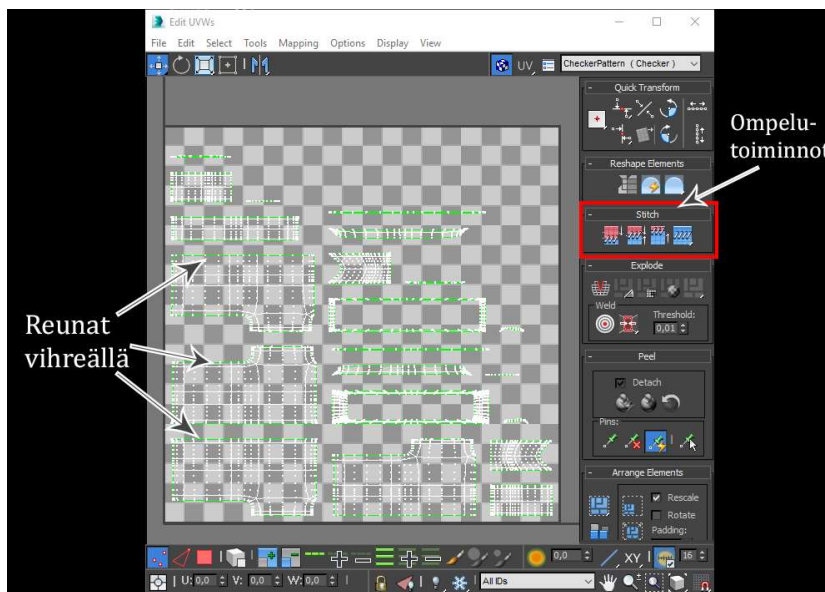
Useimpien objektien pinnat UV-koordinointiin 3ds Maxin Unwrap UVW -modifierin avulla. Tällä tekniikalla asetetaan kappaleen pinnoille halutut tekstuurikartat neliön muotoisesta bitmap-kuvasta. Tässä on hyvä huomioida, että kappaleen geometrian muutokset koordinoinnin jälkeen saattavat vaikuttaa Unwrap UVW:n asetuksiin ja lopputulokseen. Modifierin lisäämisen jälkeen avattiin UV Editor, jossa käsiteltiin objektin UV-koordinaattipintoja eli UV-saarekkeita siten, että kappaleen pinta olisi selkeä kuvata kaksiuotteisesti. Kuvassa 65 näkyvät tukin UV-koordinaatit 3ds Maxin UV Editorissa.



Kuva 65. Tukin UV-saarekkeet UV Editorissa.

Kappaleiden pintojen tasoittamisessa ja UV-koordinoinnissa käytettiin apuna TexTools -scriptiä 3ds Maxiin, jonka avulla UV Editorin toimintoja sai automatisoitua ja koordinoinnista tuli nopeampaa.

UV-koordinointi alkoi valitsemalla kappaleen suurimmat tasot, jotka tasoitettiin TexToolsin Iron-työkalulla UV-saarekkeiksi. UV-saarekkeiden reunat ommeltiin stitch-toiminnolla yhteen sellaisista kohdista, missä halutaan tasainen siirtymä materiaalille. Ompelu-toiminnot sekä UV-saarekkeiden reunat ovat esitettyinä kuvassa 66. Terävissä kulmissa ja kohdissa, joissa materiaali vaihtui, saarekkeet jätettiin irrallisiksi.

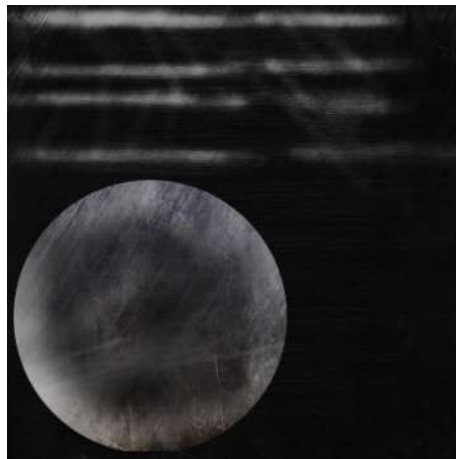


Kuva 66. UV-saarekkeiden reunat ja ompelutoiminnot.

Kun kappaleen kaikki tasot olivat tasoitettu ja ommeltu halutuista kohdin yhteen, UV-saarekkeet sovitettiin UV editoriin skaalaamalla ja suoristamalla niitä. TexToolsin toiminnot Normalize UV shells, Align ja Automatic Pack nopeuttivat sovittamisprosessia. Tässä työvaiheessa varmistettiin, että saarekkeet pysyivät toisiinsa nähden mahdollisimman oikeassa mittakaavassa ja että UV-koodinaattikartan UV-saarekkeet peittäisivät mahdollisimman paljon pinta-alaa annetusta alueesta.

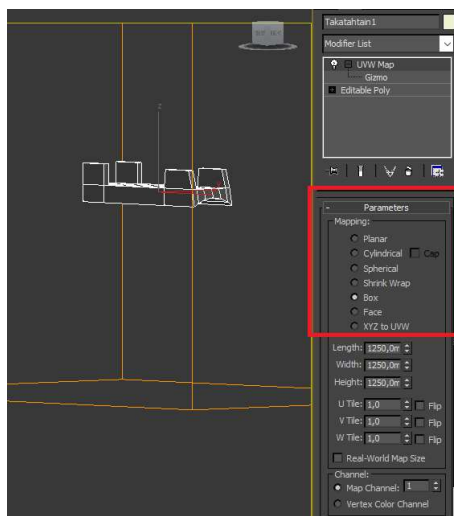
Saarekkeiden sijainti ja suunta asetettiin myös niin että olisi mahdollisimman helppo työskennellä jatkossa UV-koodinaattikartan päälle tehtävän bitmap-kuvan parissa.

Kun yksittäisen kappaleen UV-koordinaattikartta oli saatu kelvolliseen muotoon, se renderöitiin UV editorissa templatena halutussa mittakaavassa. Suurimmalle osalle kappaleista riitti 1024 x 1024 pikseliä, mutta suuremmille kappaleille kokoa kasvatettiin. Kun template vastasi haluttua lopputulosta, se tallennettiin png-muodossa. Tallennetun koordinaattikartan avulla tehtiin Photoshopilla eri tekstuurikarttoihin tarvittavat kuvat. Esimerkiksi color map -kuva jossa pinnat väritettiin halutulla tavalla. Metalliosissa, metalliväriin lisäksi, pinnoille lisättiin kulumia, värimuutoksia ja naarmuja, jotka tekevät pinnasta aidomman ja mielenkiintoisemman. Kuvassa 67 näkyy ruuville käytetty color map, jossa näkyvät myös pinnan värimuutokset ja naarmut.



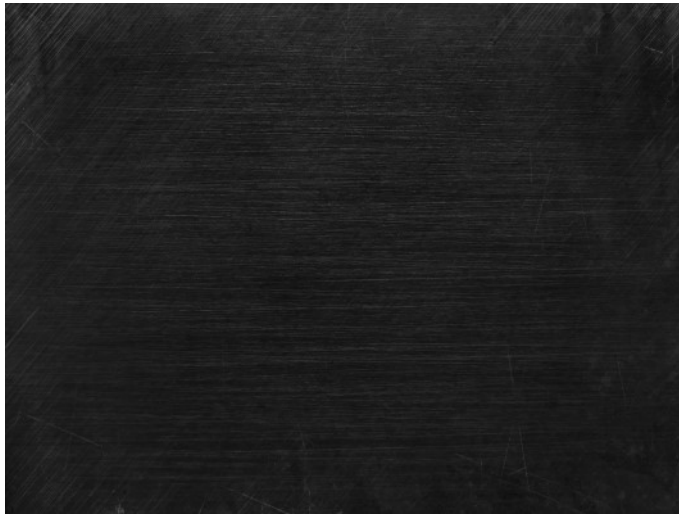
Kuva 67. Ruuvin color map -tekstuurikartta.

Unwrap UVW -modifierin lisäksi yksikertaisissa muodoissa, kuten erilaiset suorakulmaiset särmiöt tai sylinterit, käytettiin UVW Map -modifieria. Kuvassa 68 on esitetty UVW Map -modifierissa käytettävien ennalta määritettyjen muotojen valinnat.



Kuva 68. UVW map -modifier.

Esimerkkinä suorakulmisen särmiön muotoiselle kappaleelle lisättiin ensin UVW Map -modifier. Tämän jälkeen sen asetuksista valittiin kappaleelle Map channel ja muotoa vastaava Box-valinta. Ohjelma lisäsi valmiit arvot laatikon mittoiksi, jotka sovitettiin kappaleen mittoihin Fit-toiminnolla tai tarvittaessa käsin skaalaamalla. Tässä varmistettiin myös, että laatikko oli suunnattu oikean akselin mukaisesti. Tämän jälkeen kappaleen materiaalin Map channelia vastaavat tekstuurikartat tulevat kappaleen pinnoille. UVW Map -modifieria käytettäessä täytyy huomioida, että asetettu kuva skaalautuu laatikon mittojen mukaisesti. Kuvassa 69 näkyy käytetty metallimateriaali, joka asetettiin useammalle kappaleelle color map -tekstuurikartaksi UVW Map -modifierin yhteydessä.



Kuva 69. Color map tekstuurikartta, joka asetettiin useammalle kappaleelle.

4.7 Renderöinti

Renderöinti suoritettiin kahdella eri renderöintimoottorilla: NVIDIA Mental Ray sekä Quicksilver Hardware renderer. Lisäksi Mental Raylla renderöivät osuudet renderöitiin kolmella eri tasolla: beauty, ambient occlusion (AO) ja specular. Animaation osuuksien – jotka oltiin määritelty kameroiden lisäämisen yhteydessä – perusteella määriteltiin ne framet, jotka renderöitiin kullakin tasolla. Kaikki renderöidyt kuvasarjat tultaisiin kompositoimaan yhteen Adobe After Effects -ohjelmistolla, mistä lisää luvussa Kompositointi ja jälkikäsittely.

Tässä vaiheessa päätettiin lopullisesti videoiden resoluutioksi 1920x1080, joka olisi varmasti riittävä esityskäyttöön. Kuvasuhde 16:9 myös vastaa yleisimpien televisioiden kuvasuhdetta. Kaikki tasot ja osuudet renderöitiin tällä resoluutiolla.

Kaikki framet tallennettiin kuvasarjoina png-muodossa, joka sopii tähän tarkoitukseen hyvin, koska se on häviötön tallennusformaatti, joka sisältää läpinäkyvyyden (alpha channel). Osuudet renderöitiin käyttäen 3ds Maxin batch render -ominaisuutta, jolla pystytään määrittämään renderöitäväksi haluttujen kameroiden tietyt framet. Tällä tavalla ei tarvitse manuaalisesti vaihtaa kuvakulmaa, kun edellinen renderöinti valmistuu ja halutaan asettaa seuraava.

Mental Ray -renderöintimoottorilla renderöitäville osuuksille asetettiin näytteenotolle (sampling quality) minimiarvoksi 2 ja maksimiarvoksi 8. Näillä arvoilla lopputuloksen tarkkuus oli hyvä ja yhden framen renderöintiajat pysyivät vielä alle muutaman minuutin.

4.7.1 Beauty-taso

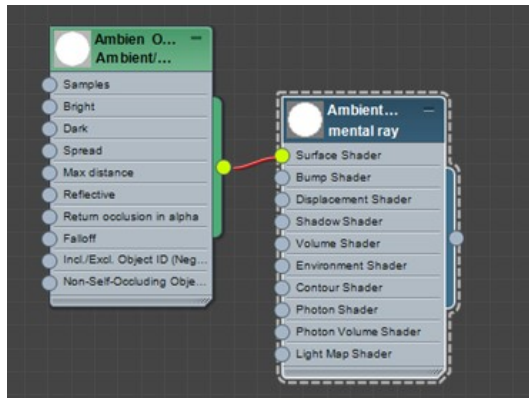
Beauty-taso tarkoittaa, että renderöitiin 3D-malli asetetuilla tekstuureilla ja valoilla. Tällä saatiin jo lähes lopullista animaatiota vastaava kuvasarja varjostuksineen, mutta varjostuksia ja korostumia paranneltiin vielä ambient occlusion- ja specular-tasoilla.

4.7.2 Ambient occlusion -taso

Ambient occlusion -tekniikkaa käytetään korostamaan 3D-kappaleiden yksityiskohtia ja muotoja, jossa renderöidään ympäristövalon mukaiset varjot paremmin näkyviin. Tämä tehdään hemispheric sampling -mallin mukaisesti laskemalla geometrian varjostus lähettämällä sen jokaisesta pisteestä säteitä, joiden perusteella varjon tummuus määrittyy. (Birn, 2014)

Ambient occlusion -taso renderöitiin asettamalla 3ds Maxissa renderöintiasetuksissa Material override -asetuksella skenen kaikille kappaleille sama ambient occlusion -shader, joka on esitetty kuvassa 70. Renderöidyn ambient occlusion -tason kuvat ovat mustavalkoisia, jotka

lisätään kompositoinnissa muiden tasojen päälle. Kuvassa 71 näkyy esimerkki aseesta renderöidystä ambient occlusion -tason kuvasta.



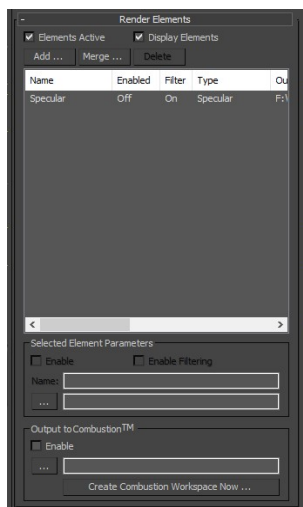
Kuva 70. Ambient occlusion -shader.



Kuva 71. Ambient occlusion -tason kuva renderöitynä.

4.7.3 Specular-taso

Specular-tasolla saadaan kontrolloitua 3D-mallin valonheijastusten korostumia, eli voidaan määrittää kirkkaimpien kohtien näkyvyys. Tämä tehtiin käyttämällä 3ds Maxin Render Elements -toimintoa, jolla saadaan renderöityä valmiiksi luotuja renderöintitasoja erillisiksi tiedostoiksi. Render Elements -valikko näkyy kuvassa 72. Kaikki tasot renderöitäisiin joka tapauksessa, mutta tällä tavalla specular-taso saatiin omaksi kuvasarjaksi, jolloin sitä pystyttiin hallitsemaan paremmin kompositointivaiheessa.

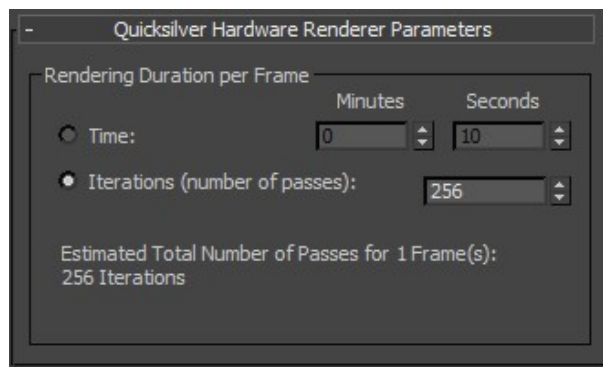


Kuva 72. Render elements -valikko renderöintiasetuksissa.

4.7.4 Läpinäkyvien osuukien renderöinti

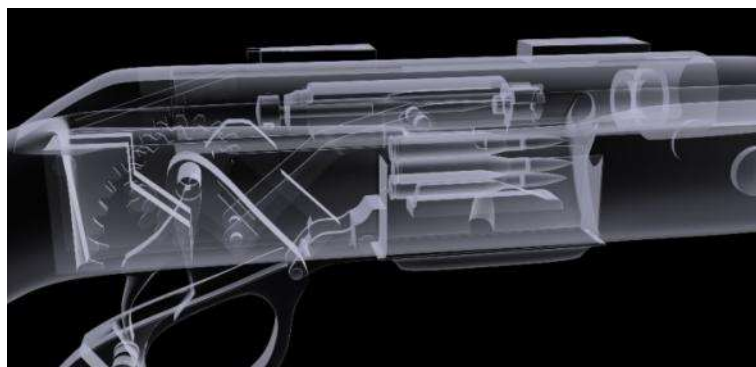
Koska animaation osiot, joissa ase näkyy osittain läpinäkyvänä, eivät vaatineet tekstuureja, varjostuksia tai yksityiskohtia, ne päätettiin renderöidä Quicksilver Hardware -renderöintimoottorilla. Quicksilver Hardware käyttää renderöintiin prosessorin lisäksi myös tietokoneen näytönohjainta, mikä nopeuttaa renderöintiä, mutta se ei tue kaikkia shadereita, materiaaliparametreja tai tekstuurikarttoja. (Autodesk 2015e.) Näytönohjaimella renderöitäessä laskentateho moninkertaistuu, koska suorittimia – tai ytimiä – on moninkertainen määrä prosessoreihin verrattuna. Tämän takia näytönohjaimella renderöitäessä renderöintiajat pienenevät huomattavasti. Suuri osa renderöintimoottoreista ei kuitenkaan vielä tue näytönohjaimella renderöintiä.

Kaikille renderöitäville kappaleille asetettiin uusi Standard-materiaali Blinn-shaderilla, jonka läpinäkyvyys asetettiin 85 prosenttiin. Quicksilver Hardware -renderöintimoottoria käytettäessä renderöintiajalle voi asettaa tietyn pituuden tai tietyn määrän iteraatioita, eli laskentatoistoja, jotka suoritetaan. Renderöintiajan määritykset on esitetty kuvassa 73. Tässä tapauksessa iteraatioiden määrä pidettiin oletusasetuksessa, joka on 256.



Kuva 73. Quicksilver Hardware -renderöintimoottorin renderöintiaika-asetukset.

Renderöinnin tasoksi (rendering level) asetettiin shaded ja varmistettiin, että renderöitäisiin myös kappaleiden läpinäkyvyys Transparency-valintaruudulla. Tällä tavalla saatiin renderöityä 3D-kappaleet varjostettuina, mutta asetetulla läpinäkyvyyden arvolla. Lopullinen Quicksilver Hardware -renderöintimoottorilla renderöity kuva on esitetty kuvassa 74.

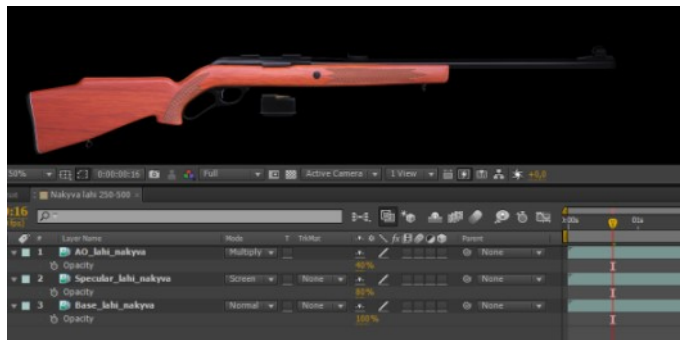


Kuva 74. Quicksilver Hardware -renderöintimoottorilla renderöity kuva aseesta.

4.8 Kompositointi ja jälkikäsitely

Renderöinnistä saatiin ulos ambient occlusion-, specular- ja beauty-kuvasarjat jokaisesta kuvakulmasta, jossa ase oli näkyvissä. Läpinäkyvistä kohdista saatiin pelkästään yksi kuvasarja, jossa oli näkyvissä aseensa kaikki osat osittain läpinäkyvinä. Näiden lisäksi aseensa sisällä liikkuvista kappaleista patruunat, iskuri, lukko, hammasrattaat, vipuvarsi, liipaisin ja useita kiinnitysrivejä oli renderöity näkyväksi kukin erikseen tyhjällä taustalla, jotta ne saataisiin näkyviin aseensa sisälle paremmin.

Jokaisesta osuudesta tehtiin oma kompositio, jossa yhdistettiin mahdolliset tasot yhdeksi videoksi. Beauty-taso sijoitettiin alimmaksi, josta videon perusnäkyvä syntyi. Tämän päälle lisättiin ambient occlusion -taso multiply-moodissa, jolla saatiin animaation varjoihin todenmukaisuutta. Ambient occlusion -tason läpinäkyvyyttä säätämällä saatiin halutunlainen varjo. Päällimmäiseksi tasoksi lisättiin specular-taso screen-moodissa, jolla osien kirkkaimpia kohtia saatiin paremmin näkyviin. Kuvassa 75 on esitetty After Effectsissä luotu kompositio, jossa voidaan säädellä tasojen näkyvyyttä opacity-valinnalla.



Kuva 75. Kompositio After Effects -ohjelmassa.

Läpinäkyvissä kompositioissa lisättiin tint- ja glow-efektit, joilla muutettiin osien väri harmaasta sinisävyisiksi ja luotiin pieni loiste-efekti elävöittämään animaatiota. Näillä toimenpiteillä saatiin läpinäkyvät osuudet vastaamaan paremmin referenssiksi saadun vastaavan videon lopputulosta, ettei tämä uusi video eroaisi vanhasta liian paljon.

Kun kaikki osakompositiot olivat valmiita, ne yhdistettiin kokonaisuudeksi, jossa jokainen sijoitettiin aikajanelle oikeaan kohtaan. Kompositioiden välille luotiin fade-siirtymät, joilla näkyvä osuus muuttuu läpinäkyväksi ja taas näkyväksi sekä liipaisinkamera ilmestyy näkyviin kuvan alaosaan. Kokonaiskompositiossa myös määriteltiin animaation alun ja lopun mustien osuuksien pituudet ja siirtymät animaatioon ja animaatiosta pois. Tässä vaiheessa tehtiin myös värimäärittelyä levels-efektin avulla.

Kokonaiskompositiosta luotiin kolme erillistä lopullista kompositiota, joihin kuhunkin lisättiin aseensa nimi ja toimintatapa eri kielillä. Tekstit lisättiin samalla tyylillä kuin referenssimateriaalin videossa ja niihin lisättiin fade-siirtymät. Lopulliset kompositiot renderöitiin After Effectistä halutuilla parametreilla ja lopullinen animaatio oli valmis.

5 YHTEENVETO

3D-mallin valaiseminen on oma taiteenlajinsa ja vaihtelee jokaisessa projektissa. Tärkeää onkin tietää alusta alkaen minkälaista lopputulosta ollaan hakemassa. Valaistuksella vaikutetaan lopputuloksen yleisilmeeseen, näyttävyyteen sekä todentuntuisuuteen. Jotta 3D-valaistusta oppisi, sitä täytyy tehdä ja kokeilla. Erilaisten valaisuratkaisujen tekeminen opettaa paljon toimivista keinoista sekä antaa toimintamalleja, joita voi hyödyntää jatkossa. Opinnäytetyö opetti minulle valaisun periaatteita sekä hyviä lähestymistapoja – kuten kolmipistevalaisu – 3D-projektien valaisemiseen.

Teksturointi ja materiaalitietous ovat laajoja aihealueita, joiden avulla pystytään parhaimmillaan saavuttamaan fotorealistisia lopputuloksia yhdessä valaistuksen kanssa. Fotorealismi onkin tärkeä tavoite, jonka saavuttamiseksi opinnäytetyö antoi aiempaa paremmat lähtökohdat.

Työn aikana opin paljon perusteita 3D-mallin tekemisestä sekä käyttämään 3ds Maxia monipuolisemmin. Koko projektin tavoitteena oli saada asiakkaalle valmis animaatio vaaditulla laatutasolla. Asiakas oli tyytyväinen ja lopullinen animaatio sijoitettiin Suomen Metsästysmuseon näyttelyyn, eli tavoitteet siis siltä osalta täyttyivät. Kuvassa 76 näkyy animaatio näyttelyn televisiossa.



Kuva 76. Animaatio Suomen Metsästysmuseon näyttelyssä.

Toinen tavoite oli saada kokemusta 3D-animaation parissa työskentelystä, valaisun teoriasta sekä teksturoinnista. Projektista sain tärkeää kokemusta 3D-animaation koko työskentelyprosessin vaiheista. Sain viedä koko projektin alusta loppuun itse, eikä työskentely rajoittunut vain yhteen tai kahteen työvaiheeseen. Tästä sain selkeämmän kuvan kokonaisen 3D-projektin tekemisestä. Kuvassa 77 on vielä esitetty lopullinen 3D-malli aseiden valokuvan kanssa allekkain.



Kuva 77. Valokuva aseesta yhdessä 3D-mallin kanssa.

LÄHTEET

Akram, A. 2002. Lighting. Amaan Akram Portfolio. Viitattu 30.5.2016.
<http://www.amaanakram.com/lightingT/part1.htm>

Autodesk 3ds Max Help 2015a. Cutout Map. Viitattu 7.11.2016.
<http://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2015/ENU/?guid=GUID-911073ED-9A73-482A-A274-6DED542F6DA3>

Autodesk 3ds Max Help 2015b. Maps and Shaders. Viitattu 16.11.2016.
<http://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2015/ENU/?guid=GUID-0F4CC48B-8245-46C8-995D-43403C583EA3>

Autodesk 3ds Max Help 2015c. Normal Bump Mapping. Viitattu 8.11.2016.
<http://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2015/ENU/?guid=GUID-EF61EE43-1CC0-4511-B2B3-4DA423C6B824>

Autodesk 3ds Max Help 2015d. Project Workflow. Viitattu 13.11.2016.
<http://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2015/ENU/?guid=GUID-7748D60F-7D15-4168-A818-A0AE70A98007>

Autodesk 3ds Max Help 2015e. Quicksilver Hardware Renderer. Viitattu 27.11.2016.
<http://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2015/ENU/?guid=GUID-1EC7526C-A684-4D34-B351-C1B1123615C9>

Autodesk 3ds Max Help 2015f. Types of Materials. Viitattu 15.11.2016.
<http://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2015/ENU/?guid=GUID-7A8039CF-1707-4E8C-B5AD-7C08AA472AEF>

Autodesk 3ds Max Help 2015g. UVW Coordinates. Viitattu 1.11.2016.
<http://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2015/ENU/?guid=GUID-8712A53B-CAFB-4EAF-B00E-E95B65C8FB71>

Autodesk 3ds Max Help 2015h. UVW Map Modifier. Viitattu 1.11.2016.
<http://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2015/ENU/?guid=GUID-78327298-4741-470C-848D-4C3618B18FCA>

Birn, J. 2000. Digital Lighting & Rendering. San Francisco: New Riders Press.

Birn, J. 2014. Digital Lighting & Rendering, Third Edition. San Francisco: New Riders Press.

Blender. 2016. Blender 3D: Noob to Pro/UV Map Basics. Viitattu 7.11.2016.
https://en.wikibooks.org/wiki/Blender_3D:_Noob_to_Pro/UV_Map_Basics

Brooker, D. 2008. Essential CG Lighting Techniques with 3ds Max Third edition. Oxford: Elsevier Ltd.

Burton, L. 2011. Simulating Real-world Film Lighting Techniques in 3D. Intel Developer Zone. Viitattu 30.5.2016.

<http://software.intel.com/en-us/articles/simulating-real-world-film-lighting-techniques-in-3d>

Hajioannou, Y. 2013. Gamedev Glossary: What Is a “Normal Map”. Viitattu 24.11.2016.

<https://gamedev.tutsplus.com/articles/gamedev-glossary-what-is-a-normal-map--gamedev-3893>

Kangas, A. 2002. Tekstuurien käytön historia. Viitattu 2.11.2016.

http://www.tml.tkk.fi/Opinnot/Tik-111.500/2002/paperit/antti_kangas.pdf

Masters, M. 2013. Start Mastering Important 3D Texturing Terminology. Viitattu 5.11.2016

<http://blog.digitaltutors.com/cover-bases-common-3d-texturing-terminology/>

Polycount. 2016. Normal Map Technical Details. Polycount wiki. Viitattu 24.11.2016.

http://wiki.polycount.com/wiki/Normal_Map_Technical_Details#RGB_C_hannels

Price, A. 2015. Why You Should be Striving for Photorealism. Blender Guru. Viitattu 23.11.2016.

<http://www.blenderguru.com/articles/photorealism-important/>

Russell, E. 2014a. Eliminate Texture Confusion: Bump, Normal and Displacement Maps. Viitattu 10.11.2016.

<http://blog.digitaltutors.com/bump-normal-and-displacement-maps/>

Russell, E. 2014b. Understanding the Difference between Texture Maps. Viitattu 7.11.2016.

<http://blog.digitaltutors.com/understanding-difference-texture-maps/>

Saint-Jean, E. 2012. Film stuff explained: Key-To-Fill Ratio. Gorilla Film Online. Viitattu 31.5.2016.

<http://gorillafilmonline.com/features/film-stuff-explained/key-to-fill-ratio/>

Yot, R. 2008. LIGHT - a detailed tutorial. itchy-animation.com. Viitattu 30.05.2016.

<http://www.itchy-animation.co.uk/light.htm>

Zaal, G. 2015. 5 Tips for Better Materials. Blender Guru. Viitattu 23.11.2016.

<http://www.blenderguru.com/articles/making-better-materials/>

KUVIA ANIMAATIOSTA

