

Antti Heiskanen

## Tietokonegrafiikan illuusio

Illusion of CGI

Tekijä Otsikko	Antti Heiskanen Tietokonegrafiikan illuusio
Sivumäärä Aika	48 sivua + 2 liitettä 5.5.2011
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	tietojärjestelmätekniikka
Ohjaaja	yliopettaja Vuori Jarkko
<p>Kohtaamme tietokoneella tehtyä grafiikkaa joka päivä arkielämässämme ilman, että välttämättä edes huomaamme sitä. Mainoksissa, elokuvissa ja kaikenlaisissa muissa videoissa on paljon efektejä, jotka on kaikki tehty tietokoneella. Tietokonegrafiikka voi vastata niin suurelta osin todellisuutta, että tämän tapaisella grafiikalla voidaan luoda illuusio siitä, että se todella kuuluisi todellisuuteen. Insinööriyöni tavoitteena on selvittää mitä tarvitaan siihen, jos halutaan ylläpitää tätä illuusiota realismista näissä tietokonegrafiikoissa.</p> <p>On monia mekanismeista, joilla voi parantaa tietokonegrafiikoiden ulkonäköä ja tehdä niistä enemmän reaali maailmaa vastaavia. Matte painting -tekniikka on muun muassa yksi niistä. Ajateltaessa tarkkaa reaali maailman mallintamista, täytyy myös ottaa huomioon monia 3D-malleihin vaikuttavia tekijöitä. Näitä ovat esimerkiksi tarpeeksi suuri polygonimäärä, tekstuurien laatu sekä oikea objektien valaiseminen. Tulen käsittelemään insinööriyöni teoriaosuudessa kaikki nämä eri osa-alueet, mitkä vaikuttavat realistisen tietokonegrafiikan tekemiseen.</p> <p>Teoriaan liittyviä asioita tutkin tarkemmin konkreettisella esimerkkivideolla, jota tehdessäni selvitän miten realistista tietokonegrafiikkaa todella oikeasti tehdään. Tässä demovideosani on kolme erilaista esimerkkiä tekniikoista, joiden avulla pystytään liittämään omia tietokoneella luotuja objekteja muokkaamattomiin raakamateriaalivideoihin.</p> <p>Demovideota tehdessäni huomasin, että fotorealista 3D-grafiikkaa pystytään aikaansaamaan vasta erittäin pitkän ja hankalan valmistusprosessin jälkeen, eikä lopputulos välttämättä sittenkään ole täydellinen. Tämantapaisen tietokonegrafiikan tekeminen on myös todella kallista, ja siksi niiden tekeminen varmasti keskittyykin suurille tuotantoyhtiöille, koska ainoastaan heillä on tarvittavat resurssit tehdä realistista tietokonegrafiikkaa.</p>	
Avainsanat	3D-grafiikka, fotorealismi, elokuva, video, jälkikäsitteily, cgi

Author Title	Antti Heiskanen Illusion of CGI
Number of Pages Date	48 pages + 2 appendices 5 May 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information Technology
Specialisation option	Information Systems
Instructor	Jarkko Vuori, Principal Lecturer
<p>Computer-generated graphics are viewed by people daily. Commercials, movies and all kind of other videos contain a great deal of special effects done by computers. This thesis was aimed at finding out what is really needed to maintain the illusion of photorealism in computer graphics. Without taking care of certain aspects objects implemented in a scene, it is easy to spot what is real and what is not. Nowadays, however, flawless photorealistic CGI can be done, but it requires ample knowledge of many natural phenomena.</p> <p>There are many mechanisms that can make computer graphics look more photorealistic. Matte painting is one of these techniques. When thinking of accurate modeling of the real world, a variety of elements that affect the 3D graphics have to be considered. These are, for example polygon count, texture quality and correct lighting of the objects. The theoretical part of the thesis deals with all of these different areas affecting the creation of photorealistic computer graphics.</p> <p>Theory was put into practice with a concrete video example attached to the thesis on a CD. In this demo video there are samples of three different techniques that can be pursued to add one's own objects to the raw unaltered video.</p> <p>The process of creating the sample video revealed that fully finished 3D graphics is not easily achieved. Apart from skills, it also requires an enormous amount of time and money. This is why all the photorealistic graphics are usually made by some large production companies as they are the only ones who have the necessary resources to make realistic computer graphics.</p>	
Keywords	3D-graphics, photorealism, movie, video, postproduction, cgi

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Mekanismit illuusion saavuttamiseksi	1
2.1	Huomiopiste	1
2.2	Häkellyttäminen	2
2.3	Matte painting -tekniikka	3
2.4	Liikkeentallennus	8
2.5	Liikesumentuminen ja kuvanopeus	9
2.6	Asioihin tarkentaminen	11
2.7	Väriavainnus ja oikeiden asioiden lisäys	12
2.8	Satunnaistaminen ja yksityiskohdat	13
3	3D-grafiikan realistisuuden vaikuttavat asiat	15
3.1	Tarpeeksi suuri polygonimäärä	15
3.2	Näkyvyys	16
3.3	Tekstuurit ja niiden tarkkuus	17
3.4	Videon resoluutio	19
3.5	Valot, varjot ja heijastukset	19
3.6	Oikea perspektiivi	23
3.7	Äänet	27
3.8	Animointi	29
3.9	Fysiikan huomioiminen	29
4	Teoriasta käytäntöön	30
4.1	Visualisointi ja suunnitelmat	30
4.2	Raakamateriaalin kuvaaminen	30
4.3	Mallintaminen hyödyntäen useaa eri ohjelmaa	31
4.3.1	Kuvankäsittelyohjelmat tuotannon apuvälineinä	36
4.3.2	Adobe After Effects	37
4.4	Oman grafiikan liittäminen kuvattuun materiaaliin	38
4.5	Renderöintiäika	39
5	Tietokonegrafiikan illuusion nykyiset käyttökohteet	40

5.1	Mainokset	40
5.2	Elokuvat	41
5.2.1	Tähtien sota: Episodi II – Kloonien hyökkäys	41
5.2.2	Avatar	41
5.3	Virtuaalimaailmat	44
5.3.1	Lisätty todellisuus	44
5.3.2	Simulaattorit	44
6	Yhteenveto	45
	Lähteet	47
	Liitteet	
	Liite 1. Tuotantokäsikirjoitus	
	Liite 2. Liitteenä olevan CD:n sisältö	

## 1 Johdanto

Ihminen uskoo yleensä sen minkä näkee. Tämä käytäntö toimii vielä nykypäivänä elokuvia tehdessäkin. Vaikka elokuvissa olisi mitä uskomattomimpia erikoisefektejä ja toimintaa, aika monet ihmiset luulevat niitä sijaisnäyttelijöiden tekemiksi. Näin ei kuitenkaan usein enää ole, vaan katsojan silmää hämätään tietokoneilla tehdyillä kolmiulotteisilla grafiikoilla. Joskus nämä grafiikat voivat olla niin loistavasti tehtyjä ja vastata aivan täydellisesti reaali maailman objekteja, ettei harjaantuneinkaan silmä voi erottaa sitä mikä on tietokoneella luotua ja mikä ei. Tulen perehtymään tässä insinööriytössäni käytännönläheisesti niihin sovelluspohjaisiin tekniikoihin, joilla pystytään aikaansaamaan realistisen näköistä materiaalia sekä esittelen myös teoriaan pohjautuvia käytännön konsteja siitä, millä tavalla katsojaa voidaan huijata valmistuneissa 3D-tuotoksissa.

Insinööriyöni mukana olevalta CD:ltä löytyy tekemäni demovideo, joka toimii käytännön testinä sille, miten realistista 3D-grafiikkaa on mahdollista toteuttaa. Demovideosta voi nähdä kolme erilaista tapaa käyttää tietokonemalleja ja muuta grafiikkaa todellisen videon lisänä. Varsin vähäisillä taidoilla ja pienellä vaivalla saadaan jo aikaan kohtalaisesti realismia vastaavaa materiaalia. Ainakin mikäli verrataan työmäärää, joka käytetään suurien menestyselokuvien digitaalisten efektien tekemiseen, sillä elokuvien tekeminen kestää usein vuosia.

## 2 Mekanismit illuusion saavuttamiseksi

### 2.1 Huomiopiste

Huomiopiste on se kohta videossa, mihin katsojan mielenkiinto on kiinnittynyt. Varsin usein kuvatessa elokuvaa voi tulla tilanne, jolloin ei jostakin syystä pystytä kuvaamaan kohtausta juuri siinä paikassa, missä tapahtumat todella pitäisivät tapahtua. Syy voi olla oikean kuvauspaikan liian kaukainen sijainti ja kuvausjärjestelyjen kalleus tai yksinkertaisesti haluttomuus mennä tekemään jokin kohta jossakin muualla kuin studiossa, koska sen voi aivan yhtä hyvin kuvata vaivattomasti studion sisällä. Tällöin huomiopiste pitää usein viedä pois epäaidosta ympäristöstä ja järjestää kohta paikka si-

ten, että se näyttää oikealta tapahtumapaikalta. Lavastukseen voi tällöin lisätä vaikka tienviittoja ja muuta rekvisiittaa, joka liittyy oikeaan kohtauspaikkaan, jossa elokuvan toiminta mukamas tapahtuu.

Digitaalisia efektejä voidaan myös käyttää apuna ja niitä hyödynnetään nykyään paljon. Lisätessä tietokoneella tuotettua grafiikkaa täytyy aina pohtia, haluaako tehdyn työn olevan hienovaraista vai erittäin silmiinpistävää. Haluttaessa korostaa kuvauspaikan sijaintia voidaan taustalle lisätä vaikka jonkin tunnetun kaupungin suuri maamerkki tai nähtävyys, jolloin katsojan huomiopiste siirretään tähän ja hänet huijataan uskomaan kuvauksen tapahtuneen siinä samaisessa kaupungissa, missä tämä maamerkki sijaitsee. Esimerkiksi Eiffel-tornin siintäessä horisontissa ei voi olla uskomatta, että nyt oltaisiin Ranskan Pariisissa.

Toinen vaihtoehto on, että tietokoneella tehtyihin efekteihin yritetään kiinnittää mahdollisimman vähän huomiota. Huomion siirtyessä johonkin muuhun, kuten tärkeisiin henkilöihin ja asioihin sekä heidän toimintaansa kohtauksessa, katsoja ei havaitse takalalla olevia tietokoneella lisättyjä elementtejä. Laadullisesti tämäntapaisten tietokoneefektien ei välttämättä tarvitse olla aivan niitä parhaimpia ja realistisimpia, sillä katsoja ei kiinnitä niihin niin paljoa huomiota. Tärkeää on kuitenkin aina muistaa, mihin katsojan huomiopiste kulloinkin on videossa kiinnittynyt, jotta haluttuja osia videomateriaalissa saadaan korostettua [1].

## 2.2 Häkellyttäminen

Katsojan voi häkellyttää tekemällä omasta videomateriaalista niin fotorealistista ja kaudista, ettei kukaan pysty keskittymään miettimään, onko se totta vai ei, mitä näkee. Täysin sataprosenttisesti tietokonegrafiikalla tehdyistä videoista voi tehdä tällaisia, ja niistä hyvänä esimerkkinä on Alex Romanin tekemä Grupo Cosentinon Silestone brändin keittiötyötason mainosvideo nimeltä Above Everything Else. Videossa jokainen pieni yksityiskohta on otettu huomioon, ja kaikki asiat ovat tyylikkäästi tasapainossa. Luodun maailman elementit ovat niin käsinkosketeltavia ja konkreettisia, että katsoja lumoutuu videon vietäväksi hedelmien tanssahdellessa kuin nuotit Beethovenin sinfoniassa (kuva 1). Koska mainos ei ole kovin pitkä, katsojan alussa kokema vau!-tekijä ei ehdi loppua ennen kuin mainos loppuu. [2.]



Kuva 1. Kuvakaappaus Alex Romanin Above Everything Else mainoksesta. [2.]

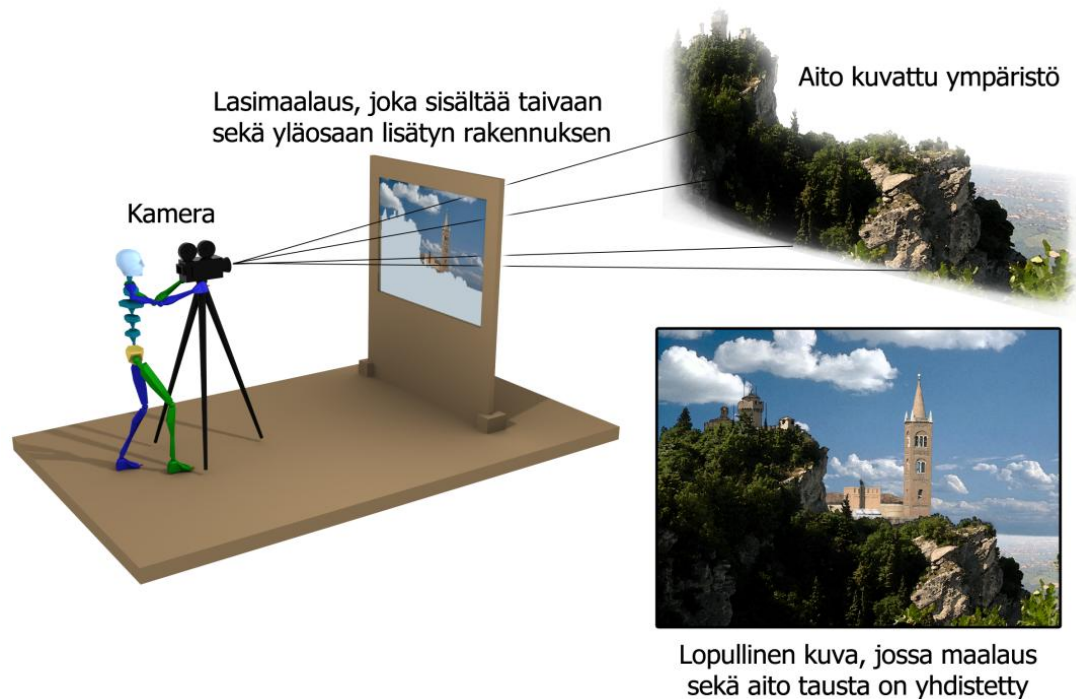
Tietokoneella luotujen kolmiulotteisten objektien epätodellista ympäristöä kutsutaan 3D-maailmaksi. Tämä kolmiulotteinen tila perustuu karteesiseen kolmiulotteiseen koordinaatistoon, ja siinä oleviin X- (vaaka), Y- (pysty) ja Z- (syvyys) akseleihin. 2D-maailmassa syvyyden Z-akselia taas ei ole. Täydellisen 3D-maailman luominen on erittäin pitkälinen prosessi, eikä nykytekniikalla sitä vielä pystytä täysin saavuttamaan. Reaalimaailmassa on niin paljon informaatiota, ettei sitä kaikkea luultavasti koskaan saada keinotekoisesti mallinnettua. Alex Romanin erään toisen projektin, joka sisältää vain noin kymmenen minuuttia videota, sanotaan huhujen mukaan kestäneen lähes seitsemän vuotta toteuttaa. Vaikka tässä tapauksessa puhutaankin vain yhden henkilön tekemästä projektista, saadaan kuitenkin hyvä käsitys siitä, ettei ajallisesti ole aina mahdollista toteuttaa täydellistä 3D-maailman illuusiota.

### 2.3 Matte painting -tekniikka

Matte painting eli taustan maalaus on eräs vanhimmista tavoista muokata nauhoitettua videota ja luoda harhakuva sellaisista maisemista tai ympäristöistä elokuvan taustaksi, joita todellisuudessa ei välttämättä voi olla laisinkaan olemassa. Ensimmäiset elokuvat, joissa käytettiin matte painting -tekniikkaa hyväksi, ovat lähes yhtä vanhoja kuin elokuvateollisuus, joten tämä taidemuoto on ollut lähes sata vuotta olemassa. [3; 4, s. 1–9.]

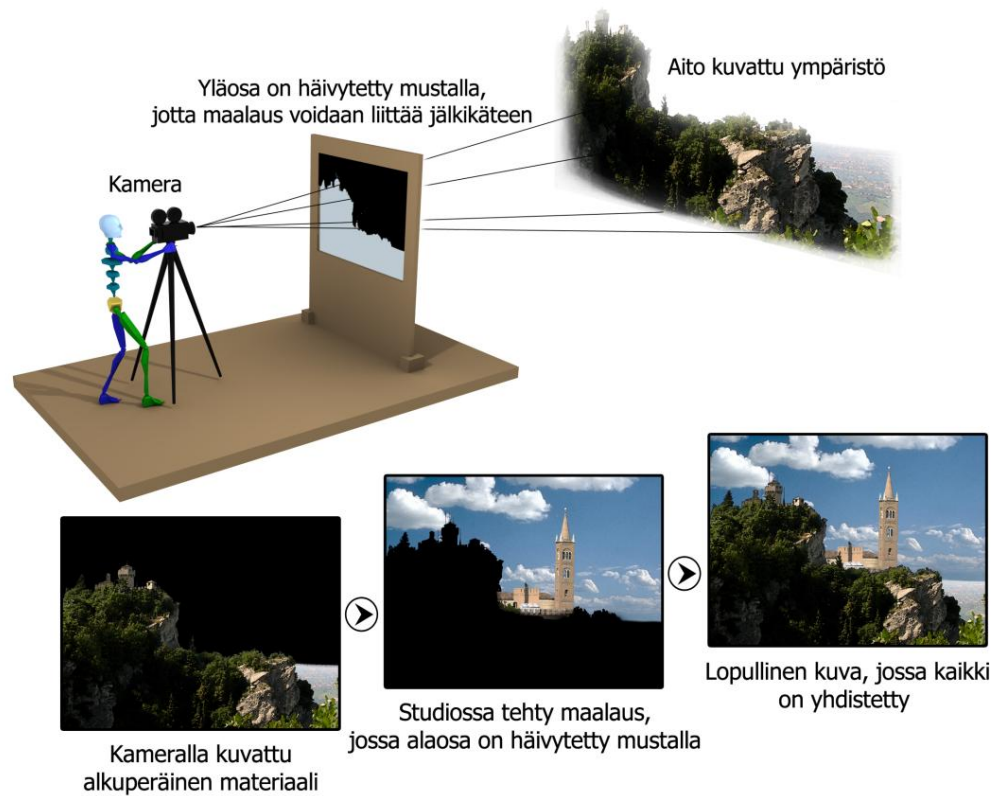


Matte painting on saanut nimensä siitä, millä tavalla tekniikkaa alun perin hyödynnettiin, sillä elokuvien taustat olivat siihen aikaan varsinaisia suurille lasilevyille maalattuja teoksia. Nämä taustat yhdistettiin elokuvaan kuvaamalla haluttu kohta lasiin tehdyn maalauksen läpi kuvan 2 mukaisesti. Tätä varhaisinta matte painting -tekniikkaa kutsuttiinkin ”lasiotokseksi” (glass shot). Sana matte taas juontaa juurensa englanninkielisistä sanoista matted out, joilla tarkoitetaan jonkin alueen himmentämistä tai sotkemista ja sen korvaamista jollakin muulla kuvalla. Lasiotoksien huono puoli oli, että elokuvaa kuvattaessa koko kuvausryhmä ja ohjaaja olivat täysin luonnon elementtien armoilla. Mikäli säätila esimerkiksi muuttuisi, tehty tausta ei enää toimisi muun kuvamateriaalin kanssa. Taiteilijoiden odotettiin tekevän maalaustyönsä todella nopeasti, jotta kuvaus saatettiin aloittaa. [3; 4, s. 1–9.]



Kuva 2. Varhaisimman lasimaalaustekniikan kuvausjärjestelyt.

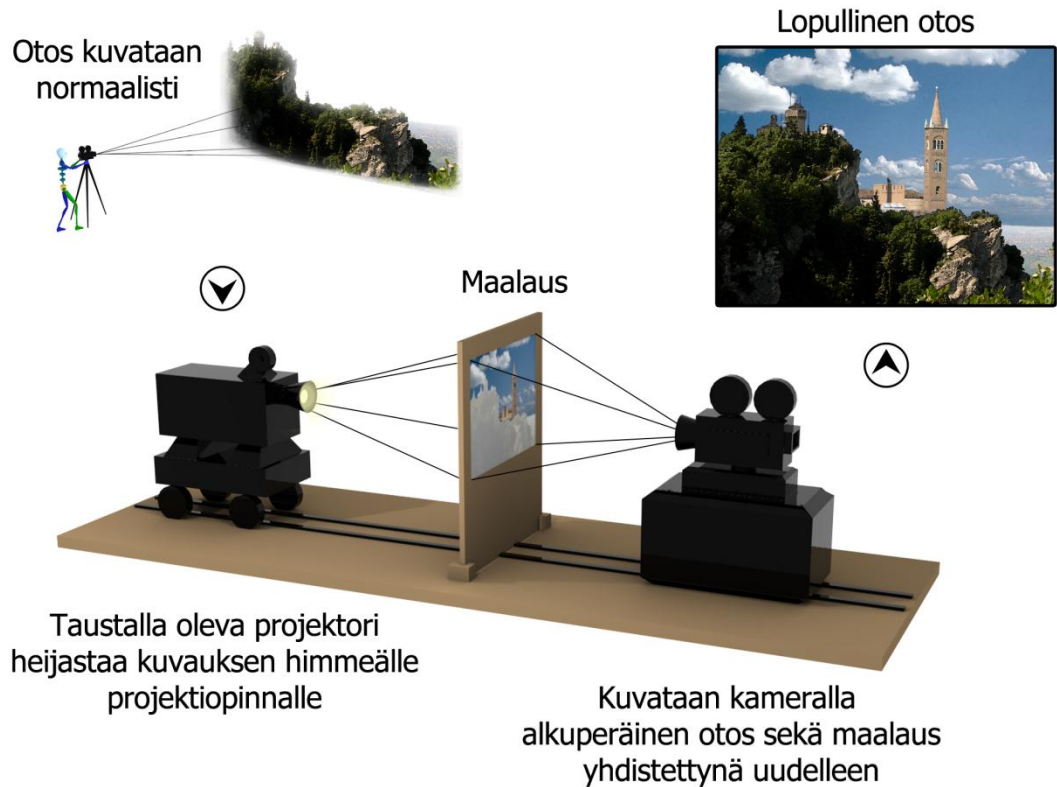
Toinen tekniikka, jolla taustanmaalausta saatettiin tehdä, vaati mustan maskin leikkaamista ja liittämistä kuvaan peittämällä se osa kuvasta johon maalattu tausta haluttiin asettaa. Tämä mahdollisti kuvauksen ennen maalauksien tekemistä, koska taustamaalaukset voitiin tehdä ja yhdistää kuvaan vasta jälkikäteen studiossa kuvaamalla otokset uudemman kerran tämän liitetyn maalauksen kanssa. Menetelmää kutsuttiin originaali-negatiivielokuvataustoiksi (original-negative matte). [4, s. 1–9.]



Kuva 3. Originaali-negatiiviteknikka

Analogisten tekniikoiden kehittyessä löydettiin vihdoinkin myös kolmas tapa, jolla onnistuttiin kuvaamaan elokuva aluksi täysin perinteisesti ilman minkään videon osan himmennystä tai poissulkemista. Elokuva kehitettiin kuvauksen jälkeen studiossa normaalisti. Taustamaalaus liitettiin tähän filmiin heijastamalla kuvattu elokuva projektorilla maitolasityyppiselle materiaalille ja kuvaamalla täsmälleen tämän lasin vastapuolelta otokset toiseen kertaan. Varsinainen maalaustyö tehtiin tälle projektorin ja kameran väliselle pinnalle (rear-projection matte) kuvan 4 mukaisesti. Tämä merkitsi sitä, ettei tarvittu välittää peitteeksi tulevasta maalauksesta ollenkaan live-materiaalin kuvausvaiheessa. [4, s. 1–9.]

Vanhoissa elokuvissa matte paintingia käytettiin paljon yleisemmin kuin nykyään, koska suurin osa etualalla olevista elementeistä kohtauksen lavastuksissa voitiin myös liittää tehtyyn maalaukseen. Tällöin lavasteita ei juuri tarvittu ja elokuvabudjetit pysyivät minimaalisina. [3.]



Kuva 4. Taustaprojektio-tekniikan kuvausprosessi.

Nykyään on tietenkin siirrytty käyttämään digitaalisia taustanmuokkaustekniikoita ja vanhat kuvaustekniikat ovat poistuneet käytöstä, mutta entinen nimitys sekä tekniikan peruseriaate ovat yhä edelleen aivan samoja, vaikka on siirrytty digitaaliseen ympäristöön. Taustanmaalausta voi tehdä digitaalisesti muun muassa käyttämällä oikeita valokuvia referenssikuvina ja käsittelemällä niitä haluamukseen tai sitten voi käyttää laajamittaisia 3D-malleja ja ympäristöjä. 2D- ja 3D-taideteoksia voidaan myös yhdistellä täysin vapaasti. Laajamittaisia kolmiulotteisia ympäristöjä käytettäessä tämän keinotekoismaailman kameraa pystytään helposti liikuttelemaan taustan mukautuessa kameran muutoksiin. Ennen digitaalisiin muokkaustekniikoihin siirtymistä kameran liikuttaminen ei nimittäin onnistunut oikeastaan juuri laisinkaan käytettäessä matte paintingia, pieniä kameran zoomaus, kierto ja kallistusniksejä lukuun ottamatta, sillä kameran kuvauskulmaa muutettaessa alkuperäinen maalattu teos ei enää sopinut muuhun kuvattuun ympäristöön.

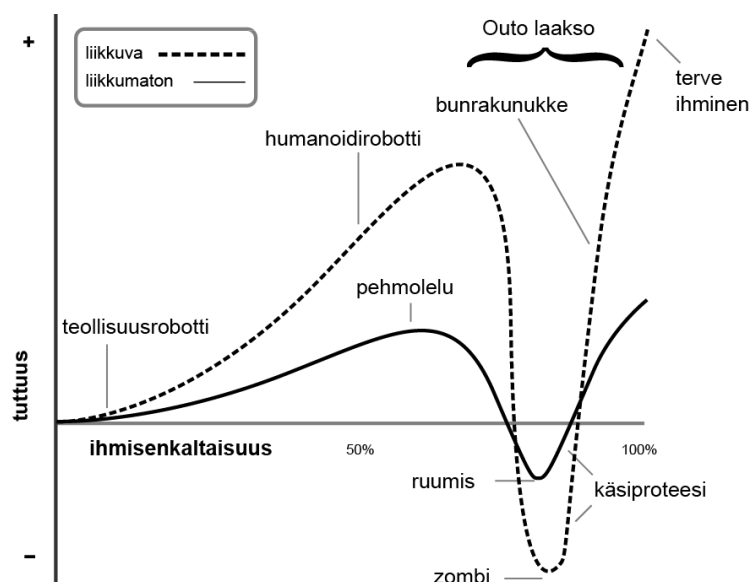
Aina täytyy muistaa, että on taustanmaalaus tehty käyttäen lasille tehtyä maalausta tai edistyneimpiä tietokoneohjelmistoja, lähtee otos, jossa käytetään taustanmaalausta, aina liikkeelle taiteilijan kyvystä luoda reaalimaailman illuusio. Parhaimmillaan tällä tekniikalla luotu elementti pystytään yhdistämään saumattomasti videossa olevaan toimintaan, eikä katsoja pysty erottamaan, että joitakin videon osia on edes mitenkään modifioitu. Kuvasta 5 ei pysty esimerkiksi juuri mitenkään löytämään luodun taustan ja alkuperäisen kuvan rajaa.



Kuva 5. Matte paintingin käyttöä Taru sormusten herrasta: Kaksi tornia elokuvasta. [5.]

## 2.4 Liikkeentallennus

Ihmisen liikkeitä on hankala animoida sulavasti tietokoneella ilman kunnollista referenssiä vastaavasta liikkeestä. Liikkeentallennus eli motion capture- tai lyhemmin mocap -tekniikka on kehitelty auttamaan juuri tätä ongelmaa. Jos näyttelijöiden liikkeet ja eleet saadaan tallennettua mahdollisimman tarkasti ja tietokoneanimaatio saadaan vastaamaan liikettä, muuttuu video paljon uskottavammaksi katsojalle. Kuten Masahiro Morin vuonna 1970 esittämä oudon laakson (engl. uncanny valley) hypoteesi ihmisen mallintamisesta toteaa, ihmisen suhtautuminen tietokoneella luotuun henkilöön ei ole niin yksiselitteinen asia, vaan ihminen alkaa suhtautua erittäin myönteisesti ja empaattisesti tietokoneella luotuun henkilöön vasta siinä vaiheessa, kun tämä ihmismalli vastaa niin täydellisesti todellista ihmistä kuin mahdollista. Mikäli aikaansaadaan vain ”melkein-ihmisen-kaltainen” -tietokoneanimaatio, tähän suhtaudutaan jopa kielteisemmin ja enemmän oudoksuen kuin vielä vähemmän ihmistä muistuttavaan malliin. Tätä sanotaan oudon laakson alueeksi (kuva 6). Ilmiötä käytetään hyväksi muun muassa kauhuelokuviissa, koska niissä esiintyvät zombiet ovat juuri pelottavia niiden ollessa lähes ihmisenkaltaisia. [6.]



Kuva 6. Oudon laakson käsite. [7.]

Liikkeidentunnistustekniikoita on monia erilaisia, ja niitä kehitetään koko ajan tarkemmiksi ja paremmiksi, mutta elokuvantuotantoalalla yleisesti käytetyimpiä ovat optiset kamerajärjestelmät, jotka perustuvat näyttelijään piirrettäviin tai kiinnitettäviin merkki-



pisteisiin. Näyttelijän roolityötä voidaan kuvata eri suunnilta jopa 24 eri kameralla samaan aikaan, jolloin kameralla kuvatut merkkipisteiden liikkeet voidaan siirtää suoraan 3D-mallinnettuun ympäristöön ja näin saadaan luotu epäaito ihmismalli liikkumaan juuri kuten reaali maailman vastakappale. Nykyisin liikkeiden tunnistustekniikat ovat niin kehittyneitä, että niillä saadaan kaapattua jopa ihmiskasvojen ilmeiden ja eri tunnetilojen muutokset. Elokuvan katsoja saadaan yhä enemmän samaistumaan roolihahmoihin, kun hahmojen ulkomuoto vastaa täysin näyttelijän suoritusta.



Kuva 7. Ihmisen ilmeiden tallennusta liikkeentallennustekniikalla Avatar-elokuvassa. [8.]

## 2.5 Liikesumentuminen ja kuvanopeus

Todella nopeasti liikkuvat kohteet näyttävät ihmissilmässä sumeilta, ja niiden liike näyttää jättävän jälkeensä siveltimen vedon kaltaisia viivoja ja leviämiä. Tätä kutsutaan liikesumentumiseksi (motion blur). Ihmisen näkökyky on rajoittunut havainnoimaan kappaleiden liikkeet vain tiettyyn pisteeseen asti, ja mikäli kohde liikkuu vielä nopeammin, aivot eivät pysty saamaan silmältä kunnollista kuvaa kohteesta ja tällöin lii-

kesumentumista alkaa esiintyä. Kuvattaessa kameralla liikesumentuminen aikaansaadaan ilman mitään toimenpiteitä, koska kameran linssi toimii tässä tapauksessa aivan samaan tapaan kuin ihmissilmäkin. [9, s. 415; 10.]

Tietokoneella luoduissa grafiikoissa taas ei ole sumentumista tai epäterävyyttä lainkaan, mikäli sitä ei keinotekoisesti niihin simuloida (kuva 8). Tämä johtuu siitä, että 3D-animaation jokainen kuva esittää tavallaan otosta täydellisen pysähtyneestä ajasta. Analoginen vastaavuus tälle olisi kamera, jossa on käytössä äärettömän nopea suljin. Koska tietokoneella tehty liikkuva grafiikka on ”liian tarkkaa”, täytyy tietokoneanimaatioon renderöintivaiheessa luoda jäljitelmä siitä, kuinka paljon milläkin kappaleella pitäisi esiintyä liikesumentumista verrattuna kappaleen liikkumisnopeuteen sinä hetkenä. Ihmissilmälle liike näyttää sulavalta ja tasaiselta, jos animaatiossa on jäljitelty liikesumentumista. Koko ajan terävänä toistuva animaatio taas näyttää pätkivältä ja epäluonnolliselta. [10; 11.]



Kuva 8. Liikesumentumisen simulointi kättään heiluttavan animaatiohahmon tapauksessa.

Liikesumentumiseen ja videon realistisuuteen vaikuttaa myös se, kuinka suuri on sekunnissa videolle toistuva kuvanopeus (framerate). Televisio- ja elokuvatuotannossa yleisiksi standardeiksi ovat tulleet kuvataajuudet 24, 25 ja 30. Tosin nykyisin on olemassa muita variaatioita näistä taajuuksista. Televisiot, projektorit ja kaikki näyttöpäätteet toimivat toistaen kuvia tietyllä nopeudella sekunnissa eli käytännössä vilkuttaen

pysähtyneitä kuvia nopeasti silmiemme edessä. Mikäli kuvataajuus on tarpeeksi suuri, ihmisen aivot ymmärtävät tämän videon yhtäjaksoisena liikkeenä eikä kuvien välkeh-dintää pysty huomaamaan. Elokuvasa jo noin 18 kuvan toistaminen sekunnissa riittää yleensä aiheuttamaan illuusion sulavasta liikkeestä, jos kuvassa on mukana myös liik-keen sumeneminen. [10; 12.]

Se mikä luo ihmissilmälle mahdollisimman realistisen näkymän ajatellessa liikesumen-tumista ja käytettyä kuvanopeutta, on kuitenkin varsin hankala kysymys, koska ihmisen silmien ja aivojen välinen yhteys ei vaan toimi samalla tavalla kuin näyttöpäätteiden välkkyvät kuvat. Ihminen näkee maailman ympärillään prosessoiden jatkuvasti eri va-loinformaatiota eikä pätkittäin kuten videoista saatu materiaali. Eräät tutkimukset todis-tavat, että hävittäjälentäjät ovat pystyneet havainnoimaan jopa kuvan, jota on esitetty heille vain 1/220 sekunnin ajan, joten ihmissilmille parasta mahdollista kuvataajuutta on lähes mahdotonta sanoa. Sen voi kuitenkin todeta, että mitä enemmän kuvia vide-ossa toistaa sekunnissa, sitä luonnollisemmalla se luultavimmin tulee näyttämään. [10.]

## 2.6 Asioihin tarkentaminen

Normaalisti katsellessaan maailmaa ihminen yleensä tarkentaa katseensa johonkin tiet-tyyn kohteeseen ja muut asiat näkökentässä tuntuvat toisarvoisilta ja näyttävät hieman epäselviltä. Toisarvoisten elementtien sumentamista ja tärkeään asiaan tarkentamista voi jäljitellä helposti digitaalisilla syväterävyyden efekteillä. Käytettäessä 3D-grafiikan tuotoksissa esimerkiksi satunnaistettua säteenjäljitystä renderöintimekanismina, on tämänkaltainen syväterävyyden hallinta mahdollista, koska renderöintialgoritmi tuottaa kuvan laskemalla, kuinka kohtauksessa olevien valonlähteiden tuottamat valonsäteet vaikuttavat kuhunkin videokuvassa olevaan pikseliin. Näin saadaan myös toteutettua erittäin realistisen näköistä grafiikkaa, koska luonnossa valonlähteiden käsittely toimii lähes samalla tavalla. [9, s. 414.]





Kuva 9. Syväterävyydellä saadaan mielenkiinto siirtymään haluttuun kohteeseen siten, ettei taustan virheitä enää välttämättä huomioida.

Tarkentamisen ja syväterävyyden vaikutuksen voi ottaa huomioon jo raaka-materiaalia kameralla kuvatessa, jolloin kuvaajan on vain kontrolloitava kameran linssin aukkoa ja polttoväliä aikaansaadakseen haluttu syväterävyys (kuva 9). Pääasiana käytettäessä syväterävyyttä fotorealistisen tietokonegrafiikan illuusion saavuttamiseksi on kuitenkin se, että taustan sumennetuista objekteista voi tehdä niin epäteräviä, ettei katsoja osaa sanoa, ovatko ne aitoja vai eivät. Syväterävyyden hallinnointia voidaan käyttää siis hyvin samaan tapaan kuin huomiopisteen siirtämistä tiettyyn kohteeseen videossa.

## 2.7 Väriavainus ja oikeiden asioiden lisäys

Usein tietokoneella luodut asiat ovat vain lisukkeina elokuvantuotannossa, erikoisefekteinä tai vastaavina. Elokuvia voidaan silti tehdä lähes täysin digitaalisesti käyttäen hyödyksi esimerkiksi niin sanottua väriavainustekniikkaa (chroma key). Tällöin kohtaukset kuvataan näyttelijöiden esiintyessä yleisemmin sinisen tai vihreän kankaan edessä. Tietokoneohjelmistolla voidaan jälkikäteen sitten poistaa tämä tasavärinen tausta, jolloin näyttelijöiden roolityö voidaan liittää johonkin täysin muuhun ympäristöön. [13.]

Sininen ja vihreä ovat taustaväreistä parhaimpia, koska ne ovat ihonväristä etäisimpiä sävyjä. Jotta taustaseinä toimisi, sen väri ei saa heijastua näyttelijöiden iholle tai vaatteisiin, ja tässä tehtävässä sininen väri toimii parhaiten. Vihreä taas on helpoin valaista siten, ettei haitallisia varjoja esiinny kankaalla kuvamateriaalissa. Väriavainnustaustan valaiseminen on monimutkainen prosessi, mutta toisin kun luullaan, etualalla olevat kohteet voidaan valaista kuinka dramaattisesti ikinä halutaan, kunhan muistetaan, että yritetään olla pilaamatta yksivärisen chroma key -taustan tasaista valaistusta. [13.]

Kannattaa pohtia tarkkaan, kannattaako omassa videossaan alkaa käyttää kuvausta pelkän vihreän tai sinisen taustan edessä, sillä realismin kannalta tämä on aina huonompi vaihtoehto kuin kuvaus oikeissa lavasteissa. Yleensä voidaan sanoa, että mitä enemmän elokuvassa käytetään väriavainnusta, sitä hankalampaa on liittää näyttelijöiden roolisuoritukset realistisen näköisesti videoon. Elokuvista voi helposti tulla kuten sääennustukset, joissa meteorologi on täysin irrallisena henkilönä muusta sääkarttavideoista, mikäli luotua 3D-grafiikkaa ei osata liittää tarpeeksi luontevaksi osaksi elokuvaa. On siis hyvä käyttää pelkän sinisen taustan tekniikan sijasta lisäksi oikeita esineitä ja asioita videossa, koska muuten tietokoneella tuotetulta grafiikalta voi hukkua reaali maailmaan pohjustettu perusta kokonaan.

Chroma key -menetelmää voidaan myös käyttää rajoittamaan pelkästään jotakin videomateriaalin osaa. Jo aiemmin matte paintingin yhteydessä esiintyneessä kuvassa 5 on lisäksi käytetty chroma keytä sinisellä taustalla, jotta luotu tausta ja sen raja saataisiin helpommin sulautettua muuten digitaalisen muokkauksen kannalta ongelmia tuottavan pörröisen tukan taakse. Tosin tarkemmin lopullista tuotosta katsoessa voi silti vielä huomata, että tukan väri on hieman liian sinertävä eikä sulautus ole täten täysin onnistunut.

## 2.8 Satunnaistaminen ja yksityiskohdat

Mitkään kaksi samaa asiaa eivät koskaan ole täysin samanlaisia todellisessa maailmassa. Eivät edes identtiset kaksoset tai tehtaalta juuri valmistuneet kaksi samanmerkkistä autoa ole aivan yhteneväisiä. Toisella kaksosista voi esimerkiksi olla luomi oikeassa

poskessa ja toisella ei. Yleensä erot aiheutuvat ulkoisista ympäristötekijöistä, kuten ihmisen kasvuympäristöstä tai esineiden ja asioiden kulumisesta.

Kun tietokoneella tehdään asioita, kopioiminen ja saman asian toistaminen on tavallista ja helpottaa huomattavasti työskentelyä. Se aiheuttaa kuitenkin samalla yhden suurimmista ongelmista, jos yritetään luoda tietokoneella mahdollisimman realistisen näköistä materiaalia. Jos 3D-elementtejä ja niiden materiaaleja kopioi, täytyy jokaiseen yksilölliseen kappaleeseen kiinnittää huomiota, etteivät kaikki luodut samankaltaiset asiat näyttäisi täysin identtisiltä. Kopioitaessa 3D-kappaleita voi satunnaistaa kappaleiden muotoja muuttamalla jokaisen luodun kappaleen muotoa hieman erilaiseksi alkuperäisestä kopiosta ja luomalla siihen hieman lisää yksityiskohtia.

Mallinnuksessa käytettävien tekstuurien ja materiaalien samankaltaisuudet pystyy välttämään määrittämällä kappaleeseen useammalle tasolle tekstuureita. Ei pidä käyttää siis pelkästään materiaalin värikartta (color map) -teksturointitasoa, joka kertoo kappaleen pelkän väri-informaation lopullisessa tuotoksessa, vaan tulee käyttää apuna myös muita teksturointikarttoja. Näitä ovat muun muassa kuhmutus-, poikkeutettu, kiilto-, heijastus- ja alfakartat (bump, displacement, specular, reflection, alpha map). [9, s. 206–222; 9, s.250–258.]



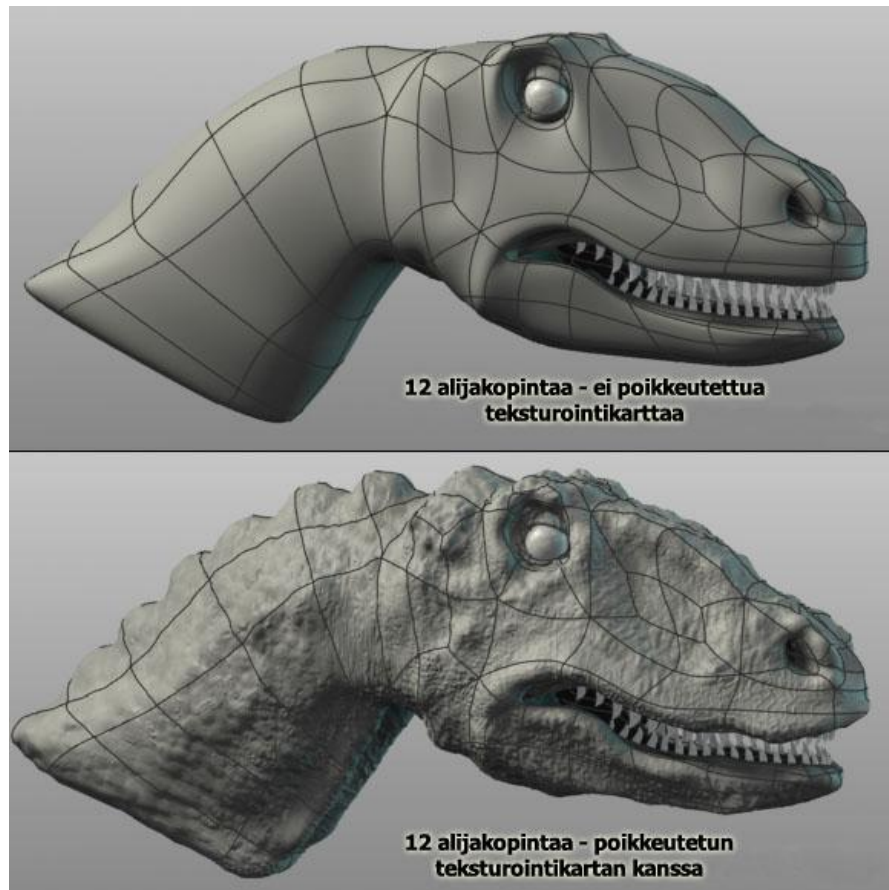
Kuva 10. Esimerkki materiaalien satunnaistamisesta sekä pinnan yksityiskohdista.

Erilaisilla materiaalikartoilla aikaansaadaan pohjalla samankaltaisena toistuvaan materiaaliin eri variaatioita luomalla sen pinnalle karkeutta ja naarmuja, voidaan sanoa, mistä kohdin objektin pinta heijastaa valoa ja miten valo heijastuu sekä onko objektin pinta läpinäkyvä. Aika usein 3D-grafiikat saattavat myös näyttää liian puhtailta ja täten epärealistisilta, sillä oikeassa maailmassa mikään pinta ei koskaan ole täysin puhdas. Pöly ja muu lika tulee siis teksturoida. Materiaalissa olevan likakerroksen voi helposti asettaa myös yhdelle teksturointikerrokselle, kun käytetään useampaa päällekkäistä tekstuuria.

### **3 3D-grafiikan realistisuuden vaikuttavat asiat**

#### **3.1 Tarpeeksi suuri polygonimäärä**

Tietokoneella tehtävät objektit muodostuvat lukuisista toisiinsa yhdistyneistä janoista. Janojen muodostamia suljettuja monikulmionmuotoisia alueita kutsutaan polygoneiksi. Jos 3D-malleissa ei ole tarpeeksi polygoneja, mikään ei näytä todelliselta, koska polygonimäärän vähyyden aiheuttaa luotujen objektien pintojen muuttumisen kulmikkaiksi ja epätodellisen näköisiksi [9, s. 75]. Polygonimäärän taas kasvaessa miljooniin voidaan toteuttaa täysin fotorealista materiaalia, mutta massiivinen polygonimäärä aiheuttaa monissa 3D-sovelluksissa usein ongelmia. Toiset sovellukset eivät yksinkertaisesti pysty käsittelemään niin suurta informaatiomäärää kerralla. Täytyy myös muistaa, mitä varten aineisto tehdään, sillä reaaliaikaiset 3D-sovellukset vaativat yleensä mahdollisimman vähän polygoneja toimiakseen. Tehtyjä objekteja animoitaessa tarvitaan usein eri versioita samasta hahmosta tai objektista, sillä varsinainen hahmon animointi tehdään yleensä vähemmän polygoneja ja alijakopintoja (subdivisions) sisältävään versioon.



Kuva 11. Poikkeutettu teksturointikartta luo 3D-mallin pintaan helposti lisää tarkkuutta. [9, s. 75.]

Tietokoneohjelmistojen ja -laitteistojen rajoittuneisuuden takia realistisessa 3D-tuotannossa tarvittava valtava polygonimäärä korvataan tavallisesti luomalla vähemmän polygoneja sisältävä malli, jonka päälle asetetaan poikkeutettu tai vastaava teksturointikartta (tekstuuri, kts. s.17) siinä vaiheessa, kun 3D-maailmasta halutaan tuottaa kaksiulotteiselle ruudulle kuva eli renderöidä oma 3D-malli. Tällä teksturointikartalla voidaan luoda käsiteltävänä olevaan malliin illuusio suuremmasta polygonimäärästä ilman todellista polygonimäärän lisäystä, koska tekstuuri pureutuu mallin pienempipolygoniseen versioon luoden lisää yksityiskohtia kohokuvan tapaan (kuva 11).

### 3.2 Näkyvyys

Näkyvyys on asia, joka usein saattaa unohtua keinotekoisista 3D-maailmaa kuvattaessa. Kun katsotaan tätä maailmaa jostakin pisteestä 3D-ohjelmiston kameralla tai yleisnäkyvällä, voidaan yleensä nähdä monia objekteja siten, että niiden takana on muita

esineitä. Oikeassa maailmassa etualalla olevien läpinäkymättömien objektien takana olevien esineiden ei tule tietenkään näkyä, mutta tietokoneohjelmisto ei ole oletuksena niin älykäs, että se ymmärtäisi tämän asian. Koska luodun tietokonegrafiikan halutaan pysyvän mahdollisimman realistisen näköisenä, tulee tämä näkyvyyden käsite panna merkille ja ohjelmistoissa sitä tulee yrittää simuloida. Toinen hyvä puoli huomioitaessa näkyvyys on, että tietokoneen kaikki resurssit ja laskentateho saadaan hyödynnettyä, koska niitä objekteja, joita katsojalle ei näy, ei tarvitse käsitellä. Näkymää voidaan myös rajata tietyillä näkyvyydestarkastelun tekniikoilla.

Objektit, jotka jäävät kokonaan toisten objektien taakse, jätetään valitsematta, ja täten niitä ei tarvitse käsitellä renderöintivaiheessa. Tätä tekniikkaa kutsutaan näkyvyyskar-sinnaksi eli occlusion culling. Toinen vaihtoehto on leikata kaikki objektit, jotka ovat kokonaisuudessaan näkökentän ulkopuolella pois kuvasta, jolloin renderöintiä saadaan nopeutettua. Tämä on frustumikarsinnaksi (frustum culling) kutsuttu tekniikka, joka perustuu enemmän katsojan näkökentän kulmaan ja näköetäisyyteen. [9, s. 259–292.]

Näkyvyyteen liittyvät tekniikat on mahdollista jakaa objektitason ja pikselitason tekniikoihin. Tällöin otetaan huomioon joko mitkä geometriset kohteet näkyvät katsojalle tai kuinka kaukana jokin pikseli on katsojasta. Pikselitason tekniikka perustuu yksittäisten pikseleiden syvyytietoihin, ja käytännössä tämä on käytössä jo laitteistotasolla näytönohjaimen suorittimella ajettavana Z-puskuritietona. Digitaalisesti ajateltuna voidaan sanoa, että mitä kauempana jokin objekti on, sitä huonompilaatuinen se voi olla, koska sillä ei ole enää niin paljoa pikseli-informaatiota. Objektien polygonimäärät voidaan liittää suoraan näkyvyyden pikselitason syvyystekniikkaan, sillä katsojalle kaukana olevista objekteista voidaan käyttää vähemmän alijakopintoja sisältäviä polygonimalleja. [9, s. 259–292.]

### 3.3 Tekstuurit ja niiden tarkkuus

Tekstuurit eli 3D-mallin pintaan asetettavat pintakuviot luovat mallinnetuista elottomista kappaleista elävän näköisiä (kuva 12). 3D-mallinnuksen ollessa siinä vaiheessa, että siihen pitää lisätä tekstuurit, luotu kappale on yleensä täysin väritön ja sen pinnat ovat liian sileitä näyttääkseen luonnolliselta. Realistisuutta ajatellen kappaleiden pinnoissa tapahtuu aina muutoksia, koska ne altistuvat maailmassa oleville eri voimille. Tavarat

kuluvat käytössä samoin kuin vuoristot kuluvat eroosion johdosta. Ihmisen vanhetessa ihoon muodostuu lisää uurteita ja hiukset harmaantuvat. Kaikki asiat muuttuvat ajan myötä.

Yksityiskohdat ovat juuri ne, jotka luovat illuusion todellisesta maailmasta ja tuovat eloa objekteihin, kun kyseessä on tekstuurien käyttäminen. Jotta yksityiskohdat voidaan toteuttaa oikein, täytyy tuntee, miten 3D-ohjelmistojen tekstuurien kartoittaminen toimii ja miten erilaiset tekstuurikarttatyyliit vaikuttavat lopullisen pintamateriaalin ulkonäköön. Objektien keinoitekoisuus poistuu vasta, kun kaikki tekstuurikartat loksahavat paikalleen sopivalla tavalla.

Referenssivalokuvat todellisesta maailmasta auttavat paljon teksturoitaessa objektia, ja on olemassa älykkäitä ohjelmistoja, jotka pystyvät käyttämään näitä valokuvia suoraan tekstuureina ja "kietomaan" ne luonnollisen näköisesti tehdyn objektin ympärille. Zbrush ohjelman Image Plane 4 -lisäosalla voidaan toteuttaa esimerkiksi kuvan 12 mukaisia valokuvan tarkkoja tekstuureita. Mikäli käytössä ei ole referenssikuvia, kannattaa lähteä liikkeelle pohtimalla, mistä aineista kappale oikeasti on tehty, miltä se todellisuudessa näyttää ja mikä on sen historia.



Kuva 12. Kuinka realistiset tekstuurit muuttavat alkuperäistä 3D-objektia. [14.]



### 3.4 Videon resoluutio

Kuinka monta pikseliä ihmissilmä pystyy erottamaan? Riittääkö 2000 x 1000 pikselin resoluutio, jota käytettiin muun muassa elokuvassa Tähtien Sota: Episodi II saamaan videon näyttämään todelliselta, vai tarvitaanko vielä enemmän pikseleitä? Vai onko 2000 x 1000 resoluutio tarpeeksi vain, jotta saadaan video näyttämään "elokuvan kaltaiselta"? [10.]

Mihinkään näihin kysymyksiin ei ole vielä löydetty yksiselitteistä vastausta, mutta suurin osa ihmisistä ei luultavasti pysty huomaamaan eroa television kuvanlaadussa, jos mennään HD-laatuista (1920 x 1080) resoluutiosta vielä korkeampiin resoluutioihin. Ainoastaan silloin mikäli käytössä on jokin näyttöpäätte, joka kykenee toistamaan paljon suurempaa resoluutiota ja jos näyttölaite on fyysisesti erittäin suuri, kuten 100 tuuman televisio tai projektorilla vielä suuremmaksi heijastettu kuva, voidaan sanoa, että suurempien resoluutioiden käyttö kannattaa ja niiden käyttö kyetään huomaamaan.

Televisioiden kehittyminen on viihde-elektroniikan alalla yksi nopeimmin uudistuva osa-alue, sillä uusia televisioita tulee markkinoille koko ajan ja ne sisältävät aina vaan suurempia resoluutioita ja kaikenlaisia muita ominaisuuksia, kuten mahdollisuuden toistaa kolmiulotteista kuvaa. Elokuvissa ja muissa videomedioissa käytetyillä resoluutioilla on yhteys katsojien näyttöpäätteistä löytyviin videotarkkuuksiin siten, että elokuvista löytyvät suuremmat tarkkuudet tulevat lopulta aina myös televisioihin ja muihin tavallisiin näyttöpäätteisiin. Joten todennäköisimmin tulevaisuudessa tullaan näkemään vielä suurempia tarkkuuksia niin elokuvissa kuin televisioissakin, vaikkei niistä välttämättä olisi-kaan enää mitään sen suurempaa hyötyä realistisuuden kannalta ajateltuna. Eikä sen puoleen resoluution nostamisesta ole tietyn pisteen jälkeen enää mitään muutakaan hyötyä.

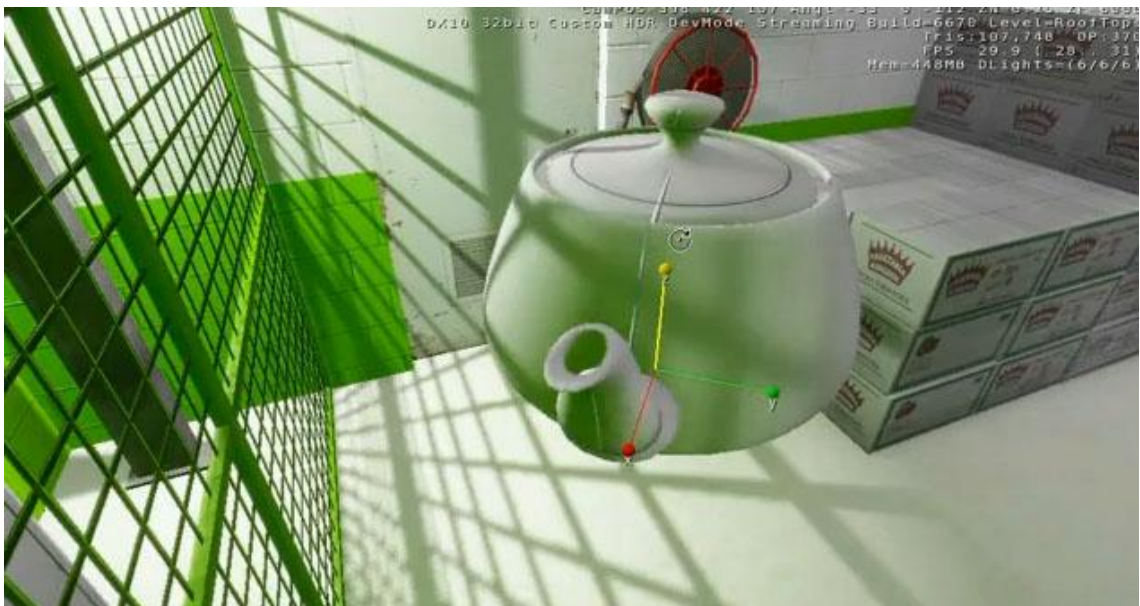
### 3.5 Valot, varjot ja heijastukset

Luotujen 3D-objektien valaiseminen oikein on erittäin tärkeää, sillä valojen, varjojen sekä heijastavien ja läpinäkyvien pintojen väärä mallintaminen on helpoiten huomattavissa. Elokuvaa kuvattaessa kannattaa valaistus yleensä asettaa varsinaisessa todellisessa kuvaustilanteessa oikein, sillä tietokoneella valaistuksen muokkaaminen jälkikä-



teen ei ole yhtä vaivatonta. Tämä on etenkin totta silloin, kun ajatellaan esimerkiksi näyttelijöiden valaisemista väriavainnustaustan edessä. Normaalisti elokuvissa onkin käytössä valoteknikoita, jotka ovat erikoistuneet hoitamaan valojen asemoinnin ja niihin liittyvät muut asiat. Ainoastaan todellisessa kuvaustilanteessa valaistuksen pystyy toteuttamaan täydellisesti, koska valojen ominaisuuksia pystytään säätämään aivan vapaasti. Luonnonvalon jäljitteleminen on myös sangen vaikeaa. Tietokoneella luotujen objektien ja maisemien valaiseminen ei vastaakaan koskaan täysin yhteen vastaavia reaali maailman kopioita.

Haluttaessa mallintaa mahdollisimman realistisen näköisiä objekteja täytyy ottaa huomioon muutkin mahdollisuudet kuin valon terävä heijastuminen ja taittuminen sekä diffuusi- ja spekulariheijastus suoraan valonlähteestä. Diffuusiheijastuminen tarkoittaa periaatteessa ”mattapintaisella esineellä” olevaa heijastumista, jossa valon intensiteetti on kaikkiin suuntiin yhtä suuri. Valaistuksen määrä ei siis tässä tapauksessa riipu katse-lusuunnasta vaan objekti näyttää samanväriseltä kauttaaltaan. Realismin kannalta näin ei todellakaan koskaan ole, vaan objektin pinnan yhdestä pisteestä katsojan silmään tai muuhun tutkittavaan suuntaan heijastuva valo riippuu sekä pisteeseen eri suunnista tulevasta valosta että pinnan heijastusominaisuuksista. On siis otettava huomioon myös muita valonsäteiden ominaisuuksia. Näitä ovat objektin pinnan läpi kulkeutuvan valon määrä (läpikuultavuus) ja sen taittuminen sekä valon vaimeneminen. [9, s. 415.]



Kuva 13. Valkoinen kahvipannu värjätty vihreäksi color bleeding -ilmiön vaikutuksesta. [15.]

Koska valojen käsittely on monimutkaista, on 3D-mallintamisen avuksi kehitelty monia matemaattisia menetelmiä, joilla valojen laskentaa saadaan helpommaksi ja nopeutettua. Jotkut näistä menetelmistä luovat samalla suuremman illuusion valojen todellisesta käyttäytymisestä. Monte Carlo -tyyppinen satunnaistettu laskentamenetelmä on eräs näistä. Sitä voidaan käyttää säteenjäljennyksessä objektin pinnan lähtevän valon määrittämisessä, jolloin objekteista saadaan realistisempi kuva ilman massiivista laskentaa, koska valonsäteistä lasketaan tällöin vain sopiva satunnainen määrä. Tulos ei tietenkään ole aivan tarkka eikä vastaa todellisuutta täydellisesti, mutta se on silti varsin lähellä tätä. Monte Carlo -tyyppisellä säteenjäljennyksellä saadaan myös aikaan color bleeding -ilmiö. Color bleeding -ilmiöllä tarkoitetaan kappaleiden ja niiden pintojen värjäytymistä sillä värillä, minkä väristä valoa niiden viereisten kappaleiden pinnat lähettävät (kuva 13). Ilmiöön vaikuttaa myös se, minkä väristä valoa kappaleen pintamateriaali voi heijastaa. [9, s. 415–416.]

Muita globaaleja valaistuksenlaskenta-algoritmeja ovat muun muassa radiositeettimenetelmän sekä fotonikartoituksen (photon mapping) laskentamenetelmät. Ne ovat mallintamisen hyödyksi kehiteltyjä valonmäärittämistekniikoita. Radiositeettimenetelmä on tekniikka, jonka tarkoituksena on laskea annetun staattisen mallin valaistus ottaen huomioon valon diffuusi heijastuminen pinnoista toisiin [9, s. 418]. Sillä verrataan myös renderöitävässä kuvassa olevia valaistuksen kirkkausalueita toisiinsa. Kun voidaan olettaa, että kirkkaus on yleensä laajoilla pinnoilla sama ja se muuttuu äkkiäisesti pienillä reuna-alueilla, kuten varjojen reunoissa, voidaan tämä objektien pintojen valoalueiden jako tehdä adaptiivisesti. Adaptiivisuudella tarkoitetaan sitä, että saman kirkkauden omaavilla suurilla alueilla olevat lasketut jakopinnat voivat olla suuria eikä niiden laskeminen vie täten niin paljoa aikaa, mutta varjojen reunoilla ja vastaavissa kohdissa jakopinnat ovat pieniä ja laskenta vie enemmän aikaa. Realismin kannalta radiositeettimenetelmän käyttäminen luo luonnollisemman näköistä materiaalia, ja se saa aikaan myös color bleeding -ilmiön. Toisissa 3D-mallinnusohjelmistoissa radiositeettin laskentamoottori on suoraan integroituna ohjelman sisäiseen renderöintimoottoriin, kuten Autodesk 3D Studio Max -ohjelmassa.

Fotonikartoitus luo ehkä kaikista realistisimman kuvan renderöitävistä objekteista. Se on kahden läpiviennin globaali valaistuksenlaskenta-algoritmi, jota voisi sanoa niin sanotuksi ideaaliseksi säteenjäljennykseksi. Kutakin valonsädettä seurataan erikseen niin

kauan kuin jokin tietty lopetuskriteeri täyttyy. Toisessa vaiheessa kaikki seuratut valonsäteet yhdistetään toisiinsa, jotta kirkkauden arvot saadaan määritellyä. Fotonikartoitusprosessin ensimmäisessä vaiheessa valon arvot tallennetaan fotonikarttaan, jonka perusteella lopullisen kuvan valaistuksen määrää ja suuntaa kyetään arvioimaan. Luonnossa valon heijastuessa ja taittuessa valo usein keskittyy joihinkin pinnan kohtiin muita enemmän. Tätä caustics-ilmiöksi kutsuttua ominaisuutta pystytään simuloimaan fotonikartoituksella. Ilmiön voi huomata esimerkiksi auringon heijastaessa valoa aaltoilevasta vedenpinnasta johonkin objektiin tai sitten lasin läpi menevässä valossa, kuten kuvassa 14 voi nähdä. [9, s. 424–426.]



Kuva 14. Normaalin säteenjäljennyksen yksivärinen varjo (vasen kuva) sekä fotonikartoituksen aiheuttama Caustics-ilmiö (oikea kuva) viinilas renderöintikuvassa.

Varjot toimivat todellisen maailman ja tietokoneella luodun maailman yhdistävänä tekijänä näiden kahden maailman välisellä rajapinnalla. Kuvattaessa esimerkiksi paljon materiaalia elokuvaan käyttäen väriavainnustekniikkaa, vihreälle taustalle ja lattialle heijastuvien varjojen vieminen tietokoneelle elokuvan jälkikäsitteilyvaiheeseen voi olla joskus hankalaa. Nämä saadut varjot eivät välttämättä vastaa myöskään täysin todellisia lopullisia varjoja, jotka objekteilla pitäisi olla, mikäli kohtaukseen on lisätty tietokoneella esimerkiksi lisää valonlähteitä tai jos varjon tulee heijastua jollekin täysin erimuotoiselle pinnalle. Siksi kuvausvaiheessa varjojen käyttäytyminen tallennetaan lähinnä vain omaksi referenssiksi, sillä aika suurella todennäköisyydellä varjoja joudutaan jotenkin jälkikäsittelemään. Tietokoneella luoduissa varjoissa tulisi myös ottaa huomioon se, etteivät ne ole yleensä yksivärisiä heijastusalueita, kuten kuvan 14 vasemmalla puolella on esitetty, vaan niissä voi esiintyä caustics-ilmiön aiheuttamia väri vaihteluita sekä varjojen reunat saattavat olla hieman sumentuneita. [9, s. 293–303.]

### 3.6 Oikea perspektiivi

Kolme eri perspektiivin tyyppiä

Kuvassa on kaksi ulottuvuutta: korkeus ja leveys. Kolmannen ulottuvuuden illuusion kuvaamiseksi käytetään perspektiiviä. Tämä on syvyysvaikutelma siitä, kuinka kaukana mikäkin kohde on katsojasta. Liitettäessä tietokoneella tehtyä grafiikkaa kuvattuun videoon on grafiikkaan aikaansaattava tämä perspektiivi. Lisättyjen objektien tai taustojen perspektiivin täytyy vastata jo olemassa olevaa syvyysvaikutelmaa, koska muuten kuvaus näyttää vääristyneeltä ja epäaidolta.

Perspektiivistä on olemassa kolme eri muotoa – lineaarinen, väri- sekä ilmaperspektiivi, joita voidaan käyttää yksinään tai yhdistelminä kuvaamaan videossa olevaa syvyyttä. Lineaarinen perspektiivi vaatii paljon opiskelua ja ymmärrystä geometrisistä käsitteistä ja siitä kerrotaan enemmän myöhemmässä lineaarisen perspektiivin luvussa. Väri- ja ilmaperspektiivi on yksinkertaisesti opittavissa ja ne tuovat kuvaan helposti todella paljon syvyyttä. [4, s. 50–59.]

Ilmaperspektiivi

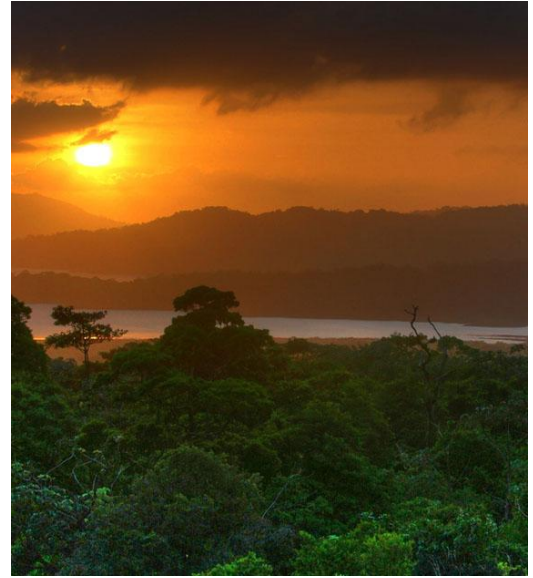
Ilmaperspektiivi (englanniksi atmospheric tai value perspective) perustuu kuvan etualalta taka-alalle liukuvasti muuttuvien objektien värien tummuusarvoihin. Tummat ja kirkkaat arvot ovat lähes aina kuvassa lähimpänä katsojaa, kun vaaleimmat arvot taas ovat kauimpana katsojasta. Tummuusarvojen eroavaisuus vähenee myös sitä mukaa mitä kauempana horisontissa jokin objekti on katsojasta. Aivan horisontin läheisyydessä olevat objektit ovat siis tummuusarvoiltaan erittäin samanlaisia ja yleensä lähellä vaaleaa valkoisen väriä. [4, s. 50–52.]

Ihmissilmässä syvyysvaikutelman voi aiheuttaa tällä tavalla, koska kuten tämän perspektiivityypin englanninkielisestä nimestä saa osviittaa, maapallon ilmakehä luo saman ilmiön luonnossa. Katsojan ja objektin välillä olevan etäisyyden kasvaessa ilmakehän partikkelit estävät aina vain enemmän ja enemmän näkemästä objektia, jonka takia se muuttuu vaaleammaksi. Tämän aikaansaa ilmakehän tiheys ja siinä oleva kosteus. Ilman kosteusprosentti vaikuttaa lisäksi siihen, kuinka hyvin ilmaperspektiivi on luonnos-

sa kulloinkin havaittavissa. Esimerkiksi aavikon kuumassa ja kuivassa ilmassa ei pysty juurikaan huomaamaan tätä ilmiötä, vaan ilma on siellä paljon läpinäkyvämpää. Kosteassa ilmanalassa taas ilmiö on helpommin nähtävissä. Ilmiön huomaa varsinaisen taivaan värityksessäkin, sillä taivas on suoraan pään yläpuolelle katsottaessa paljon syvemmän sininen kuin horisontissa, jossa sen väri on lähellä valkoista, kuten kuvasta 15 saattaa huomata. [4, s. 50–52.]



Kuva 15. Kaukana horisontissa olevat kohteet näyttävät vaaleammilta.



Kuva 16. Auringon laskun päinvastainen väriperspektiivi. [16.]

### Väriperspektiivi

Maapallon ilmakehä muuttaa objektien tummuusarvojen lisäksi myös niiden väriä etäisyyden suhteessa. Mitä kauemmas kohteet katoavat näköpiiristä, sitä enemmän ne ottavat taivaan väriä itseensä. Tämä väriperspektiivinä tunnettu ominaisuus toimii melkein aina käsi kädessä ilmaperspektiivin kanssa. Yleisimmin etualalla olevat kohteet ovat lämpimän värisiä ja taka-alalle mentäessä ne muuttuvat taas kylmän sävyisiksi, koska ne imevät itseensä lisää taivaan sinistä väriä välimatkan kasvaessa katsojaan verrattuna.

On tosin myös erikoistapauksia, jolloin väriperspektiivi voi toimia täysin päinvastoin kuin yleinen käsitys toteaa. Auringonlasku on eräs näistä tapauksista. Silloin aurinko värjää taivaan keltaisen tai punertavan sävyihin, ja lähellä olevat kohteet voivat näyttää paljon kylmän sävyisemmiltä kuin taka-alalla oleva tausta.

## Lineaarinen perspektiivi

Ennen lineaarisen perspektiivin kolmen eri toimintaperiaatteiden selvittämistä täytyy ymmärtää joitakin perspektiivin perustermejä. Horisontin ja silmien tason määrittäminen kuvasta on tärkeää, koska se tarvitaan yhdeksi perspektiivin vertailutasoksi. Horisonttiviivan asetus tapahtuu aina verrattuna katsojan silmien tasoon. Se ei siis ole kiinteästi sovittu taso, joka on aina samassa linjassa, vaan se riippuu katsojan vaihtuvasta näkökulmasta. Merellä horisontti on esimerkiksi taivaan ja meren välillä oleva väliviiva. Korkealla vuorella näköalaa ihailevan katsojan horisontti on yhä taivaan ja maapallon pinnan välinen viiva, vaikka katsojan silmien taso onkin paljon korkeammalla kuin merenpinnan tasolla olevan ihmisen. Näillä eri korkeuksilla olevilla ihmisillä horisontin käsitys ja näkymä on siis erilainen johtuen heidän eri silmien tasosta. Joissakin tapauksissa horisontti ei välttämättä näy kuvassa laisinkaan, mutta se ei tarkoita, ettei sitä olisi olemassa, vaan se tulee silti määrittää oikean lineaarisen perspektiivin aikaansaamiseksi. Tämä voi tapahtua katsottaessa alaspäin lattiaa. Horisontin peittää usein myös kuvassa olevat vuoret, rakennukset tai muut objektit, joten monesti horisonttiviiva piirretään arviolta virtuaaliseksi horisontiksi. [4, s. 53–54.]

Pakopiste on toinen tärkeä perspektiiviin liittyvä termi. Se on horisontissa oleva piste, jota kohti yhdensuuntaisesti olevat objektit lähentyvät ja täten häviävät. Useimmiten pakopisteitä voi esiintyä kuvassa yhdestä kolmeen, eikä niiden sijainti aina ole edes kuvan sisällä. Kuvassa 17 on esimerkiksi vain yksi pakopiste, ja sen positio on aivan siinä pisteessä, johon rataakskot häviävät horisontissa. [4, s. 53.]

Viimeinen tietyn kuvan perspektiivin määrittästä helpottava käsitys on lähestymislinjojen asettelu. Lähestymislinja tarkoittaa sitä viivaa tai linjaa, mitä pitkin jokin objekti häviää johonkin pakopisteeseen. Kaikki lähestymislinjat, jotka menevät samaan pakopisteeseen, ovat täten täysin yhdensuuntaisia toisiinsa nähden. Johtopäätös tästä taas on, että myös kaikki yhdensuuntaiset objektit häviävät samaan pakopisteeseen. Piirtämällä avittavia lähestymislinjoja omaan teokseensa, johon on liittämässä grafiikkaa, pystyy vaivattomasti varmistamaan grafiikoiden todenmukaisen perspektiivin. Jälleen ottamalla esimerkiksi rautatiekuvan (kuva 17) lähestymislinjat menevät muun muassa rautatiekiskoja pitkin sekä aseman katoksen reunaviivaa pitkin. [4, s. 53.]





Kuva 18. Kuva rautatiestä on hyvä esimerkki yhden pakopisteen perspektiivistä.



Kuva 17. Rakennuksen kuvissa voidaan usein havaita kahden pakopisteen perspektiivi.

Lineaarista perspektiiviä käytetään apuna tavallisesti luotaessa kuvaan ihmisen tekemiä rakennelmia tai objekteja. Lineaarisen perspektiivin kolme tyyppiä perustuvat siihen, kuinka monta pakopistettä kyseisessä kuvassa on, eli on olemassa yhden, kahden sekä kolmen pakopisteen lineaarinen perspektiivi.

Yhden pakopisteen perspektiivi tapahtuu yleisesti aina silloin, kun katsotaan suoraan jonkun pakopisteen suuntaan. Sen käyttö aiheuttaa symmetrisyyden ja jämähkyyden korostumista. Voidaan myös sanoa, että tämälantapaisella kuvalla ei ole muita pakopisteitä, koska toiset lähestymislinjat, jotka tosin ovat kyllä olemassa, ovat täysin horisontin suuntaisia. [4, s. 54.]

Useimmiten käytetty lineaarisen perspektiivin muoto on kahden pakopisteen perspektiivi. Mitä tahansa graafisia malleja tekeekään, yleensä tulee käyttämään tätä perspektiivin muotoa pelkästään siitä syystä, että lähes aina, kun ihmiset katselevat suoraan eteensä, he näkevät näkökentässään juuri kaksi pakopistettä. [4, s. 55.]

Katsottaessa korkeita asioita ylöspäin äärimmäisen kummallisista kulmista tai vastavasti alaspäin katsottaessa kuvaan normaalisti muodostuu kolmen pakopisteen perspektiivi. Varsin usein kolmen pakopisteen perspektiivin omaavissa kuvissa ei ole kuin yksi näistä kolmesta pakopisteestä näkyvissä kuva-alalla, ja joissakin tapauksissa kaikki pakopisteet voivat jopa olla näkökentän ulkopuolella. Horisonttia ei yleisesti ottaen myöskään näy kuvassa. [4, s. 55.]



Kuva 19. Kolmen pakopisteen perspektiivin voi huomata helposti ylöspäin katsoessa.

### 3.7 Äänet

Jotta tietokoneella tehdyt objektit ja maailma niiden ympärillä olisi täydellinen ja koska elokuvien katselu on audiovisuaalinen kokemus, täytyy myös äänimaailma huomioida, jos halutaan pyrkiä mahdollisimman fotorealistiseen videontuotantoon. Äänien lisäys videoon voi tosin olla paljon vaikeampaa kuin näkyvien 3D-objektien lisäys. Tämä johtuu äänen ominaisuuksista kuten muun muassa kaikumisesta, tila-akustiikasta ja voimakkuuden vaihtumisesta. Lisätyllä äänellä on yleensä aina jokin paikka sekä suunta mistä ääni tulee katsojaan päin. Tätä paikkaa ja suuntaa tulee verrata kameran paikkaan, koska katsojan "korvien" pitää olla siinä paikassa, missä kameran linssin näkökenttä sijaitsee. Yleisenä ohjesääntönä voi pitää sitä, että jokainen tietokoneella luotu 3D-malli tulee tarkistaa, jos siihen liittyy jokin tietty ääni, tai kuinka se muuttaisi jo



videomateriaalissa olemassa olevia ääniä. Pitää muistaa myös, ettei mikään tila ole normaalisti täysin äänetön.

Erilaiset äänet voidaan lisäksi jakaa sen mukaan, minkälaisia ne ovat. Kohdeäänit lähtevät aina jostakin tietystä paikasta ja asiasta, kuten ihmisen puhe tai vaikkapa oksalla istuvan linnun laulu. Taustamelu on ei-informatiivista, kommunikaatioon kuulumattomia ääniä, kuten ilmastointi tai liikenne. Kuvattaessa esimerkiksi merellistä maisemaa ei taatusti tunnu aidolta, mikäli taustalla ei kuulu tuulen ja meren aaltojen aiheuttamaa ääntä. Kaiken tämän voi luokitella taustaääneksi. [17.]

Yhtenä täysin erillisenä kategoriana lisättävistä äänistä voidaan vielä pitää kaikenlaista elokuvaan liitettävää musiikkia. Musiikkia ei voi verrata näihin muihin äänien tyyppeihin, koska elokuvissa soiva musiikki on lähes aina taustalla kuuluvaa musiikkia joka ei vaikuta visuaalisen puolen materiaaliin millään muulla tavalla kuin tunnelman luojana. Ainoastaan silloin kun musiikki on lähtöisin jostakin esineestä, kuten videossa esiintyvistä radiosta, täytyy tarkistaa, miltä musiikin tulisi kuulostaa kyseisessä tilassa ja paikassa. Tällöin ääni tosin onkin kohdeääntä.

Nykyisessä mediantuotannossa ei vielä paljon panosteta äänien realistiseen tuottamiseen, luultavammin sen takia, että halutut kohde- tai taustahälyäät otetaan suurista äänikirjastoista, joissa on kaikenlaisia valmiiksi nauhoitettuja ääniä. Uusien äänien nauhoittaminen ja muokkaus on kallista, joten kirjastojen käyttäminen tulee elokuvien tuottajille yksinkertaisesti paljon halvemmaksi. Eikä äänimaailmaa välttämättä katsota yhtä tärkeäksi, koska useimmat katsojat eivät todennäköisemmin huomaa mitään eroa, vaikkei se olisikaan täysin onnistunut. Toisaalta on eräs media, jossa äänien vaikutukset 3D-maailmaan huomioidaan yleensä varsin tarkasti. Nämä ovat tietokonepelit, ja etenkin sellaiset pelit, joita ”hypetetään” kauniiden grafiikoiden takia. Niissä pelattavan hahmon kävellessä metallilattialla askeleet kolisevat aivan eri tavalla kuin silloin kun lattian materiaali muuttuu puuksi. Usein unohdettavia yksityiskohtia, kuten pienien koneiden ääniä tai elävien olioiden hengitysääntelyitä, ei myöskään ole jätetty huomiomatta tietokonepeleissä.

### 3.8 Animointi

Jo aiemmin mainituilla liikesumentumisella ja liikkeentallennuksella animoinnista saadaan realistisemman näköistä, mutta animaation tulee myös toistua samalla nopeudella kuin videossa oleva kuvanopeus, jotta se mielletään sulavaliikkeiseksi. Lisäksi animaation tulee noudattaa luonnossa esiintyviä liikeratoja. Esimerkiksi ihmisen käsivarressa olevien lihaksien tulee siis liikkua noudattaen ihmisen anatomian määäämiä rajoituksia. Animaation realismi on suoraan sidoksissa myös fysiikanmallinnuksen huomioimiseen.

### 3.9 Fysiikan huomioiminen

Realistisuus ja realismi tarkoittavat todellisuuden todenmukaista kuvaamista. Se millä ihmiset yrittävät tutkia ja kuvata luontoa ja sen lakeja, on tietenkin fysiikka, joten myös kaikkien realistisuuteen pyrkivien 3D-grafiikan menetelmien pohjalta löytyy fysiikasta tutut matemaattiset kaavat. Kolmiulotteisen tietokonegrafiikan ohjelmistoihin yritetään aina kehittää parempia metodeja, jotka ovat lähempänä fysiikasta tulleita kaavoja mallintaa niin valaistusta, äänimaailmaa kuin kaikkia muita todellisuuden asioita. Fysiikanmallinnuksen tärkeys korostuu etenkin animoitaessa 3D-objekteja, koska erilaiset ympäristöstä tulleet esineiden fysikaaliset ominaisuudet, kuten massa ja aineen kovuus, vaikuttavat aina animointiin.

Matemaattisia simulointeja käytetään hyväksi toteutettaessa monia luonnonilmiöitä, kuten tulen, tuulen ja painovoiman käyttäytymisen mallintamisessa. Nesteiden ja niiden liikkeiden käsittelyn avuksi on myös kehitelty monia matemaattisia malleja. 3D-ohjelmistoissa on usein integroituna fysiikkamoottori, jolla voidaan toteuttaa kaikkea realistisen näköisesti hajoavista kappaleista pehmeisiin muotoaan muuttaviin objekteihin.

## 4 Teoriasta käytäntöön

### 4.1 Visualisointi ja suunnitelmat

Kun aloitetaan 3D-projektia, on hyvä lähteä liikkeelle visualisoimalla se, miltä minkäkin kohtauksen tulisi näyttää silloin kun siihen on lisätty kaikki luodut 3D-tuotokset. Tuotanto- ja kuvakäsikirjoitukset tulevat tässä avuksi. Niitä voi käyttää niin tehtäessä elokuvien erikoistehosteita ja mainoksia, tai kuten minun tapauksessani, pienimuotoisen 3D-demon teossa. Tärkeää on kuitenkin muistaa suunnitella mahdollisimman paljon asioita etukäteen. Tämän insinööriyön lopusta löytyy liitteenä käyttämäni hahmotelmat tekemäni projektin sisällöstä tuotantokäsikirjoituksen muodossa (liite 1). Tehdyn suunnitelman ei todellakaan välttämättä tarvitse olla niin tarkka kuvaelma lopullisesta tuotteesta, vaan se voi olla vain jotakin mihin saa koottua kaikki ajatuksensa. Tietenkin tarkemmat erittäin seikkaperäiset suunnitelmat ovat tosin aina hyväksi. Käytettyjen tiedostojen nimet on myös hyvä liittää niihin liittyvän kohtausnumeron kohdalle, jotta tiedostot pysyvät järjestyksessä, ja pystyy muistamaan, minkä nimistä tiedostoa kulloinkin etsii.

Suunnitelmallisuus auttaa 3D-mallien työstämisessä, koska jos tiedetään ennalta tarkkaan, mitkä osat malleista esimerkiksi näkyvät ja mitkä eivät, pystytään keskittymään ainoastaan näkyvien osien mallintamiseen ja tekemään näistä hyvänlaatuisia. Taustalle jäävät huomaamattomat mallit voidaan taas mallintaa huonompilaatuisina.

### 4.2 Raakamateriaalin kuvaaminen

Suuria elokuvia filmattaessa käytetään yleensä monimutkaisia kamerajärjestelmiä, mutta tämän tapaisessa pienimuotoisessa videossa, kuten minun demovideoni teossa, hyvälaatuinen HD-videokamera on täysin riittävä. Kuvauksissa käytin Canonin Legria HF S21 -videokameraa, ja ne tapahtuivat Porvoossa Pellingin saaristossa. Alkuperäinen videomateriaali kannattaa kuvata käyttäen mahdollisimman suurta laatuasetusta ja resoluutiota, jotta käsittelyvaiheessa tehdyt mahdolliset muutokset huonontavat lopullista tuotetta mahdollisimman vähän tai eivät laisinkaan. Täydellä teräväpiirtokamerajärjestelmällä tämä onnistuu loistavasti.

Aina videokameralla tärkeitä videoita kuvattaessa kannattaa käyttää Steadicam järjestelmää, koska se tekee kuvaamisesta paljon vakaampaa ja estää käsivaralla kuvattaessa esiintyvät värinät. Steadicam on Garrett Brownin alun perin kehittämä yleensä valjaille kannettava kameran mekaaninen tukivarsi ja kuvanvakain. Mutta kuten arvata saattaa, nämä Steadicam -laitteet eivät ole kovin halpoja, joten minulla ei ollut mahdollisuutta sellaista käyttöä. Staattinen jalusta on toinen vaihtoehto, ja sekin on aina parempi kuin käsivaralta kuvaus. Demovideoni raakamateriaalien kuvauksissa käytinkin jalustaa, ja muutamat kohtaukset on kuvattu käsivaralta. Käsivarakuvausissa Canonin kamerassa ollut optinen kuvanvakain auttoi värinöiden välttämässä.

#### 4.3 Mallintaminen hyödyntäen useaa eri ohjelmaa

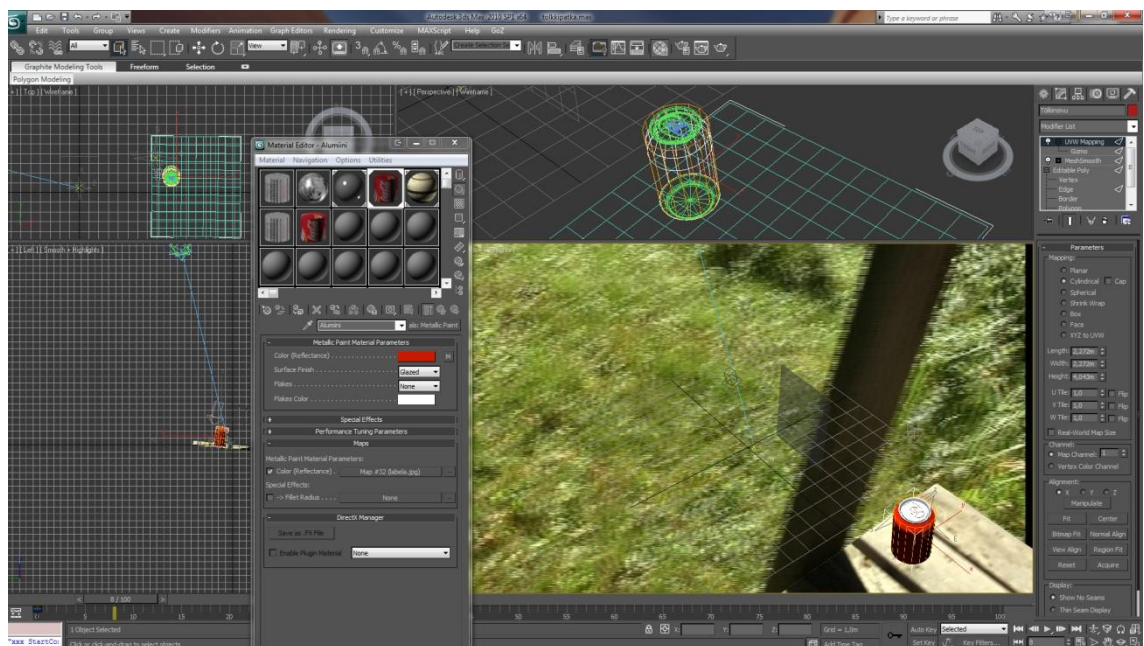
Kun aloittaa oman 3D-projektin, kannattaa ensiksi pohtia, mitä kaikkia ohjelmia on markkinoilla tarjolla niiden elementtien tekemiseksi, joita omassa projektissa tulee olemaan. Markkinat kehittyvät ja elävät koko ajan 3D-tuotannon alalla, ja uusia mekanisme ja jonkin reaali maailman asian mallintamiseen keksitään jatkuvasti lisää. Toiset ohjelmistot on suunniteltu vain 3D-mallinnuksen tiettyä osa-aluetta silmällä pitäen, kuten FaceGen Modeller, jolla onnistuu ainoastaan ihmiskasvojen 3D-mallin tekeminen. Siksi elokuvissa voidaan joutua käyttämään lukuisia eri ohjelmistoja, ja seuraavassa listauksessa on lueteltuna muun muassa Avatar-elokuvassa hyödynnetyt ohjelmat sekä se, missä tehtävässä niitä käytettiin.

- Autodesk Maya (useimmat kohtaukset)
- Pixar Renderman (Mayassa käytetty renderöintiohjelma)
- Autodesk SoftImage XSI (hahmoanimaatiot ja visuaaliset efektit)
- Luxology Modo (mallien design, esim. *taistelualus Skorpioni*)
- Lightwave (matala-resoluutioiset reaaliaikaiset ympäristöt)
- Houdini (Hell's Gate kohtaukset, sisätilat)
- ZBrush (hahmojen design)
- Autodesk 3ds Max (avaruusotokset, valvomon näytöt ja HUD-renderöinnit)
- Autodesk MotionBuilder (reaaliaikainen 3D-visualisointia varten)
- Eyeon Fusion (kuvien sommittelu)
- The Foundry Nuke Compositor (ennen filmausta tehtävä kuvien sommittelu)
- Autodesk Smoke (värinkorjaukset)

- Autodesk Combustion (kompositointi)
- Massive (kasvillisuus simuloinnit)
- Mudbox (ilmassa kelluvat vuoret)
- Avid (videoeditointi)
- Adobe After Effects (kompositointi, reaaliaikainen visualisointi)
- PF Track (liikkeen seuranta ja taustan korvaus)
- Adobe Illustrator (HUD:n ja näyttöjen asettelut)
- Adobe Photoshop (konseptitaide ja tekstuurit)
- Adobe Premiere (koestus, karkea kompositointi AE:n kanssa)
- lukemattomat työkalut ja lisäosat eri alustoille, kuten Ocula plugin Nukeen, Ktakatoa 3ds Maxiin sekä Sapphire Combustioniin/After Effectsiin. [18.]

Tarkoituksena oli tehdä kolme erilaista lyhyttä esimerkkiä demovideooni siitä, kuinka tietokonegrafiikkaa voidaan liittää muuhun videoon. Se mitä kaikkea pitää huomioida tehtäessä realistista 3D-grafiikkaa, on jo käsitelty teorian puolella aiemmin, joten nyt keskityn lähinnä lyhyesti selittämään muut käytännön asiat hyödynnetyistä ohjelmista. Samalla selviää hieman tarkemmin, mitä ohjelmia käytin omassa työssäni.

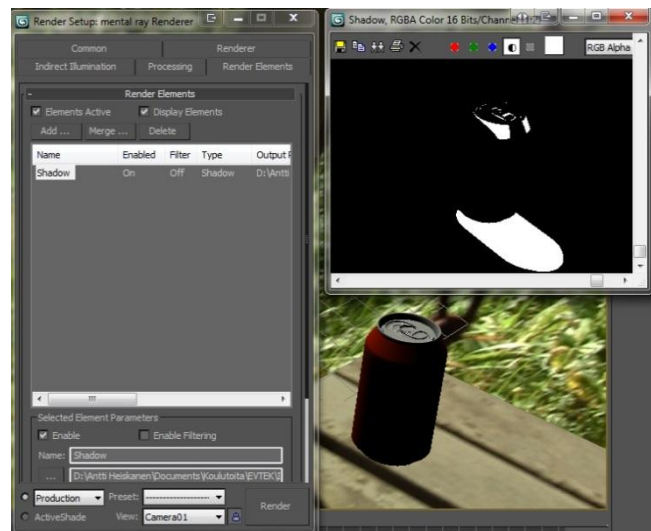
Ensimmäinen esimerkkimalli demovideoossa on täysin 3ds Max -ohjelmalla mallinnettu ja animoitu Coca-Cola-tölkki. Tämän tölkin animointi on tehty varsin perinteisesti käyttäen manuaalista avainkehysanimointia, jolla saadaan aikaan melko sujuvaliikkeistä



Kuva 20. Mallintamisen apuna voi käyttää referenssikuvia oikeasta perspektiivistä.

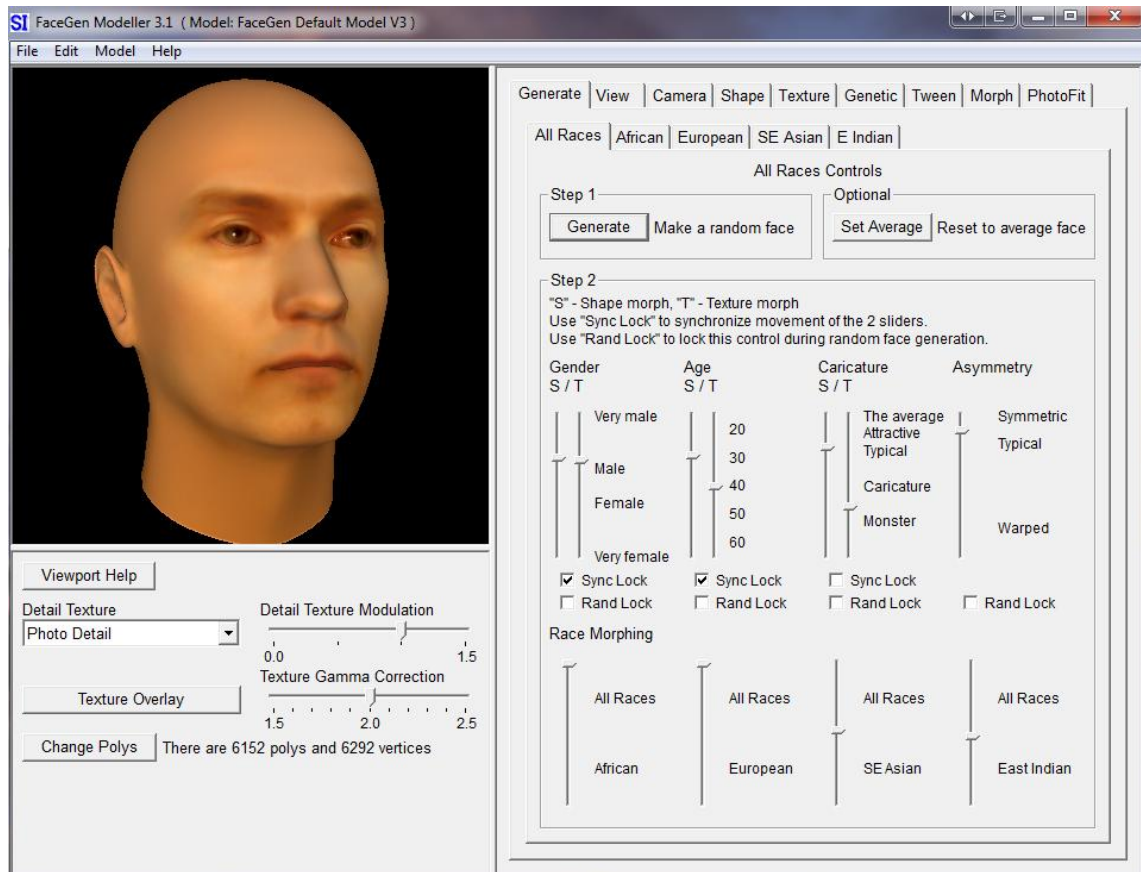
animaatiota. Oikean perspektiivin aikaansaamiseksi 3ds Max -ohjelmaan voi tuoda alkuperäisen referenssivideon, johon tämä animaatio tullaan liittämään, näkymien taustaksi painamalla Alt+B tai valitsemalla näkymätaustavaihtoehdon näkymäikkunan ominaisuuksista. Kuvassa 20 olen liittänyt alkuperäisen videomateriaalin yhteen näkymäikkunaan. Cola-tölkki oli tarkoitus sijoittaa keinussa olevalle sivupöydälle, ja tästä sivupöydästä saa vaivattomasti myös hyvän kiintopisteen oikean perspektiivin luomiseksi. Tämän takia tein tasokappaleen, joka liikkuu sivupöydän mukana. Tölkki taas on helppo asemoida jälkikäteen tasokappaleeseen samaan tapaan kuin oikealle pöydälle, ja jotta tölkki pysyy pöydän liikkeessä mukana, se tulee linkittää siihen. Cola-tölkin alumiinimateriaali on jokseenkin valoa heijastava, joten referenssinä toimiva tasokappale auttoi keinun sivupöydän lautojen heijastuksen aikaansaamisessakin. Animaation ja tekstuurien valmistuttua ei tarvinnut muuta kuin renderöidä animaation tarpeelliset osat oikeassa järjestyksessä ilman referenssitaustaa ja -tasokappaletta.

Renderöitäessä täytyy aina muistaa tallentaa renderöidyt kuvat jokainen kuva erikseen mieluiten jollakin häviöttömällä kuvaformaattilla, jotta ne on yksinkertaista liittää yhtenäisenä animaationa jälkikäteen videoeditointiohjelmaan. Tällöin yksittäisiä kuvia voi myös editoida erikseen esimerkiksi kuvankäsittelyohjelmalla. Samalla tavalla kuvissa esiintyviä eri objekteja tai objek-



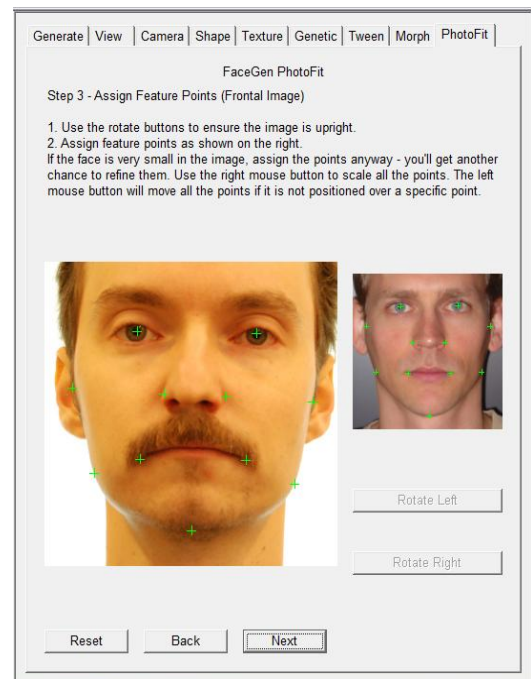
Kuva 21. Varjojen renderöinti 3ds Max.

tien varjoja ei välttämättä ole hyvä renderöidä kaikkia samaan kuvaan, vaan ne voivat olla omina tiedostoinaan. Näin esimerkiksi varjojen tummuutta tai vaikkapa väriä pystytään muokkaamaan ilman uudelleen renderöintiä. Kaikkien näiden toimenpiteiden tarkoituksena onkin pienentää tarvittua renderöintiäikää ja välttää turhaa saman kohdan renderöimistä useaan kertaan pienien muutosten jälkeen. 3ds Max 2010 -ohjelmassa varjojen erillinen renderöinti ja tallennus onnistuu vaivattomasti. Varjot tallennetaan kuvan alfa-kanavalle (kuva 21).



Kuva 22. FaceGen Modellerin asetuksia.

Seuraava esimerkki tuli olemaan mahdollisimman tarkan ihmishahmon pään mallintaminen ja liittäminen demovideoon. Ihmisen kasvojen ja pään mallintaminen tyhjäs-  
tätä on hankalaa, mutta sitä varten on kehitetty ohjelmia kuten käyttämäni FaceGen Modeller. Ohjelmalla on mahdollista generoida ihmiskasvot määrittelemällä ensin monet kriteerit, kuten ikä, rotu ja sukupuoli, mutta minä käytin siinä olevaa PhotoFit-ominaisuutta, jolla aidoista valokuvista kasattua niitä vastaava kasvomalli. PhotoFitin käyttöön tarvitaan vähintään yksi etupuolelta otettu kasvokuva, johon tullaan asettelemaan merkkipisteitä kuvan 23 mukai-



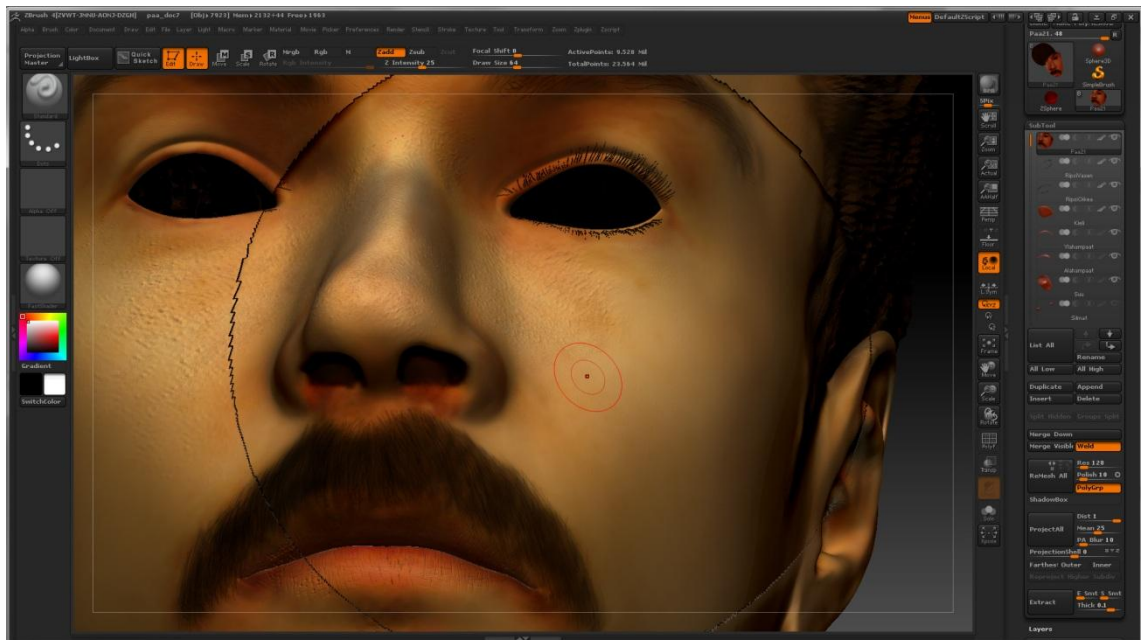
Kuva 23. FaceGenin Photofit-ominaisuudella kyetään kokoamaan tavallisista valokuvista kasvojen 3D-malli.



sesti. Merkkipisteitä vertailemalla ohjelma laskee arvion, miltä kyseinen kasvomalli pitäisi lopulta näyttää. Kasvojen sivukuvat pystytään lataamaan samaan tapaan ohjelmaan paremman mallin tuottamiseksi.

FaceGen kasvomallintajalla tehdyt 3D-mallit eivät ole kovin tarkkoja, mutta ne voivat toimia hyvänä pohjana tarkemmille malleille, koska tästä ohjelmasta saa vietyä ja tallennettua tehdyt mallit esimerkiksi obj-formaatissa. Erittäin tarkkaan 3D-mallinnukseen kannattaa käyttää Zbrushia. Zbrush on monipuolinen ohjelma, jolla pystytään muotoilemaan omia malleja samoin, kuten kuvanveistäjä muovailee savitöitä. Se mikä ohjelman käytön kannalta on tosin pakollista, on piirtopöydän käyttäminen. Tietokoneen hiirtä käyttämällä ei kuitenkaan pysty tekemään tämänkaltaista muovailutyötä.

Työskentely Zbrushilla jakautuu kolmeen eri vaiheeseen. Aluksi tehdään matalaresoluutiainen mallipohja, joka sisältää pelkästään mallin yleiset ääriviivat ja tilavuuden. Seuraavassa päähahmotelmavaiheessa malli jaetaan jo muutamaaan alijakopintaan ja jotkin yksityiskohdat alkavat jo hahmottua. Viimeisessä kolmannessa vaiheessa 3D-mallin pienimmätkin yksityiskohdat, kuten ihohuokokset, saadaan näkyviin. Tämän viimeisen vaiheen yksityiskohdat voidaan saada aikaan käyttäen joko standardia alijakopinnoitusta tai HD-alijakopintoja. HD-geometria sallii jopa sadan miljoonan polygonin käyttämi-



Kuva 24. Zbrushilla saadaan tehtyä erittäin tarkkoja 3D-malleja, joissa voi olla miljoonia polygoneja.



sen 3D-mallissa, joten tällä onnistutaan tekemään kaikista tarkimpia töitä. HD-geometriaa hyväksi käytettäessä täytyy kuitenkin muistaa, ettei ylitä noin 1–1,5 miljoonan polygonin määrää ylimmällä normaalilla alijakopintatasolla.

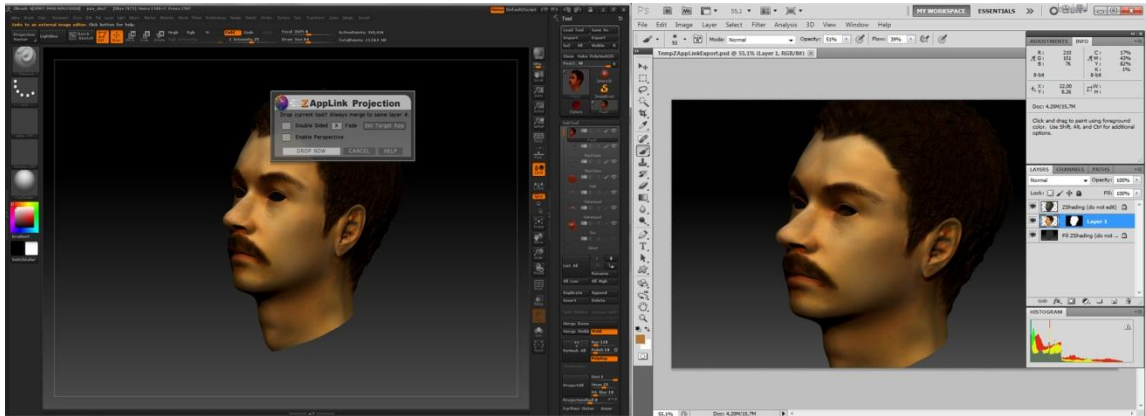
Zbrush keskittyy lähinnä mallien tekemiseen, joten lopullinen renderöinti tulee yleensä suorittaa jollakin toisella ohjelmalla. Varsin usein ohjelmien välinen tiedostonsiirto voi olla hankalaa, mutta tällä ohjelmalla se ei sitä ole GoZ-toiminnon takia. GoZ eli Go-Zbrush toimii dynaamisena siltana Zbrushin sekä useiden markkinoilla olevien muiden 3D-ohjelmien välillä siten, että koko malli ja kaikki siihen liittyvä materiaali siirtyy ohjelmasta toiseen yhdellä napinpainalluksella. Tuettuja ohjelmia ovat muun muassa 3ds Max, Maya, Modo sekä Cinema 4D. Ohjelmien välinen yhteys on myös molempisuuntainen. GoZ on eräs Zbrushin lukuisista lisäosista, tosin ohjelman uusimmassa versiossa se on suoraan integroituna asennukseen. Muita hyödyllisiä lisäosia ovat esimerkiksi UV Master teksturointia varten tarpeellisen 3D-mallin pinnan oikeanlaisen 2D-kuvalevityksen eli UV-mappauksen tekemiseen ZApplink, josta kerron seuraavaksi, sekä Image Plane.

#### 4.3.1 Kuvankäsittelyohjelmat tuotannon apuvälineinä

Tekstuurien piirtämiseen Zbrush-ohjelma tarjoaa monia vaihtoehtoja. Polygonien maalaus eli polypainting mahdollistaa 3D-mallien pinnan maalauksen ilman tekstuurikartan tekemistä. Tekstuurikartan luominen mallin värityksen jälkeen aiheuttaa sen, ettei tekstuurikartan resoluutiota tarvitse ennalta määrätä, eikä UV-mappausta tarvitse säätää ennen lopullisen maalauksen valmistumista. Polypaintingilla 3D-mallin pinnan värjäys on yhtä mutkatonta kuin tavallinen mallintaminenkin ja polypaintingia voi jopa käyttää samaan aikaan kuin tekee mallinnusta. Tämä tekee 3D-mallin tekemisestä erittäin innovatiivista.

Toinen yleisesti ottaen parempi vaihtoehto mallin teksturointiin on käyttää kuvankäsittelyohjelmia varsinaisen mallin väritykseen. ZApplink on pieni lisäosa, joka yhdistää kuvankäsittelyohjelman, kuten Adobe Photoshopin, saumattomasti ZBrushin muotoilu-prosessiin. ZApplink toimii tavallaan napaten valokuvan Zbrushissa olevasta mallista juuri siitä kulmasta, mistä kulloinkin mallia katselee, ja siirtää tämän suoraan Photoshopiin. Siirrettäessä tämä kuva Photoshopin puolelle täytyy ottaa huomioon, että myös

katseluetäisyydellä sekä mallin tarkkuudella on väliä Zbrushin puolella, koska siirretty kuva vastaa täsmällisesti Zbrushin näkymää. HD-geometriaa muovailtaessa kannattaa siis työskennellä varsin lähellä omaa 3D-mallia. Photoshopissa tehdyt väritykset saa takaisin Zbrushin puolelle helposti vain tallentamalla kuvankäsittelyohjelmaan avatun tiedoston ja palaamalla Zbrushiin. Tällöin kaikki muutokset maalautuvat 3D-malliin kuten käyttäisi polypaintia.



Kuva 25. ZApplink toimii Zbrushin ja Photoshopin välillä.

Demovideossani oleva viimeinen realistisen tietokonegrafiikan taustanmaalausta eli matte painting -tekniikkaa hyödyntävä videoleike on tehty suurimmalta osalta vain käyttäen Adobe Photoshopia. Matte painting -tekniikalla olen yhdistänyt useita eri valokuvia toisiinsa yhdeksi suureksi videotaustaksi, jotta voin tehdä tämän taustan päällä liikkuvan kamera-ajon Adobe After Effects -ohjelmassa. Taustanmaalausta käytettäessä kannattaakin yrittää tehdä taustakuvasta suurempiresoluutioinen kuin varsinainen video tulee olemaan, jotta on mahdollisuuksia tehdä kameran liikkeitä tällä taustalla helposti ilman kuvalaadun heikkenemistä. Olen myös poistanut paljon asioita tästä matte-kehuksesta, kuten mökin siluetin sekä tikkataulutelineen, jotka voi huomata katsottaessa CD:llä liitteenä olevan demovideon kommenttien kanssa. Horisonttiin taas on lisätty tuulivoimala.

#### 4.3.2 Adobe After Effects

Adobe After Effects toimii materiaalien kompositointiohjelmana, eli tällä ohjelmalla kerätään kaikki kuvamateriaali yhteen ja tehdään tarvittavat muokkaukset, kuten värikorjaukset ja vastaavat operaatiot. Demovideoni tapauksessa tein After Effectsillä ihmis-

pään taustan ja taustan liikkumisen, kaikki värikorjaukset sekä matte painting -taustan animoinnin.

Ohjelmistoa pystyisi käyttämään tosin paljon muuhunkin, koska sillä saa luotua esimerkiksi helposti staattisesta kuvasta animaation, jos käyttää puppet pin -työkalua. Adobe-tuoteperheen kaikki muut ohjelmistot yhdistyvät keskenään myös täysin saumattomasti ja Photoshopin tiedoston voi muun muassa tuoda After Effectsin puolelle omaksi kompositioksi siten, että kaikki kuvan kerrokset säilyvät.

#### 4.4 Oman grafiikan liittäminen kuvattuun materiaaliin

Ollaanpa sitten tekemässä täysin tietokoneanimoitua tai live action elokuvaa, johon liitetään erikoisefektejä, on mahdotonta saada mukaan kaikkea yhteen otokseen tai renderöintiin mitä tarvitset lopullisen version tuotoksessa. Lopullisessa videomateriaalissa on yleensä kymmeniä tai jopa satoja kerroksia erilaista kuvainformaatiota, jotka sisältävät niin näyttelijöiden esiintymisen sinisen tai vihreän taustan edessä kuin esimerkiksi kohteisiin lisätyt heijastuksetkin. Näiden useiden eri kerrosten välillä vallitsee hienovarainen vuorovaikutus, joka tulee iteratiivisesti hioa halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Koska kaikki kuvassa kerroksina olevat elementit vaikuttavat aina jotenkin toisiinsa, vasta eri kerroksien vuorovaikutusten huomioon ottamisen jälkeen saadaan täydellisen yhtenevästi toistuva video.

Omassa videossa olevien objektien värien korjaus on usein yksi tarpeellinen työvaihe 3D-grafiikan tuotannossa. Lisättyjen objektien väriskaala voi olla esimerkiksi liian kylmä muuhun videoon verrattuna. Ympäristökartan (environment map) käyttäminen on eräs asia mikä voi joskus unohtua koostaessa ja renderöitäessä lopullista tietokonegrafiikkaa. Todellisessa maailmassa objektien pinnoille heijastuu aina myös koko ympärillä oleva maailma, joten tämä täytyy jotenkin simuloida tietokoneella luotuihin objekteihin.



Kuva 26. Värikorjattu kuva, jossa näkyy ympäristökartan käyttö selvästi aurinkolasien heijastuksessa.

#### 4.5 Renderöintiäika

Tietokoneanimaatioita tehdessä renderöintiäika on yleensä erittäin pitkä, koska videon jokainen kuva tulee käsitellä erikseen ja jo yhdessä sekunnissa videota on yleensä noin 25 kuvaa. Etenkin valon säteiden laskeminen eli säteenjäljennys vie paljon aikaa. Siksi etenkin elokuvia tehdessä graafisten työntekijöiden 3D-tuotokset lähetetään usein renderöitäväksi ulkoistettuihin yrityksiin, jotka keskittyvät ainoastaan ylläpitämään massiivista laskentatehoa omaavaa tietokonekeskittymää. Näissä keskittymissä voi olla useita satoja tietokoneita käsittelemässä näitä 3D-tuotoksia yhtäaikaisesti. Tämäntapaisia tietokoneklustereita kutsutaan renderöintifarmeiksi.

Rendercore on muun muassa yksi verkossa toimiva renderöintifarmi, jolla on 500 suorittinta ja yhteensä 6,5 terahertziä laskentatehoa käytettävissä. Jos omia töitään haluaa lähettää renderöintifarmiin, pitää ensin muistaa tarkastaa renderöintifarmin yhteensopivuus omien käytettyjen ohjelmistojen kanssa. Farmien käyttö saattaa käydä myös erittäin kalliiksi, koska hinnastot perustuvat yleensä tuntitaksoihin.

## 5 Tietokonegrafiikan illuusion nykyiset käyttökohteet

### 5.1 Mainokset

Televisiota katsellessa tietokoneella tehtyä grafiikkaa näkee taatusti yleisimmin mainoksissa. Niissä hyödynnetään realistisia 3D-mallinnuksia herättämään asiakkaisissa mielenkiintoa sekä toisaalta kustannustehokkuuden takia. Mainoksien tekeminen on paljon kalliimpaa kuin elokuvien tekeminen, verrattuna etenkin siihen, kuinka lyhytkestoinen lopullinen tuote yleensä on. Siksi kaikki mahdolliset säästötoimet on käytettävä hyväksi.

Automainokset ovat erinomainen esimerkki siitä, kuinka innovatiivisesti 3D-grafiikkaa voidaan käyttää hyväksi nykyisessä tuotemarkkinoinnissa. Nykyään kaikkien autojen muodot, toiminta ja pienimmät yksityiskohdat suunnitellaan hyödyntäen tietokoneavusteisia suunnitteluohjelmistoja eli CAD-ohjelmia. Näillä ohjelmistoilla autoista luodaan 3D-malleja, joita voidaan käyttää suoraan myös mainosvideoiden tekemisessä. Tämä antaa autovalmistajille mahdollisuuden tehdä mainos tuotteestaan ja markkinoida sitä ennen kuin yksikään varsinainen auto on edes valmistettu, koska suunnittelupöydästä tullut 3D-mallinnus on jo valmiina. Mainonnan ja yleisen markkinoinnin kustannukset saadaan myös pidettyä alhaisina, eikä autoja välttämättä tarvitse valmistaa ennakkoon varastoihin, vaan tuotteet valmistetaan ainoastaan silloin kun niitä on tilattu.

Mainoksissa käytetyn tietokonegrafiikan kehitys on vaikuttanut peruuttamattomasti myös elokuvantuotantoon, sillä muun muassa ensimmäinen liikkeentunnistuksen alkumuodoista keksittiin lyhyen mainoksen käyttöön. Mikäli 80-luvun puolivälissä teki tietokoneella tuotettua grafiikkaa sisältävän mainoksen, ei 3D-mallien tekeminen myöskään ollut mitään helppoa. Ei voinut vain ostaa jotain tähän sopivaa ohjelmistoa, jolla pystyisi vaivattomasti mallintamaan kaikki tarvittavat 3D-mallit, koska yleisesti käytettyjä ohjelmistoja ei yksinkertaisesti ollut edes olemassa. Kaikki ohjelmistot tuli siis kirjoittaa ja ohjelmoida itse alusta lähtien. Jokainen tehty ohjelmisto oli tehty yleensä vain yhtä tiettyä mainosta varten, mikä tarkoitti taas sitä, että mainoksien työstäminen tulisi erittäin kalliiksi. Jo varhaisimpien tietokoneella tehtyjen mainosten budjetit saattoivat olla tästä syystä miljoonien dollarien luokkaa. Mutta jos aikomuksena oli käyttää kymmeniä miljoonia kustantamaan lähetysaikaa tälle mainokselle, eivät yhden miljoonan dollarin

tekokulut paljon painaisi lopullisessa budjetissa. Koska mainoksien tekemiseen käytettiin enemmän rahaa kuin sen ajan elokuvaan, uraa uurtava kehitystyö tietokonegrafiikan teknologian alalla tehtiin yleensä aina ensin mainostoimistojen puolella ennen tekniikan siirtymistä elokuvantuotannon käyttöön. [19.]

## 5.2 Elokuvat

### 5.2.1 Tähtien sota: Episodi II – Kloonien hyökkäys

George Lucasin tieteiselokuvasarjan uudemman trilogian toinen osa oli jokseenkin eräänlainen virstanpylväs tietokonegrafiikoiden käytössä elokuvissa. Se oli ensimmäinen elokuva, jonka kohtaukset kuvattiin lähes totaalisesti vihreän taustan edessä eli käyttäen hyväksi chroma keytä ja jossa kaikki asiat yksinkertaisesti tehtiin digitaalisesti tietokoneella. 3D-grafiikkaa hyödynnettiin jopa siinä määrin, että oikeista näyttelijöistä tehtiin digitaaliset kaksoisolennot, jotka korvasivat oikeat henkilöt kokonaan joissakin kohtauksissa aika samaan tapaan kuten perinteiset sijaisnäyttelijät muissa elokuvissa. [20.]

Elokvassa on esimerkiksi eräs taistelukohtaus, joka sisältää varsin akrobaattisia tempuja, joita hahmon oikea näyttelijä, 80-vuotias Christopher Lee ei enää pystynyt tekemään. Tässäkin tapauksessa jouduttiin turvautumaan digitaalisesti animoituun stunttikopioon, joka teki kohtauksen hankalimmat osat ja Leen kasvot asetettiin tietokoneella jälkikäteen tähän kopioon. [20.]

Voidaan olla montaa mieltä siitä, oliko elokuvan efekteissä enää realismin pohjaa, mutta elokuvalla oli kuitenkin suuri merkitys digitaalisen elokuvantuotannon edistymiselle. Mielestäni elokuva on myös hyvä esimerkki siitä, mitä liiallinen digitaalisten tehosteiden käyttö voi saada aikaan.

### 5.2.2 Avatar

Avatarissa ohjaaja James Cameron on nostanut liikkeentallennuksen aivan uudelle tasolle elokuvaa varten kehitellyllä kamerakypäräjärjestelmällä, joka kuvaa pienellä kasvojen edessä olevalla kameralla koko ajan näyttelijöiden kasvoja heidän esiintyessään.

Kaikki pienimmätkin eleet pystytään tällöin tallentamaan tietokoneelle. Järjestelmä ei perustu enää niinkään merkkipisteisiin tai kuvanmukaiseen liikkeentallennukseen vaan kaikki kasvokameralta saatu tieto menee sellaisenaan suoraan tietokoneella tehtyyn animaatioon. Mitä enemmän tietokoneella joutuu luomaan animaatiota alusta lähtien ja täten arvuuttelemaan, miten näyttelijät ovat todellisesti liikkuneet ja elehtineet, sitä kauemmas ajaudutaan näyttelijöiden todellisesta roolisuorituksesta. Tämän takia Avatarin animaattoreille annettiin tiettyjä rajoitettuja vaihtoehtoja siitä, mitä he saivat animoida, jotta näyttelijöiden roolityö pysyisi mahdollisimman muuttumattomana. Tietenkin esimerkiksi elokuvassa esiintyvien ihmismäisten na'vi-hahmojen suurien korvien ja häntien liikkeet oli pakko animoida lähes täysin tietokoneella, koska ihmisten liikkeistä ei näihin saa minkäänlaista referenssiä. [21.]

Eräs varsin mullistava ominaisuus Avatar elokuvassa oli, että siinä käytettiin ensimmäisen kerran uudenlaista niin sanottua virtuaalikameraa. Virtuaalikamera pystyy tuomaan tietokoneella luodun 3D-ympäristön osaksi elokuvan kuvaussessiota paljon realistisemmin kuin koskaan aiemmin, sillä se mahdollistaa tietokoneella tehdyn 3D-maailman katsemisen kuvauksen aikana reaaliaikaisesti. Siinä yhdistyvät tavallaan normaalin videokameran monipuolisuus virtuaalilasien ominaisuuksiin. [22.]



Kuva 27. James Cameron käyttämässä virtuaalikameraa. [22.]

Virtuaalikameran toiminta perustuu liikkeidentallennusjärjestelmässä käytettäviin kameroihin ja niiden kykyyn paikallistaa virtuaalikamera todellisessa kuvausympäristössä ja



verrata tätä asemaa tietokoneella luodun maailman sijaintiin. Virtuaalikamerassa ei ole linssiä eikä sillä voi nähdä todellista ympäristöä ollenkaan, mutta sen näyttöön ilmestyy reaaliajassa näkymä siitä tietokoneella luodusta maailmasta, joka katsojan pitäisi nähdä. Toimintaperiaatetta voisi kuvailla siten, että 3D-ohjelmistossa oleva kameranäkymä on pystytty tuomaan oikeaksi reaalimaailman kameraksi. Virtuaalikameralla kuvatessa aikaansaadaan erittäin elävän tuntuista kuvamateriaalia, joka ei tunnu yhtään tietokoneella luodulta, koska kameran liikkeet eivät enää perustu tietokoneella tehtyihin jäykkiin kamera-ajoihin. Sen käyttäminen tosin vaatii valtavien suunnitelmien tekoa ennen elokuvaa, sillä 3D-mallien raakaversioiden tulee olla valmiita virtuaalikameran käyttöön jo ennen varsinaisten kuvausten aloittamista. [22.]

Reaaliaikainen 3D-mallien prosessointi on tullut osaksi elokuvateollisuutta uusien keksintöjen myötä. Simul-cam on yksi näistä. Simul-cam on kamera, joka yhdistää virtuaalikameran toiminnan tavalliseen videokameraan. Avatar-elokuvan tapauksessa ei tosin myöskään käytetty tavallista videokameraa vaan paljon edistyksellisempää 3D-kameraa (Fusion Camera System). Virtuaalikameran ja 3D-kameran yhdistelmästä tehtiin Simul-cam, jossa hyödynnetään tekniikkaa, joka vastaa suurelta osin laajennetun todellisuuden toimintaperiaatetta. Kameralla kuvatessa näkee siis linssin läpi normaalisti, mutta tietokone prosessoi kuvattua materiaalia reaaliajassa ja lisää tähän kuvaan halutut 3D-mallit kuvan 28 mukaisesti, ja kääntelee niitä tarpeen mukaan, mikäli kameraa liikutellaan. Väriavainnuksen käyttäminen muuttuu myös aivan toisenlaiseksi elokuvan kuvauspaikalla, koska kamerasta katsottaessa ei enää nähdä vain tylsää vihreää taustaa, vaan taustanäkymät jatkuvat saumattomasti tehdyllä 3D-maailmalla. Kuvausvaiheesta tulee täten paljon interaktiivisempi tapahtuma, ja elokuvassa olevaan digitaaliseen grafiikkaan pystytään vaikuttamaan paljon enemmän kuin aikaisemmin. 3D-mallit eivät enää ole jälkikäsittelevaiheessa tehtäviä ”staattisesti” elokuvaan liimattavia efektejä



Normaali näkymä kameralinssistä

Simul-cam aktiivisena

Kuva 28. Simul-camin toimintaperiaate käytännössä (Na'vi hahmo). [22.]

vaan niiden tekeminen siirtyy esituotantoon. Tämä mullistaa digitaalisen grafiikan käyttämisen ja kuvaamisen täydellisesti elokuvissa, koska 3D-maailmat ja -hahmot muistuttavat enemmän todellisen maailman lavasteita ja oikeita ihmisiä kuin koskaan aikaisemmin. [23.]

### 5.3 Virtuaalimaailmat

#### 5.3.1 Lisätty todellisuus

Niin sanottu lisätyn todellisuuden (augmented reality) tekniikka tarkoittaa oikeiden asioiden ja virtuaalisen materiaalin yhdistämistä siten, että ne toimivat interaktiivisesti keskenään reaaliajassa. Lisättyä todellisuutta hyödynnetään monenlaisissa eri paikoissa, ja se on yksi 3D-tuotannon aloista, joka on herättänyt runsaasti kiinnostusta useissa eri ihmisissä. Uusia käyttökohteita lisätylle todellisuudelle keksitään koko ajan lisää, kuten elokuvan tekemiseen kehitetty Simul-cam, josta kerrottiin Avatarin yhteydessä. [9, s. 24.]

Upouusissa autoissa ja lentokoneissa eräänlaisia lisätyn todellisuuden sovelluksia ovat esimerkiksi erilaiset head up -näytöt, jotka välittävät tärkeitä tietoja suoraan kuljettajan näkökenttään projisoimalla nämä tiedot tuulilasiin tai hävittäjälentokoneen tapauksessa pilotin kypärässä olevalle näytölle. Tämänkaltaisilla sovelluksilla voidaan parantaa turvallisuutta keskeisten ajotietojen ollessa nopeasti nähtävissä, koska silmien ei tarvitse siirtyä eikä muuttaa kohdennusta kauko- ja lähietäisyyden välillä. Mahdollisia muita käyttökohteita voivat olla vaikkapa kolmiulotteiset tuote-esitteet, sisustussuunnittelu tai suunniteltujen rakennusten sijoittaminen virtuaalisesti tuleville paikoilleen.

#### 5.3.2 Simulaattorit

Virtuaaliset simulaattorit ovat 3D-grafiikan sovelluksia, jotka muistuttavat eniten tietokonepelejä, koska niissä ihmisen interaktiivinen vaikuttaminen tähän käytettyyn grafiikkaan on hyvin korostetussa asemassa. Armeija tarvitsee virtuaalisia simulaattoreita kouluttaakseen sotilaita ja tietääkseen varmasti, että he ovat valmistautuneet tositoimiin. Kaikista koulutussimulaattoreista on aina hyvä yrittää tehdä mahdollisimman realistisia, jottei mikään osa-alue tule yllätyksenä koulutettavalle, kun hän siirtyy vastaanvaan oikeaan reaali maailman ympäristöön. Armeijan tapauksessa simulaattoreita voivat

olla koneiden ja laitteiden opetusympäristöt, kuten lentokone- tai panssariajoneuvosi-  
mulaattorit.

Googella Earthin 3D-palvelua voisi kutsua myös eräänlaiseksi maailmasimulaattoriksi, koska sillä pystyy menemään mihin tahansa päin maailmaa ja näkemään näiden paikkojen 3D-mallinnukset. Tällä hetkellä aivan kaikista paikoista ei löydy hyviä 3D-malleja, mutta suurimmista kaupungeista ainakin pystyy selvästi erottamaan, minkälaisia ne todellisuudessa ovat. Google Earthin palveluihin kuuluu lisäksi valokuvaan perustuva 3D-kaupunkisimulaattori, jolla kykenee ainakin täällä kotimaassa pääkaupunkiseudulla löytämään oman kotiosoitteensa melko varmasti. Tulevaisuudessa Google aikoo taatusti parantaa 3D-maailmasimulaattoriaan ja ehkä valokuvaan perustuvat kuvat kaupungeista yhdistetään tähän koko maailman kattavaan simulaattoriin.

## **6 Yhteenveto**

Realistinen 3D-grafiikka pyrkii rikkomaan tietokoneella luotujen asioiden täydellisyyden ja muistamaan ettei todellinen maailma ole koskaan virheetön. Mutta miksi esimerkiksi elokuvantuotannossa halutaan tehdä realistista materiaalia? Haluavatko ihmiset luoda oman maailmansa, jossa kaikki unelmat ovat mahdollisia ja missä voi tehdä aivan mitä haluaa ilman estoja tai sääntöjä? Vai halutaanko vain noudattaa luonnon meille määrittämiä lakeja ja tehdä realistista materiaalia tämän takia? Tähän on vaikea löytää vastausta. Täydellisen kopion luominen todellisesta maailmasta ei tuskin koskaan ole mahdollista, vaikka ei sitä tietenkään ikinä tiedä, mitä uusia ihmeellisiä teknologioita keksintöjä ihmiset saavat aikaan. Samalla tavalla kuten matkustamista kuuhun pidettiin silkkana tieteistarina sata vuotta sitten, voidaan yhtä hyvin pystyä kehittämään mitä uskomattomimpia virtuaalimaailmoja, jotka vastaavat täysin todellista maailmaa.

Kaikessa tietokoneella tehtävässä 3D-tuotannossa on kuitenkin huomattavissa, että pyritään vähentämään tarvittavaa jälkikäsittelyvaihetta ja yritetään tuoda mallintaminen osaksi esituotantoa. Tämä näkyy niin elokuvantuotannossa kuin muissa yleisissä 3D-mallien tekemisissäkin. Lisätyn todellisuuden erilaiset ratkaisut tulevat olemaan varmasti eniten kehittyvä 3D-ala.

Demovideota tehdessäni pystyin toteamaan, että realistiseen tietokonegrafiikkaan pyrkien tulee huomioida erittäin paljon erilaisia elementtejä 3D-malleissa, eikä välttämättä kaikkien asioiden muistamisen jälkeenkään pystytä saavuttamaan täydellistä realistisuutta. Työprosessi vie myös todella paljon aikaa. Lisäksi täytyy hallita lukuisten eri ohjelmien käyttäminen juuri oikeassa tarkoituksessa, koska mitään yhtä kaikissa osa-alueissa loistavaa ohjelmaa ei ole olemassa. Ohjelmistojen välinen yhteensopivuus ei myöskään aina ole niin itsestään selvää, sillä 3D-mallien tuottamista ei ole juuri standardoitu. Tosin jos haluaa ottaa varman päälle, on obj-tiedostoformaatti yleisimmin kaikissa ohjelmissa tuettuna oleva.

## Lähteet

- 1 Huomiopiste. Verkkodokumentti. Digivideo.fi.  
<<http://www.digivideo.fi/wiki/index.php/Huomiopiste>>. 6.9.2007. Luettu 8.4.2011.
- 2 Silestone – Above Everything Else. Verkkodokumentti. Third Seventh, Alex Roman. <<http://www.thirdseventh.com/index.php?/commercials/silestone/>>. 2009. Luettu 8.4.2011.
- 3 MWD Special Projects – SIGGRAPH 1998 Matte Painting in the Digital Age. Verkkodokumentti. Matte World Digital.  
<[http://www.matteworld.com/projects/siggraph\\_1.html](http://www.matteworld.com/projects/siggraph_1.html)>. Luettu 8.4.2011.
- 4 Mattingly, David B. The Digital Matte Painting Handbook. Wiley Publishing, Inc., 2011. Indianapolis, Indiana.
- 5 MattePainting - The Lord of the Rings: The Two Towers. Verkkodokumentti. Picture property of New Line Cinema. <<http://www.dusso.com/>>. Luettu 8.4.2011.
- 6 Mori, Masahiro. The Uncanny Valley. Verkkodokumentti. CogSci-2005 Workshop: Toward Social Mechanisms of Android Science.  
<<http://www.androidscience.com/theuncannyvalley/proceedings2005/uncannyvalley.html>>. Käännetty Karl F. MacDorman ja Takashi Minato, 2005. Luettu 8.4.2011.
- 7 Outo laakso. Verkkodokumentti. Wikipedia.  
<[http://fi.wikipedia.org/wiki/Outo\\_laakso](http://fi.wikipedia.org/wiki/Outo_laakso)>. 16.1.2011. Luettu 8.4.2011.
- 8 Behind the Scenes Look at the Motion Capture Technology Used in AVATAR. Verkkodokumentti. Avatar Blog. <<http://avatarblog.typepad.com/avatar-blog/2010/05/behind-the-scenes-look-at-the-motion-capture-technology-used-in-avatar.html>>. 20.5.2010. Luettu 8.4.2011.
- 9 Puhakka, Antti. 3D-grafiikka. Talentum, 2008.
- 10 How many frames per second can the human eye see? Verkkodokumentti. 100fps.com.  
<[http://www.100fps.com/how\\_many\\_frames\\_can\\_humans\\_see.htm](http://www.100fps.com/how_many_frames_can_humans_see.htm)>. Luettu 8.4.2011.
- 11 Motion blur. Verkkodokumentti. Wikipedia.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Motion\\_blur](http://en.wikipedia.org/wiki/Motion_blur)>. 7.4.2011. Luettu 8.4.2011.
- 12 Frame rate. Verkkodokumentti. Wikipedia.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Frame\\_rate](http://en.wikipedia.org/wiki/Frame_rate)>. 4.4.2011. Luettu 8.4.2011.
- 13 Chroma key. Verkkodokumentti. Wikipedia.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Chroma\\_key](http://en.wikipedia.org/wiki/Chroma_key)>. 10.4.2011. Luettu 11.4.2011.

- 14 ZBrush Plugins: Image Plane 4. Verkkodokumentti. Pixologic.  
<<http://www.pixologic.com/zbrush/downloadcenter/zplugins/>>. Luettu 11.4.2011.
- 15 Crysis Color-Bleeding test. YouTube-video.  
<<http://www.youtube.com/watch?v=G7CbTXuG7SE>>. Luettu 11.4.2011.
- 16 Ratcliff, Trey. Costa Rica. Verkkodokumentti. Travel photography blog: Stuck in customs. <<http://www.stuckincustoms.com/category/travel/costa-rica/>>. 26.3.2009. Luettu 18.4.2011.
- 17 Ambience (sound recording). Verkkodokumentti. Wikipedia.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Ambience\\_%28sound\\_recording%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Ambience_%28sound_recording%29)>. 7.2.2011. Luettu 11.4.2011.
- 18 Niculescu, Armand. The Software used in the making of Avatar. Verkkodokumentti. Twinpixels. <<http://www.twin-pixels.com/software-used-making-of-avatar/>>. 11.1.2010. Luettu 11.4.2011.
- 19 Wright, Steve. How CGI in Commercials Changed the History of Film. Verkkodokumentti. A Creative COW Magazine Extra.  
<<http://magazine.creativecow.net/article/how-cgi-in-commercials-changed-the-history-of-film-a-creative-cow-magazine-extra>>. Luettu 21.4.2011.
- 20 Star Wars Episode II: Attack of the Clones. Verkkodokumentti. Wikipedia.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Star\\_Wars\\_Episode\\_II:\\_Attack\\_of\\_the\\_Clones](http://en.wikipedia.org/wiki/Star_Wars_Episode_II:_Attack_of_the_Clones)>. Luettu 21.4.2011.
- 21 Avatar: Interview with James Cameron. YouTube-video. Discovery News, Jorge Ribas. <<http://www.youtube.com/watch?v=Vt-XCDjyDNs>>. Ladattu 12.1.2010. Luettu 8.4.2011.
- 22 Making of Avatar dokumentit ja haastattelut. DVD. Avatar Extended Collector's 6 Disc Edition.
- 23 The Technology Behind Avatar (Movie). Verkkodokumentti. Techsource, Jun Auza. <<http://www.junauza.com/2010/01/technology-behind-avatar-movie.html>>. 27.1.2010. Luettu 8.4.2011.

## Tuotantokäsikirjoitus

<b>Tuotantokäsikirjoitus</b> Projekti: Illusion of CGI Screen ID: 1000		Sivun nro: 1
		<b>Tiedostot:</b> <b>Kuvat/grafikka</b> 1 valkoiren.png 2 tolkki.png 3 varjo.png 4 kettin.png 5 <b>Äänet</b> 1 Taustamusikki - 2 Sunnet Voimat 3 Ambience - 4 tuulta + liinan liverystä <b>Videot</b> 1 Kohtaus 0-1.22 H 2 Tolkipätkä.mpeg 3 4
<b>Tekstimateriaali:</b> Kommentti: 3D-mallinnettu colatölkki		
<b>Kuvauksen näkökulma ja tapahtumasta:</b> Raskaideoista valittava mahdollisimman tarkka ja hitaimmin heiluva otos.		
<b>Toiminta:</b> 1 Fade valkoisesta videon 2 Kuva heilun keinun mukana 3 Kamera kääntyy oikealle näyttäen keinun sirupöydän 4 Sirupöydällä on CGI-tölkki 5		
<b>Rakenne ja navigointi:</b>		
<b>Animaatiojaksot ja tiedostot:</b>		
<b>Lisäselvitykset:</b> Sunnet Voimat on Äänitys 5. k1. var. Ambience on 0025. MTS.		

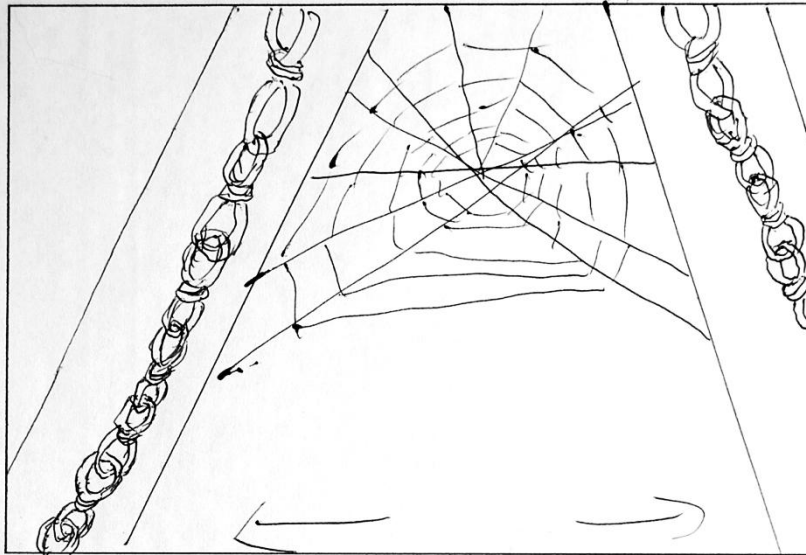


**Tuotantokäsikirjoitus**

Projekti: Illusion of CGI

Screen ID: 1001

Sivun nro: 2



**Tiedostot:**

**Kuvat/grafiikka**

1 valkoisron.png

2 \_\_\_\_\_

3 \_\_\_\_\_

4 \_\_\_\_\_

5 \_\_\_\_\_

**Äänet**

1 Taustamusiikki -

2 Sunnet Voimat

3 Ambience -

4 haulta + linann

lienerryks

**Videot**

1 kohtaus 0-1 ad2

2 \_\_\_\_\_

3 \_\_\_\_\_

4 \_\_\_\_\_

**Tekstimateriaali:**

**Kuvaus näymästä ja tapahtumasta:** Keinun ketjut heiluvat kun saittaja iskee keinnossa. Tarkennus ketjuihin. Häimähäkinseitti lantion välissä.

**Toiminta:**

1 Kameran tarkennus ketjuihin.

2 Ketjut heiluu → keinu heiluu

3 Fade valkaiseen

4 \_\_\_\_\_

5 \_\_\_\_\_

**Rakenne ja navigointi:**

**Animaatiojaksot ja tiedostot:**

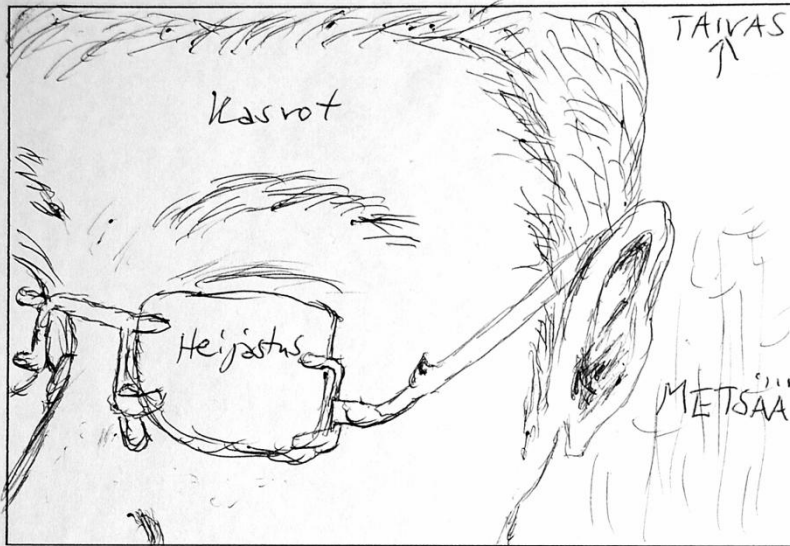
**Lisäselvitykset:** Sunnet Voimat on Äänitys 5\_k1.wav.

Ambience on 00025.MTS.

**Tuotantokäsikirjoitus**

Projekti: Illusion of CGI  
Screen ID: 1002

Sivun nro: 3



**Tiedostot:**

**Kuvat/grafiikka**

- 1 valkoisen.png
- 2 3d\_psa\_0000.png
- 3 paa\_tuotus.psd
- 4 \_\_\_\_\_
- 5 \_\_\_\_\_

**Äänet**

- 1 Taustamuusikk-
- 2 Sunnet Voimat
- 3 Ambience -
- 4 tausta + liianh

**Videot**

- 1 paa\_dep
- 2 \_\_\_\_\_
- 3 \_\_\_\_\_
- 4 \_\_\_\_\_

**Tekstimateriaali:** Komenttiä kokonaisu tietokoneella tehty ihmisiä.

**Kuvaus näkymästä ja tapahtumasta:** Ihmispään 3D-mallin esimerkki. Taustalla erittäin sumeana olera metsä sekä taivas yöllä kääntyessä.

**Toiminta:**

- 1 Kuvaus alkaa silmän läheisyydestä
- 2 Zoomaus kauemmas ja pään kääntymisen
- 3 Lopuksi kamera kääntyy yöllä ja taustalla
- 4 näkyy taivasta.
- 5 Ehdä valkoiseen

**Rakenne ja navigointi:**

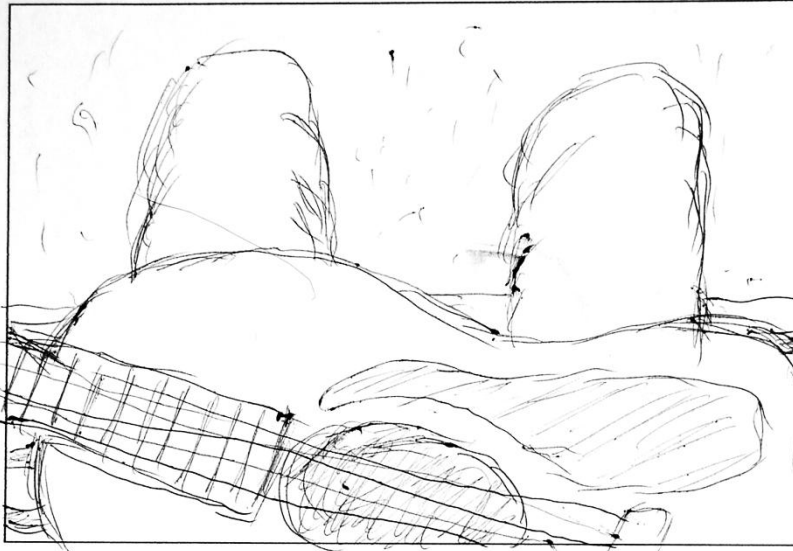
**Animaatiojaksot ja tiedostot:**

**Lisäselvitykset:** Sunnet Voimat on Äänitys 5 k1.wav.  
Ambience on 0025.MIS.

**Tuotantokäsikirjoitus**

Projekti: Illusion of CGI  
Screen ID: 1003

Sivun nro: 4



**Tiedostot:**

**Kuvat/grafiikka**

- 1 \_\_\_\_\_
- 2 \_\_\_\_\_
- 3 \_\_\_\_\_
- 4 \_\_\_\_\_
- 5 \_\_\_\_\_

**Äänet**

- 1 Taustamusiikki
- 2 Sunret Voice
- 3 Ambience
- 4 Tulta + liinan  
liverroyst

**Videot**

- 1 kohta 2-5: MTS
- 2 \_\_\_\_\_
- 3 \_\_\_\_\_
- 4 \_\_\_\_\_

**Tekstimateriaali:**

**Kuvaus näymästä ja tapahtumasta:** Soittaja soittaa kitaran. Tarkennettu kitaralla olevan käteen, joka liikkuu.

**Toiminta:**

- 1 Käsi liikkuu → sormet soittaa kitaran
- 2 Keino heiluu
- 3 Cross-fade seuraavaan kohtaukseen, joka on toisen
- 4 käden liike
- 5 \_\_\_\_\_

**Rakenne ja navigointi:**

**Animaatiojaksot ja tiedostot:**

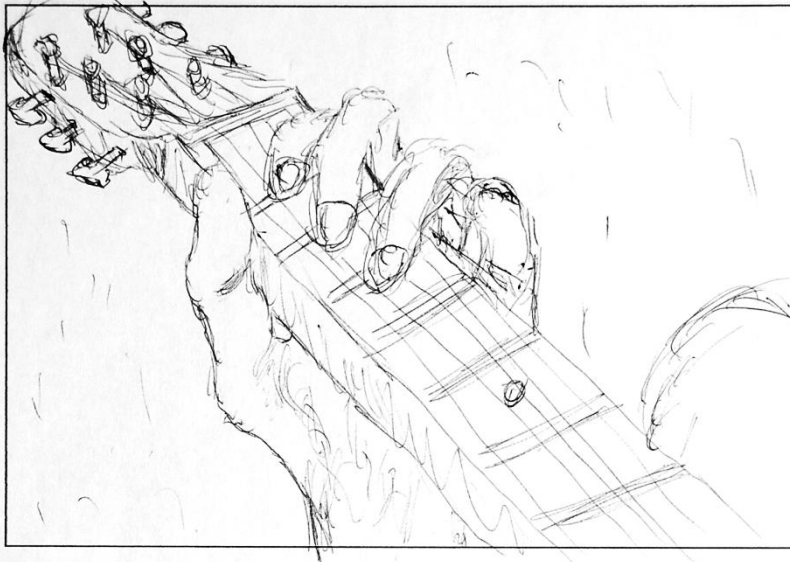
**Lisäselvitykset:** Sunret Voice on äänitys 5 kitaran. Ambience on 0025.MTS. Nauhoituksessa ei välttämättä musiikkia mukana.

**Tuotantokäsikirjoitus**

Projekti: Illusion of CGI

Screen ID: 1004

Sivun nro: 5



**Tiedostot:**

**Kuvat/grafiikka**

1 valkoinen.png

2 \_\_\_\_\_

3 \_\_\_\_\_

4 \_\_\_\_\_

5 \_\_\_\_\_

**Äänet**

1 Tahti musiikki -

2 Suuret Voimat

3 Ambience -

4 tunkka + linnun  
liverryys?

**Videot**

1 kohta 2-5

2 \_\_\_\_\_

3 \_\_\_\_\_

4 \_\_\_\_\_

**Tekstimateriaali:**

**Kuvaus näymästä ja tapahtumasta:** Kamera kulkee kitaran varsi pitkin vasempaan käteen.

**Toiminta:**

1 Kitara kantaa pitkin liikkua kamera

2 Vasen käsi liikkuu → soittaa kitaran

3 Fake valkoiseksi

4 \_\_\_\_\_

5 \_\_\_\_\_

**Rakenne ja navigointi:**

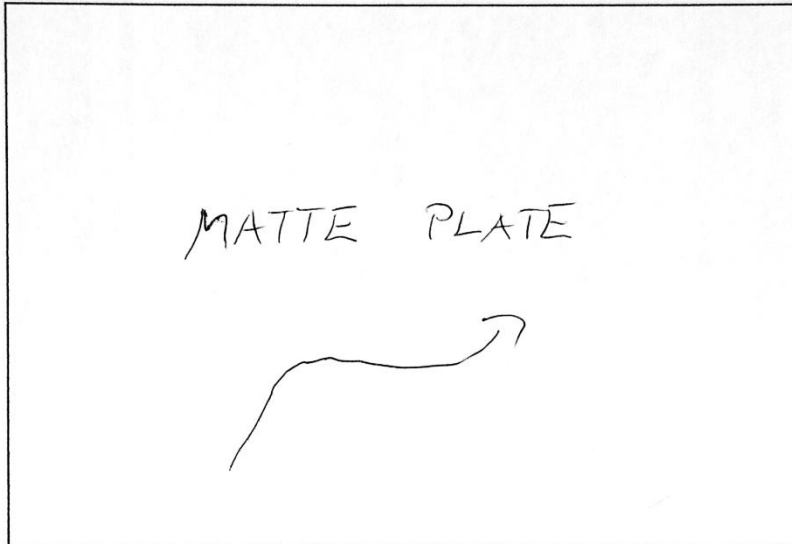
**Animaatiojaksot ja tiedostot:**

**Lisäselvitykset:** Suuret Voimat on Äänitys 5-k1.wav Ambience on 00025.MIS. Musiikki ei ole valittu matkalla kuvauksen mukana.

**Tuotantokäsikirjoitus**

Projekti: Illusion of CGI  
Screen ID: 1005

Sivun nro: 6



**Tiedostot:**

**Kuvat/grafiikka**

1 matteplate.psd

2 \_\_\_\_\_

3 \_\_\_\_\_

4 \_\_\_\_\_

5 \_\_\_\_\_

**Äänet**

1 Taustamusiikki -

2 Suuret Voimat

3 Ambience -

4 tahti + linnan  
liveorgani-

**Videot**

1 matreshot.aep

2 \_\_\_\_\_

3 \_\_\_\_\_

4 \_\_\_\_\_

**Tekstimateriaali:** Kommentit: - Matte painting plate  
- Alkuperäinen linnan kuvan yhdistelmä

**Kuvaus näymästä ja tapahtumasta:** Matte painting taustajonon tehdään  
kamera-ajoi.

**Toiminta:**

1 Kamera-ajoi voi mahdollisesti liikkua ylös/alas

2 \_\_\_\_\_

3 \_\_\_\_\_

4 \_\_\_\_\_

5 \_\_\_\_\_

**Rakenne ja navigointi:**

**Animaatiojaksot ja tiedostot:**

**Lisäselvitykset:** Suuret Voimat on Äänitys 5. t. var.

Ambience on 01025.MTS.

**Tuotantokäsikirjoitus**

Projekti: Illusion of CGI  
 Screen ID: 1006

Sivun nro: 7

Loppu teksti t

**Tiedostot:****Kuvat/grafiikka**

- 1 taustat.png
- 2 loppu teksti -
- 3 tausta.png
- 4 \_\_\_\_\_
- 5 \_\_\_\_\_

**Äänet**

- 1 Taustamusiikki -
- 2 Rainy Day
- 3 \_\_\_\_\_
- 4 \_\_\_\_\_

**Videot**

- 1 title-loppu teksti
- 2 \_\_\_\_\_
- 3 \_\_\_\_\_
- 4 \_\_\_\_\_

**Tekstimateriaali:****Kuvaus näymästä ja tapahtumasta:****Toiminta:**

- 1 Loppu teksti t nousevat hitaasti ylöspäin
- 2 \_\_\_\_\_
- 3 \_\_\_\_\_
- 4 \_\_\_\_\_
- 5 \_\_\_\_\_

**Rakenne ja navigointi:****Animaatiojaksot ja tiedostot:**

- Lisäselvitykset:** Rainy Day on äänitys 14-k2.wav. Tästä on mahdollisesti työkäyttöä videosta.

### **Liitteenä olevan CD:n sisältö**

- Demovideo
- Demovideo kommenttien kanssa, josta selviää mitkä osat on tehty tietokoneella