



Tyylittely 3D-grafiikassa

Viestintä
3D-animointi ja -visualisointi
Opinnäytetyö
24.5.2010

Sakari Hakkarainen

Koulutusohjelma		Suuntautumisvaihtoehto	
Viestintä		3D-animointi ja -visualisointi	
Tekijä			
Sakari Hakkarainen			
Työn nimi			
Tyyllittely 3D-grafiikassa			
Työn ohjaaja/ohjaajat			
Kristian Simolin			
Työn laji	Aika	Numeroidut sivut + liitteiden sivut	
Opinnäytetyö	24.5.2010	35+1	
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia tyylliteltyä 3D-animaatiota. Ideana oli saada aikaan tuotantolinja, jonka avulla tyyllitellyn animaation tekeminen 3D-grafiikan tekniikoita hyväksikäyttäen olisi helppoa ja nopeaa. Läpikäytyt aiheet ovat hahmon mallinnus ja teksturointi, animointi sekä lopullisen ulkoasun luominen. Mukana on myös video, josta näkee tekniikoiden toimivuutta liikkeessä, sekä selkeytän asioita joita tekstillä ja kuvilla on vaikea tuoda esiin.</p> <p>Työssä vertaillaan tekniikoita niin perinteisemmän 3D-animaation kuin käsin piirretyn animaation parista, sekä tutkitaan mitkä tekniikat sopivat parhaiten halutun ilmeen aikaansaamiseksi. Parhaiden tekniikoiden löydyttyä voitiin tehdä johtopäätöksiä siitä millä tavalla animaation tuotannossa tietyt asiat pitää ottaa huomioon.</p> <p>Lopuksi voitiin todeta, että animaatio koostuu lopulta aina vain kuvista, ja niiden luominen on käytettyä tekniikkaa tärkeämpää. Tämän takia animaatio kannattaa luoda kätevimpiä tekniikoita käyttäen, olivat ne sitten mistä animaatiotyylissä tahansa lähtöisin. Tekniikoiden yhteistä käyttöä siis suositellaan.</p>			
Teos/Esitys/Produktio			
Tyyllittely 3D-animaatio. Animaatiotestejä. DVD-rom. Toteutus: Sakari Hakkarainen.			
Säilytyspaikka			
Metropolian kirjasto, Tikkurilan toimipiste			
Avainsanat			
3D-animaatio, mallinnus, renderöinti, animointi			

Degree Programme in Media		Specialisation 3D animation and visualisation
Author Sakari Hakkarainen		
Title Stylization in 3D-graphics		
Tutor(s) Kristian Simolin		
Type of Work Bachelor's Thesis	Date 24 th May 2010	Number of pages + appendices 35+1
<p>The point of this thesis is to study stylization in 3D-graphics, and how it could be produced in the most efficient manner. A sort of pipeline investigation. The subjects of this thesis are modelling, texturing and animation, as well as rendering and compositing of a stylized character. Included is also a video that shows certain effects in movement, as well as clarifies certain things which are difficult to portray through pictures and text only.</p> <p>The thesis compares techniques from traditional 3D-animation and hand drawn animation, and investigates which techniques from these two distinct ways of animation helps best to achieve the style we are looking for. After testing and going through these techniques, we can see what we should take into account while doing a stylized animation.</p> <p>In the end we can conclude by noting that animation in its simplest form is just a collection of pictures, and the techniques used are not as important as the end result. This means we really should utilize all the most effective techniques while making an animation, no matter what kind of a background a technique would have.</p>		
Work / Performance / Project Stylization in 3D-graphics. Animation tests and techniques. DVD-rom. Produced by Sakari Hakkarainen.		
Place of Storage Metropolia Library, Tikkurila Unit		
Keywords 3D-animation, modeling, rendering, animating		

SISÄLLYS

SISÄLLYS	1
1. Johdanto	2
2. 3D-grafiikka	4
3. Hahmon luonti	6
3.1 Tekstuurit	8
3.1.1 UV-koordinaatit	9
3.1.2 Maalausohjelmat	9
3.1.3 Ptex	9
4. Animaatio	12
4.1 Työskentelytapojen hyviä ja huonoja puolia	12
4.1.1 Käsien piirretty animaatio	13
4.1.2 Kolmiulotteinen animaatio	13
4.2 Kuvanopeus	13
4.3 Animaatio tyylinä	15
4.4 Animaatiotesti	19
5. Kameran käyttö ja taustat	20
6. Ulkoasu	22
6.1 Varjostus	23
6.2 Heittovarjot	28
6.3 Jälkityö	31
7. Pohdintaa lopuksi	32
Lähteet	35
Liitteet	

1. Johdanto

Animaatiota tehdään nykyään käsin piirrettynä, kuten sitä on jo pitkän aikaa tehty, tai tietokoneella kolmiulotteista grafiikkaa hyväksi käyttäen. Pitkän aikaa 3D-animaatio oli kuitenkin aivan liian kallista yleiseen käyttöön, mutta ohjelmien ja tietotaidon yleistyessä sen sovellukset ovat laajentuneet huimaa vauhtia. Tästä syystä 3D-grafiikalla tehtyjä tv-sarjoja ja elokuvia on alkanut ilmestymään kiihtyvää tahtia. Mutta siinä missä käsin piirrettyjen sarjojen ilmeet vaihtelivat tyyleitään erittäin paljon, ovat 3D-animaatiot tuntuneet jäävän yhteen samaan muottiin.

Tämän vuoksi käsittelen opinnäytetyössäni tyyllitelyä 3D-grafiikkaa. Tyyllitelyä grafiikkaa ovat toki myös Pixarin ja muiden isojen animaatiostudioiden animaatiot, mutta ne pohjautuvat kuitenkin oikean maailman ilmiöihin tavalla tai toisella tekniikassaan. Tarkoitin tyyllitetyllä grafiikalla sellaista graafista jälkeä, joka ei niinkään näytä 3D-grafiikalta, vaan enemmän käsin maalatulta tai piirretyltä jäljeltä. Ideana on löytää tekniikoita, joilla taiteilijan on helpompi saada oma näkemyksensä siirrettyä 3D-maailmaan, ilman että työ näyttää selkeästi 3D-grafiikalta. Etsin siis tekniikoita joita on yksinkertaista tehdä, sekä korjata ja muokata jälkeenpäin, koska tällaista tyyllitellyssä animaatiossa tarvitaan.

Vuonna 2007 teimme koulussa Nelonen tv-kanavalle jatkuu tunnukset hyvin piirrosmaiseen tyyliin. Yksi syy siihen miksi itse myös ajoin tällaisen tyylin käyttöä, oli se, että tunsin, että taitomme ryhmänä eivät olisi silloin riittäneet realistisempaan ja vaativampaan tyyliin. Projektin AD:mme piirsi erittäin hienot kuvat hahmoista piirrosmaisella tyyllillä, ja pyrimme pitämään jälkemme mahdollisimman paljon tämän

tyylisenä. Käytimme myös jälkityössä muutamassa otteessa 2D-grafiikkaa tiettyjen asioiden hoitamiseen, joka toimi tällaisessa tyylissä erittäin näppärästi.

Aloin tämän projektin jälkeen miettimään hieman enemmän tällaisen tyylin käyttöä, ja sitä kuinka tällaista tyyliä voisi käyttää sekä omien ideoideni tuomiseen 3D-ympäristöön, että tuomaan hieman väriä ja erilaisuutta 3D-grafiikan ilmeeseen.

Yksi lisäsyys tällaisten tekniikoiden tutkimiselle on budjetti. Nykyiset 3D-tekniikat vaativat paljon aikaa ollakseen hienon näköisiä, aikaa, jota monissa tuotannoissa, kuten omissanikaan, ei ole. Animaatioissa elokuvatasolla laadukas piirretty ja 3D-animaatio ovat samalla tasolla, eli hienon näköisiä, mutta halpa 3D ja piirretty animaatio tuntuvat ainakin omasta mielestäni olevan täysin eri luokkaa. Animaatiossa ja jäljessä tuntuisi olevan jotain laadullisesti pielessä. Kyseessä ei mielestäni ole myöskään animaattoreiden taitoerot eri aloilla, vaan tekniset seikat, joita animaatioiden tekijät eivät ehkä ole ajatelleet yhtä tarkasti kuin olisivat voineet. Jostain syystä halvalla budjetilla on aina lähdetty matkimaan kalliiden elokuvien jälkeä, vaikka siihen ei millään voida tällä hetkellä yltää. Kompromisseja on pakko löytää, ja tuntuu että nykyisissä sarjoissa kompromissit on löydetty aivan vääristä kohdista. Omasta mielestäni selkeästi ulkoasua tyyllittelemällä voidaan animaatiota tehdä paljon halvemmalla ja paremman näköisenä, kuin mitä 3D-sarjat ovat tällä hetkellä. Pitää vain päästä eroon nykyisestä 3D-grafiikan käsitteestä ja miettiä teknisiä asioita hieman eri tavalla.

Käyn työssäni läpi tyylliteltyä 3D-grafiikkaa kahdesta näkökulmasta. Ensinnäkin tällainen tyyli vetoaa itseäni enemmän kuin perinteinen 3D-grafiikka, sekä ajatuksena on tehdä tutkimustyötä omaa lyhytanimaatiotani varten. Käyn läpi hahmon mallinnuksen animaatiokuntoon, sekä tutkin hieman hahmon animaatiota, mutta tärkeimpänä osana tutkin miten tyylliteltyä jälkeä voisi 3D-grafiikalla saada aikaan, niin 3D-ohjelman puolella, kuin jälkityöskentelyssä. Käyn jokaisen työvaiheen läpi tyylliteltyä lopputulosta ajatellen. Käytän työssäni Autodesk Maya, Adobe After Effects ja Adobe Photoshop nimisiä ohjelmia, mutta tekniikat joita käyn läpi eivät ole millään tavalla sidoksissa tiettyyn ohjelmaan, vaan ovat yleisiä tekniikoita, joita voi helposti soveltaa moniin eri ohjelmiin.

Lopputuloksena työstäni ei ole niinkään tarkoitus saada mitään valmista ja täysin esityskelpoista materiaalia, vaan lähinnä erilaisia testejä, sekä valaistusta siitä, mitkä tekniikat ovat parempia, ja mitkä mahdollisesti huonompia 3D-animaatiota tyylliteltyä

tehdessä. Eräänlainen tuotantolinjatutkimus on siis kyseessä. Ohessa on kuitenkin myös video, jossa näkee tiettyjä testejä liikkeessä, ja josta jotkin vaiheet saattavat tulla esille kuvia ja tekstiä selkeämmin (Liite 1).

Koska 3D-grafiikan termeistä ei ole oikein kunnollisia suomenkielisiä vastineita, ainakaan sellaisia mitkä oikeasti olisivat yleisesti käytössä, käyn jokaisen uuden termin läpi nopeasti aina kun sellainen tulee vastaan.

2. 3D-grafiikka

Kolmiulotteisella grafiikalla on perusilmeensä, josta ei pitkään päästy eroon, jos nyt on vieläkin. Esimerkkinä voidaan ottaa TV-sarja *Reboot*, joka alkoi vuonna 1994. Aikanaan hienon näköinen sarja on nykyään yksinkertaisen näköinen, mutta verrattuna uudempiin 3D-animaatiosarjoihin, eroa on mielestäni yllättävän vähän. Voimme verrata vuosien 1994 ja 2008 sarjoja oheisista kuvista (Kuva1 ja Kuva2). Tämä ero tuntuu hyvin pieneltä varsinkin kun katsoo kuinka paljon grafiikka on elokuvapuolella kehittynyt esimerkiksi ensimmäisestä *Toy Story*sta (USA, 1995), joka itselleni toi 3D-grafiikan kunnolla tutuksi.



Kuva 1. Reboot TV-sarja vuodelta 1994. (Kuva: YTV films 1994)



Kuva 2. Esimerkki nykyisten 3D-animaatiosarjojen tasosta. *Sid the science kid* (USA, 2008).
(Kuva: Jim Henson Productions 2008)

Ison budjetin 3D-animaatiot ovat hienon näköisiä, ja lähenevät jo sitä mihin taiteilijat aluksi ovat pyrkineetkin, mutta helppoa ja nopeaa tällainen jälki ei ole. Tällaisessa grafiikassa käytetään kaikenlaisia uusia tekniikoita, kuten valonsäteiden ponnahtusten ja materiaalin läpäisemisen laskemista, tuodakseen oikean maailman oikeita fyysisiä ilmiöitä esiin. Tällainen on kuitenkin aikaa vievää, ja taitoa vaativaa, varsinkin jos kuitenkin pyritään tyyliteltyyn piirrosmaiseen jälkeen. Toki taiteilijat ajattelevat myös tällaisia asioita kuvia piirtäessään, mutta tyyliteltyssä jäljessä näitä pitäisi piirtämisen tavoin tehdä helposti muokkaamalla taiteilijan mielipiteen, eikä oikean maailman sääntöjen mukaan. Tämä on itselläni ollut sellainen asia, mitä 3D-grafiikkaan olen kauan jo kaivannut. Lähdetään siis tutkimaan miten tyyliteltyä grafiikkaa voisi tehdä muilla tavoin!

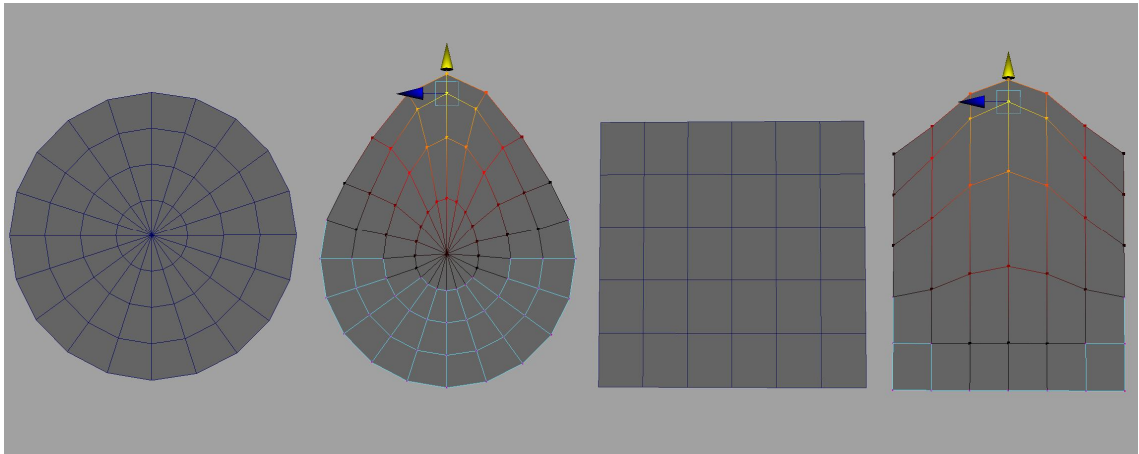


Kuva 3. Pixarin *Up* (USA, 2009) elokuvan tasoista jälkeä ei saada aikaa vielä helposti eikä nopeasti. (Kuva: Pixar 2009)

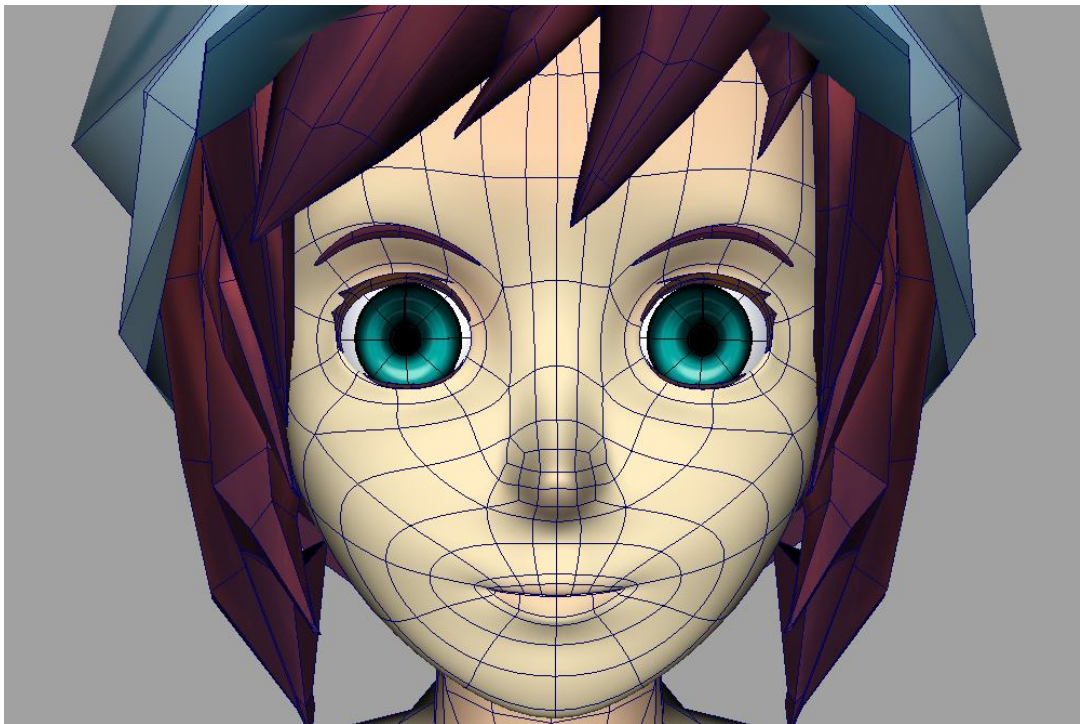
3. Hahmon luonti

Hahmomallinnus tehdään jotakuinkin samalla tavalla kuin muissakin tapauksissa, joten en käy tätä aihetta työssäni läpi hirveän tarkasti. Siluetti ja tekstuurit ovat kuitenkin tyyliteltyssä hahmossa pääosassa, koska varjostusta ei välttämättä saada toimimaan tällaisessa hahmossa helposti halutulla tavalla.

Topologia on 3D-malleissa tärkeä asia animaation kannalta. Topologialla tarkoitetaan 3D-mallin rakennetta, joka siis koostuu pinnoista, eli polygoneista, jotka luodaan kolmen tai useamman 3D-avaruuteen sijoitettujen pisteiden, eli verteksien, välille. Koska animaatio tapahtuu näitä pisteitä siirtämällä, täytyy polygonien välisten viivojen, eli edgen, muotoutua oikein mallin pinnan mukaan. Täytyy katsoa että edget eivät mene poikittain eivätkä pisteet pakkaudu liian tiukkaan animoidessa, jotta vältetään oudoilta artefakteilta ja kupruilta geometriassa. Edgejen luomaa yhdistettyä ympyrää kutsutaan edgeloopiksi. Nämä edgeloopit ovat tärkeitä hahmoa mallintaessa, koska ympyrä muotona joustaa kaikista parhaiten paljon animoituvissa kohdissa, kuten esimerkiksi suun ja silmien ympäryksissä.



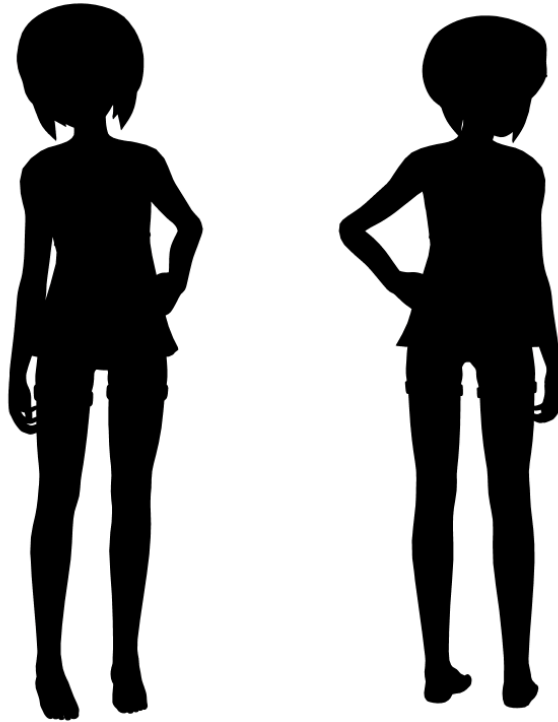
Kuva 4. Ympyrä joustaa muodoista parhaiten, jonka takia edgeloopien järkevä käyttö on tärkeää.



Kuva 5. Kasvojen topologiassa pyritään seuraamaan kasvojen lihasten rakennetta. Tällöin ilmeet saadaan näyttämään luontevimmilta. Edgeloopit mallinetaan lihasten suuntien mukaan, jolloin ne kestävät suurempaakin venyttelyä.

Tyyliteltyssä hahmossa siluetin on hyvä olla helposti tunnistettava, koska se vähentää muualla hahmossa olevan yksityiskohtan tarvetta. Hahmon yksityiskohdat eivät näy kaukaa, ja erilaiset valaisutilanteet saattavat vaikuttaa hahmon väreihin, mutta siluetti on yksi asia, joka hyvin harvoin muuttuu (Meowza 2007). Halvalla tehdyssä

animaatiossa tätä voidaan käyttää myös apuna yksinkertaistaa hahmoja niin paljon kuin mahdollista, kunhan siluetti pystyy lukemaan helposti ja tunnistettavasti.



Kuva 6. Hyvä siluetti lisää hahmon tunnistettavuutta, sekä vähentää laskentatehoja ja aikaa vaativan varjostuksen tarvetta.

3.1 Tekstuurit

Toinen tärkeä asia tyylitellyssä hahmossa ovat tekstuurit. Ne ovat tärkeässä asemassa, varsinkin jos ei ole aikaa mallintaa erittäin yksityiskohtaisia malleja. Yksityiskohtaisen mallin tekemiseen ei mene pelkästään huomattavasti aikaa, mutta hahmon muokattavuus, esimerkiksi hahmon vaatteiden vaihdot tai muut ulkoiseen olemukseen värillä tai tekstuurilla vaikuttavat asiat, esimerkiksi vaatteiden likaantuminen, ovat paljon hankalampia tehdä. Tämän lisäksi mallin animointivalmiiksi saattaminen on myös paljon raskaampaa, ja koska tarkoituksena ei ole käyttää hirveän erikoisia shadereita, eli varjostuksen laskevia ohjelman komponentteja, nopeuden vuoksi, on helpompaa käyttää tekstuureita tärkeimpänä yksityiskohtien tuojana. Tämä voi toki myös näkyä hahmosuunnittelussa, jossa yksityiskohdat voidaan pitää minimissään.

Tekstuurien maalaamisen voi nykyään tehdä muutamallakin tavalla, mutta muutama perusasia on aina sama.

3.1.1 UV-koordinaatit

Jotta kaksiulotteinen kuva saadaan käärittyä kolmiulotteisen mallin päälle, tarvitaan kuvan ja mallin välille jonkinlainen tapa kertoa mikä kohta kuvasta kuuluu mihinkin kohtaan mallista. Tämän asian hoitavat UV-koordinaatit. UV-koordinaatit kertovat missä kohti kolmiulotteisen mallin verteksit ovat kaksiulotteisella pinnalla, ja asettavat näiden mukaan kuvan värit oikealle kohdalleen.

UV-koordinaatit eivät kuitenkaan synny toimiviksi automaattisesti, vaan hyvät ja käytettävät UV-koordinaatit täytyy luoda itse. Tätä helpottamaan on tehty monia erilaisia apukeinoja, mutta monimutkaisen mallin unwrappaaminen, eli UV-pisteiden levittäminen järkeväksi pinnaksi vie yhä jonkin verran aikaa. Algoritmit osaavat tehdä jo suhteellisen hyviä unwrappauksia, mutta nekään eivät aina voi tietää miten tekstuurit halutaan maalata, jonka takia käsityötä on lähes aina pakko tehdä jonkin verran. (van der Byl 2006)

3.1.2 Maalausohjelmat

Kun UV-koordinaatit on luotu, voi tekstuureja maalata valitsemallaan ohjelmalla. Photoshop on varmaan yksi suosituimmista ja käytetyimmistä ohjelmista, mutta joitakin juuri 3D-mallin maalaamiseen tarkoitettujakin ohjelmia löytyy. Näistä tosin melkein jokainen on alunperin muuhun tarkoitukseen luotuja ohjelmia, kuten 3D-animaatio ohjelmien lisäosia tai erittäin tarkkojen 3D-mallien muovailuun tarkoitettuja ohjelmia. Esimerkkejä tällaisista ohjelmista ovat muumuassa Bodypaint 3D, 3D coat, Zbrush ja Mudbox. Piakkoin ilmestyvä Mari, joka on ollut käytössä suurissa tuotannoissa kuten Avatar, on tällä hetkellä ensimmäinen ohjelma joka on varta vasten luotu vain 3D-mallien maalaamista varten.

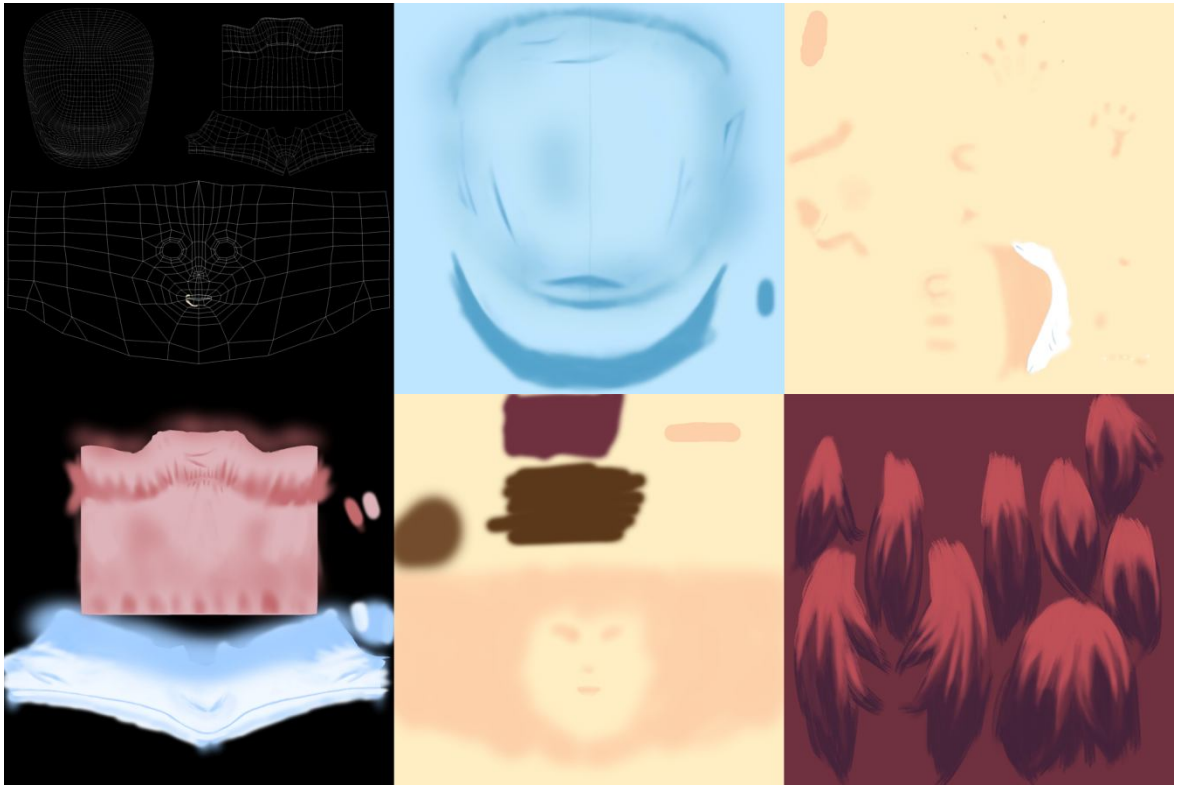
3.1.3 Ptex

Ptex, eli per-face texture mapping, on Disney'n animaatiostudioiden luoma teknologia, jonka on tarkoitus viedä tekstuurien maalaamisesta UV-koordinaatit kokonaan pois. UV-koordinaattien tekeminen on aina ollut hieman ikävää ja tylsistyttävää puuhaa monen mallintajan tai tekstuurien maalaajan mielestä, joten tällainen teknologia on tervetullutta. Ptex toimii siten, että bittikartta jaetaan osiin mallin polygonien mukaan.

Tällöin jokainen polygoni saadaan helposti muutettua kaksiulotteiseen avaruuteen, ja on heti valmis maalattavaksi. Tekstuurin osasten saumat saadaan hävitettyä Ptexin teknologialla, ja se mahdollistaa myös tiettyjen polygonien tekstuurin resoluution kasvattamisen sujuvasti. Tämän tekniikan voi tavata kaupallisissa 3D-ohjelmissa piakkoin.

3D-mallien maalaaminen kolmiulotteisessa avaruudessa on yleensä pysähtynyt Photoshopin suosioon, ja siihen faktaan, että harva haluaa tehdä tekstuureja ilman sitä. Paine päästä maalaamaan kolmiulotteisessa avaruudessa on kuitenkin kasvamassa niin suureksi, ilman että Adobe on saanut Photoshopiin mitään tämän kaltaista, että kilpailevat ohjelmat ovat saamassa markkinarakoa yhä kasvavaa tahtia. Tulevista ja nykyisistä ohjelmista Mari tuntuu olevan se, jolla on eniten mahdollisuuksia syrjäyttää Photoshop tärkeimpänä tekstuurien maalaussoftana, varsinkin suuremmissa tuotannoissa.

Itse tein UV-koordinaatit hahmoon perinteisellä UV-unwrap taktiikalla, lähinnä käsin, tosin toki hieman automaatiota käyttäen. Hahmoni ei kuitenkaan ole hirveän monimutkainen, joten mitään suurempia ongelmia en kohdannut. Itse tekstuurit maalasinkin Photoshopilla, joka teki maalaamisesta hieman hankalaa, koska unwrapatun tekstuurin ja kolmiulotteisen mallin suhdetta on välillä vaikea havainnollistaa. Jonkin verran kokeilin Mudboxia tekstuurien maalaamisessa, mutta opettelukynnys ja tekniset ongelmat sotivat sitä vastaan.



Kuva 7. Hahmon tekstuurit maalattuna UV-koordinaattien mukaan. Vasemmassa yläkulmassa muutamia UV-koordinaatteja, joita käytetään tekstuurien sijoittamisen apuna.



Kuva 8. Tyylitelty hahmo luottaa paljon tekstuureihin. Teksturoitu hahmo ilman varjostusta.

4. Animaatio

Animaatio on aina animaatiota, mutta sitäkin voi tehdä erilaisilla tavoilla tai tyyliellä. Karkeasti sanottuna eri animaatiot voitaneen ehkä jakaa kahteen ryhmään, halpaan ja kalliiseen animaatioon. Kalliilla animaatiolla tarkoitetaan animaatiota joka on tehty rauhassa, suurella budjetilla, ja nopeaa kuvanopeutta ajatellen. Halvempi animaatio on taas tehty tehokkuutta ajatellen. Itse pyrin löytämään tavan tehdä animaatiota tehokkaasti ja tyylikkäästi. Animaation arvoa voidaan mitata esimerkiksi jokaisen elokuvaminuutin tai jopa yksittäisen kuvan hintaa tarkastelemalla. Yleisesti jaettuna kalleilla animaatioilla tarkoitetaan kokoillan pitkiä animaatioelokuvia, ja halvoilla tv-sarjoja ja suoraan kaupan hyllyille päätyviä animaatioita. Esimerkkinä voimme verrata Disneyn *Lilo & Stitch* (USA 2002) elokuvan miljoonan dollarin minuuttibudjettia, *Simpsonit* tv-sarjan noin 55,000 dollarin minuuttihintaan (Graeber 2009). Tästä näemme, että näiden animaatioiden maailmat ovat hyvinkin erilaisia.

Animaatioissa on siis selvästi suuria eroja, joten käydään seuraavaksi läpi näitä eroja hieman tarkemmin, ja tutkaillaan mitä hyötyä tietyistä tekniikoista on ylipäänsä tyylliteltyä animaatiota tehdessä, sekä mitkä tekniikat voisivat säästää aikaa, vaivaa ja rahaa tyylliteltyä animaatiota tehdessä.

4.1 Työskentelytapojen hyviä ja huonoja puolia

Kolmiulotteisen animaation ja käsin piirretyn animaation tekemisessä on suuria eroja, ja niissä on sekä hyviä ja huonoja puolia toisiinsa verrattuina.

Minun on opinnäytetyössäni tarkoitus tutkia hieman kumpaakin animointitapaa 3D-animaatioympäristössä, ja yhdistää näistä hyvistä puolista tehokas työskentelytapa, jonka päällimmäinen idea olisi nimenomaan tehokkuus, mutta pitäen kuitenkin samalla ulkoasun mahdollisimman tyylikkäänä. Tähän mennessä käsinpiirretyt ja kolmiulotteiset animaatiot ovat eläneet hyvin paljon omissa maailmoissaan, vaikka niillä voisi olla paljon annettavaa toisilleen. Animaatiossa on lopuksi kuitenkin kyse vain kuvasarjasta, jossa tekniikalla ei ole väliä, ja vaikka animaation tekeminen käsin ja 3D-ohjelmassa on hyvin erilaista, jotain hyödyllistä voimme oppia näitä vertailemalla.

4.1.1 Käsien piirretty animaatio

Käsien piirretyn animaation ehdottomin vahva puoli on sen välittömyys. Jos halutaan jotain tapahtuvan, voidaan se välittömästi piirtää paperille. Realismin rajojen rikkominen kaikessa on yhtä vaivatonta kuin sen piirtäminen. Jos hahmon pään halutaan esimerkiksi muuttuvan teepannuksi, niin kynä vain käteen ja hommiin. Tämä vaatii tietenkin taitoa jokaiselta animaattorilta, mutta toisaalta animaatioalalla kaikki vaatii taitoa. Välittömyys on kuitenkin myös kaksiteräinen miekka. Toisaalta kaiken saa nopeasti eteenpäin piirtämällä, mutta muutosten tullessa eteen, täytyy nekin piirtää alusta alkaen uusiksi. Esimerkiksi kamerakulman muutos vaatii koko animaation uudelleenpiirtämistä.

4.1.2 Kolmiulotteinen animaatio

Kolmiulotteisen animaation vahvin puoli on sen muokattavuus. Asioiden valmisteleminen on hitaampaa kuin käsien piirretyssä animaatioissa, mutta muutosten tekeminen esimerkiksi jo valmiiksi animoituun hahmoon on helpompaa. Kuvakulman vaihtaminenkin onnistuu helposti ilman koko animaation uudelleen tekemistä. Hahmoja liikutellaan rakentamalla tälle ensin luurangon. Tälle luurangolle kerrotaan kuinka 3D-mallin pisteet liikkuvat luiden mukana, ja luurangolle tehdään kontrolliohjeita, jotta animaattorilla on vain tärkeimmät objektit esillä joita hän animoi. Tätä luurangon tekemistä, ja sen animaatiokuntoon saattamista kutsutaan riggaamiseksi. Huonona puolena välittömyys ei kuulu 3D-animaatiomaailmaan. Kaikki täytyy suunnitella huolella etukäteen, ja valmisteleminen menee huomattava määrä aikaa. Jos animaattori keksiikin animoida jotain, mitä hahmon ei ole ajateltu tekevän, voidaan joutua ongelmiin joiden korjaaminen ei olekaan niin helppoa.

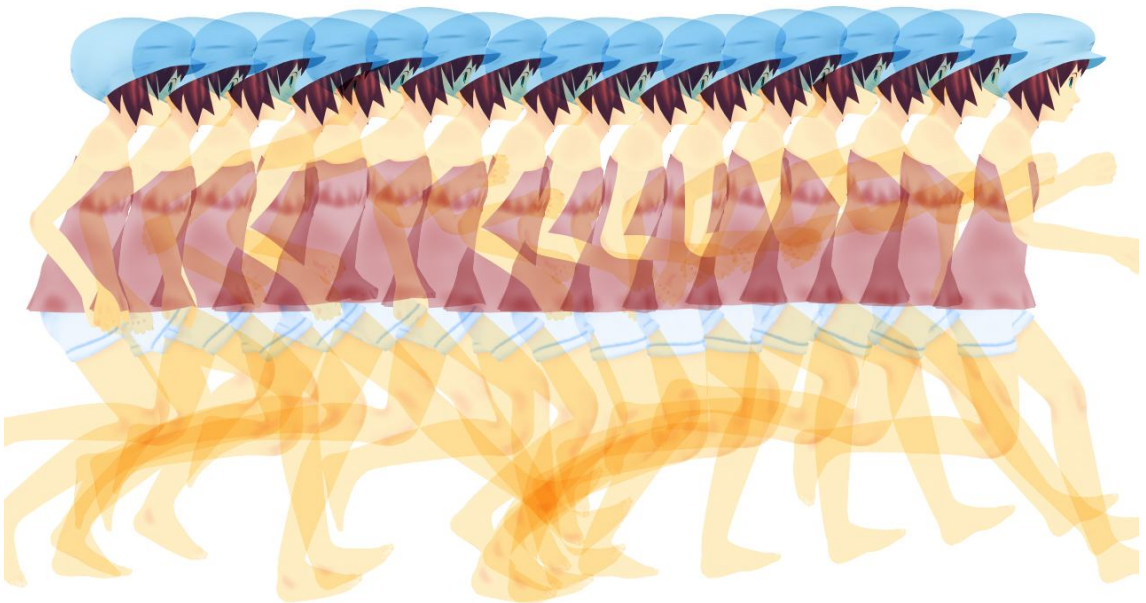
4.2 Kuvanopeus

Kuvanopeus on yksi suurimmista eroista halvan ja kalliin animaation välillä. Kuvan tekeminen kun aina maksaa, joten mitä vähemmän kuvia, sen halvempaa on myös animaation tekeminen. Filmin nopeus on 24 kuvaa sekunnissa, joten tämä on tietenkin yleisin kokoillan animaatioelokuvien käyttämä nopeus, ja kalliit animaatiot animoidaan yleensä jokaista kuvaa käyttäen, eli animaatioon tarvitaan liikkuvia kuvia 24 kuvaa sekunnissa. Halvemmat animaatiot ovat yleensä tv yleisöä varten, jossa on tekniikoista

riippuen ollut käytössä 25 tai noin 30 kuvan sekuntinopeus (PAL ja NTSC). Television animaatioita ei kuitenkaan yleensä animoida käyttäen jokaista kuvaa, vaan käytössä on usein kaksoiskuvat. Tämä tarkoittaa sitä, että animaation jokainen kuva toistetaan kaksi kertaa, tarviten tällöin vain 12 piirrosta sekunnissa. Nämä 12 kuvaa toistetaan kahteen kertaan, jolloin päästään helposti tavoitenopeuteen. (Whitaker & Halas 2009, 1).



Kuva 9. Juoksuanimaatio 12 kuvaa sekunnissa.



Kuva 10. Juoksuanimaatio 24 kuvaa sekunnissa

Yllä olevista kuvisa huomaa selkeästi erot kuvanopeuksissa, ja siitä työmäärästä joka käsinpiirretyssä animaatiossa olisi kyseessä. 3D-animaatiossa tietokoneella voidaan laskea puuttuvat kuvat, ja tuoda animaatiot helposti mille tahansa kuvanopeudelle, mutta tässä on huonojakin puolia.

Tärkeimmissä kuvissa luuranko asetetaan juuri siihen asentoon mihin se halutaan, mutta näiden kuvien välille tietokone pystyy laskemaan liikkeen automaattisesti. Tästä syystä lähes kaikki 3D-animaatiot animoidaan jokaista kuvaa käyttäen, eikä kaksoiskuvilla. Tässä kuitenkin on myös halpojen 3D-animaatioiden suurin ongelma. Rahaa ei riitä animaation hiomiseen läheskään yhtä kauan kuin elokuvissa, jolloin suuri osa välikuvista joudutaan jättämään kokonaan tietokoneen hoidettavaksi. Tietokone ei kuitenkaan ymmärrä animaatiosta mitään, vaan laskee välikuvat täysin matemaattisten algoritmien pohjalta, jolloin tulos ei ole niin silmää miellyttävä kuin täysin suunniteltu animaatio. Normaalisti animaattori säätää animaatiota muuttamalla pääkuvien välisiä kurveja mieleisekseen, jotta liike saadaan toimimaan hyvin. Tietokone on lopulta vain suuri laskin, joka ei taiteellisesta puolesta ymmärrä mitään. Tulos on kuitenkin usein monien mielestä hyväksyttävä, mutta paljon parempaankin voi päästä. Jos 3D-animaation animoi kaksoiskuvina 12 kuvaa sekunnissa, voidaan olettaa, että päästäisiin paljon parempaan tulokseen, koska tällöin liikaa kuvia ei jää tietokoneen laskettavaksi, vaan rahaa ja aikaa riittää paljon paremmin itse animaation hiomiseen.

Animaation laatuun kuvanopeuden puolittaminen ei kuitenkaan vaikuta niin paljon kuin aluksi voisi luulla, sillä ihmisten aivot pystyvät käsittelemään puuttuvat kuvat itse. Tämän takia kuvanopeus valitaan usein budjetin mukaan, mutta voisiko sitäkin käyttää tyylikeinona?

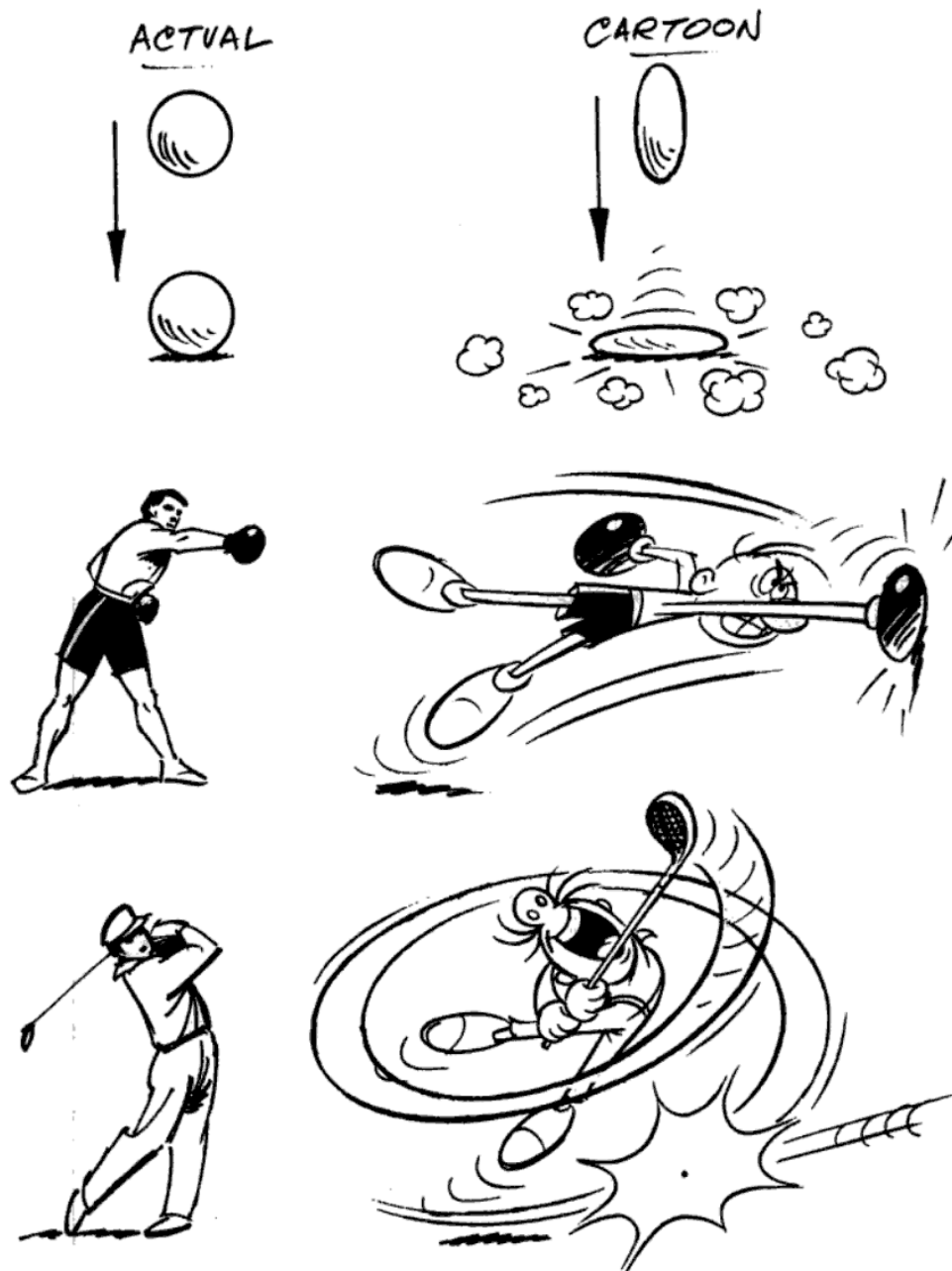
4.3 Animaatio tyylinä

Animoinnin erot eivät ole pelkästään siinä, että käsin piirretyssä animaatiossa animaatio on täysin päätetty, ja tietokoneella animaatio tehdään tietokoneen avustamana, vaan eroja on myös tyyllillisesti. Taas näin karkeasti jakaen, asioita voidaan animoida realistisesti tai hyvin tyyllitellysti. Tietty animaatiotyylit tuntuvat myös sopivan tiettyihin tekniikoihin paremmin. Realistinen animaatio on vaikeampaa käsin piirrettynä, koska oikeassa elämässä liikkuvan hahmon muoto ei muutu kauttaaltaan, vaan eri osat, kuten kädet ja jalat liikkuvat. Tämä tiettyjen asioiden pitäminen suurimmalta osalta muuttumattomana, on vaikeaa piirtää käsin. 3D-animaatiossa taas

on toisinpäin, ja sarjakuvamaisesti hyvin paljon muuttuvan hahmon tekeminen on vaikeampaa. Tämä on kuitenkin ongelmallista tyyllitellyssä hahmossa, koska tällaisessa hahmossa nimenomaan karikatyyrinen ja venyvämpi animaatio toimii paljon paremmin kuin realistinen (Whitaker & Halas 2009, 27). Toki venyvän ja hyvin karikatyyrisen hahmonkin saa tehtyä, eiväthän Pixarin elokuvatkaan täysin oikean maailman sääntöjä noudata, mutta halvalla budjetilla tämä on jo paljon suurempi haaste.

Yksi tapa millä käsin piirretyn animaation tyyliä voi tuoda 3D-grafiikkaan on animoida animaatio täysin käsin siten, että tietokone ei laske yhtään välikuvaa. Animoidessa kuva kerrallaan 3D-grafiikalla luotujen hahmojen tietty jäykkyys tuo kuitenkin haasteita, koska 3D-animaatiossa on tällöin vaarana että animaatio tuo mieleen stop motion animaatiot, eli animaatiot jotka on tehty fyysisiä malleja liikuttaen ja kuva kovalta kameralla kuvaten. Tämäkin voi tietenkin olla myös yksi tavoite tyyllillisesti, eikä tämä ole 3D-grafiikalla tehtynä edes niin haastavaa johtuen toteutustapojen samanlaisuudesta. Stop motion animaatiossa hahmoja animoidaan myös kuva kerrallaan hieman hahmoja liikuttaen. Ja näissä stop motion malleissa on yleensä hieman samanlaista jäykkyyttä.

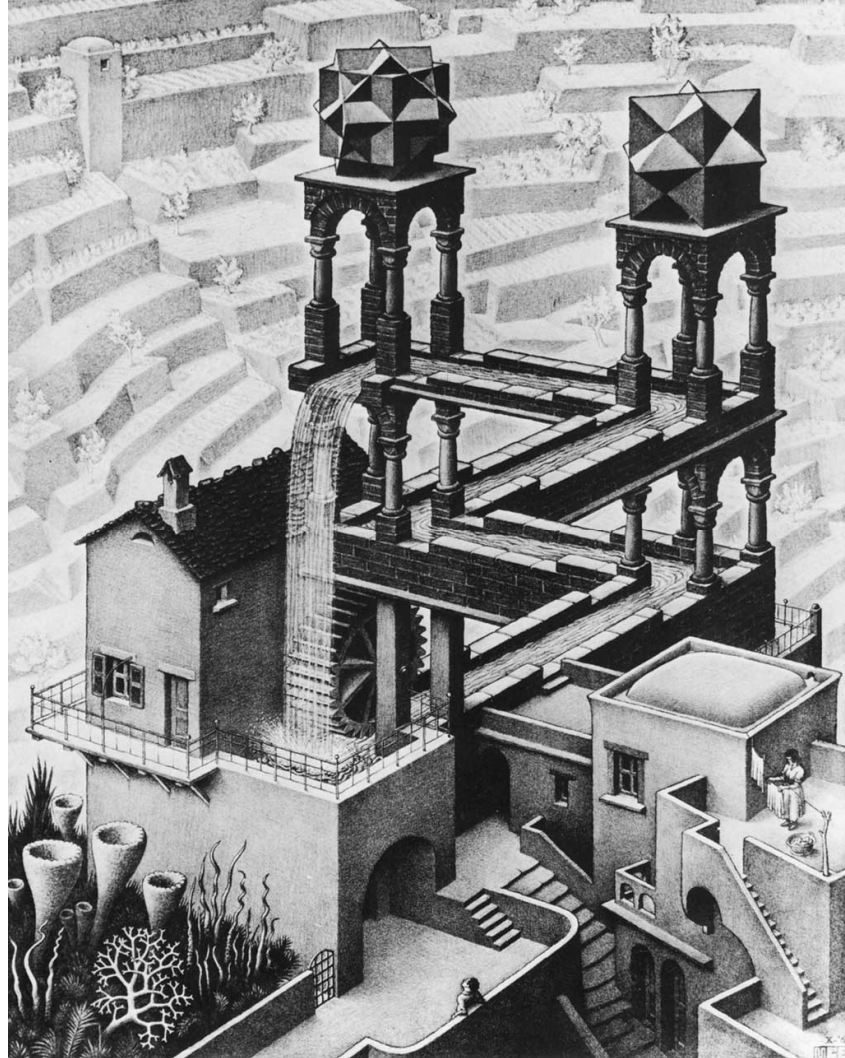
Stop motion animaatiossa hahmosta liikkuu myös vain liikkuva osa, eikä venyvyyttä ainakaan vanhemmissa tai halvemmissä tuotannoissa paljoa näe. Itse en kuitenkaan omaan animaatiooni tällaista tyyliä halua, koska se yhdistetään helposti halpaan tai vanhanaikaiseen animaatioon. Tietyissä tapauksissa tällainen tyylikeino voi kuitenkin olla tervetullutta. Syy siihen, että stop motion ja heikosti animoitu 3D-näyttävät ehkä joillekin epämiellyttävältä ja tönköltä johtuu luultavasti siitä, että ihminen on tottunut oikeassa maailmassa tarkkailemaan erittäin pieniä muutoksia asioiden, varsinkin ihmisten, liikkuessa. Jos käytössä ei ole sulavaa animaatiota tai esimerkiksi lihas-simulaatioita, voi animaatio olla tavallaan liian "kovan" näköistä. Tämän takia se myös korostuu kuva kovalta animoidussa 3D-animaatiossa, koska liike on normaalia epälinearisempaa tietokoneen laskujen puutteen takia. Piirretyssä animaatiossa asiat elävät kuitenkin kauttaaltaan joka kuvassa, jolloin luodaan illuusio näistä pienistä liikkeistä jota oikeassa elämässä tapahtuu. On siis tärkeää, että hahmossa tapahtuu jonkinlaista eloa, ja voi olla että kuva kovalta animoimista 3D-animaatiossa kannattaakin välttää, varsinkin hitaissa liikkeissä.



Kuva 11. Animoitu hahmo on parempi kun sen liikkeet on karikatyyrisiä, mutta 3D animaatio on helpompaa kun se on realistisempaa. (Kuva: Whitaker & Halas 2009, 26)

Näiden syiden takia voikin jo hieman miettiä, että tyylitellyn animaation tekeminen saattaakin itseasiassa olla vaikeampaa 3D-grafiikkaa hyväksikäyttäen, ainakin jos yritämme matkia suoraan käsin piirrettyjä tyyliteltyjä animaatioita. Jossain määrin realismissa siis kannattaa mahdollisesti pitäytyä, jos ei budjettia tai aikaa hienon ja toimivan rigin tekemiseen ole. Vaikka toisaalta tämä saattaa olla vaihe johon aikaa nimenomaan kannattaa hiukan enemmän käyttää.

Kuten aiemmin jo mainitsin, yksi ero 3D-animaation ja käsin piirretyn animaation välillä on käsin piirretyn animaation välittömyys ja vapaus. Mitä vain voidaan kuvitella, voidaan myös piirtää. Tällöin ei tarvitse esimerkiksi aina noudattaa oikeaa perspektiiviä, kuten nähdään esimerkiksi M.C. Escherin piirroksissa.



Kuva 12. M.C. Escher näytti kuvissaan kuinka piirtäessä perspektiiviä ei tarvitse aina noudattaa oikein. (M.C. Escher 1961)

Animaation maailmassa tästä on hyvä esimerkki sarjassa *Futurama*. Sarjan robottihahmo Bender on piirretty käsin niin, että hahmon visiiri näkyy takaapäin kulmista, joista se ei oikean perspektiivin mukaan voisi näkyä, mutta tyyllisesti toimii näin paljon paremmin, ja tuo hahmon selkeämmin esiin siluetin tunnistettavuuden takia. Sarjaa tehdessä tämä olikin pieni ongelma, koska Bender hahmosta käytettiin myös välillä 3D-mallia. Asia ratkaistiin visiiriä venyttämällä aina kohdissa joissa se piti saada näkyviin. (Vanzo, 2001)

Tällaisen perpektiivin vääristämisen tekeminen 3D-grafiikkaa käyttäen on hyvin hankalaa ja reilusti kalliimpaa, sekä kaiken lisäksi hieman nurinkurista, koska onhan 3D-grafiikka nimenomaan suunniteltu helpottamaan oikean perspektiivin luomista.

4.4 Animaatiotesti

Animoin juoksuanimaation kaksi kertaa sekä 12 kuvaa sekunnissa, että 24 kuvaa sekunnissa. Tarkoituksena oli katsoa millä tavalla animointiprosessi eroaisi muuttamalla vain kuvanopeutta. 12 kuvaa sekunnissa olevan animaation animoin jokaista kuvaa käyttäen, koska kyseessä oli suhteellisen lyhyt ja nopealiikkeinen animaatio, mutta 24 kuvaa sekunnissa olevaan animaation annoin tietokoneen laskea välikuvia. Lopuksi tein kummastakin jatkuvan, 24 kuvaa sekunnissa pyörivän animaation (Kuva9 ja Kuva10).

Animoidessani 12 kuvaa sekunnissa, huomasin että varsinkin nopeissa animaatioissa kuva kovalta animointi ei ole itseasiassa hirveän hidasta puuhaa, toisin kuin olin aluksi luullut. Juoksun tekeminen onnistui myös ilman suurempia vaivoja, vaikkakin hahmon jäykkyys tuotti hieman ongelmia aluksi. Tämä johtui osittain siitä, että käyttämäni rigi ei ollut hirveän monimutkainen, eikä siinä ollut laajoja asetuksia hahmon muokkaamiseen raajojen liikuttamisen ohella. Oikeita ja nopeita asentojen vaihteluita käyttäen sain hahmon juoksemaan kuitenkin ilman suurempia ongelmia.

Aloitin 24 kuvaa sekunnissa animoidun animaation tekemällä pääasentojen avaimet. Tällä kuvanopeudella en halunnut animoida jokaista kuvaa, koska silloin joutuu helposti aiemmin mainitsemani stop motion efektin uhriksi, koska vierekkäisten kuvien yhtäaikainen katseleminen ei kaikissa 3D-ohjelmissa hyvin onnistu. Tämä vuoksi on parempi animoida siten, että antaa tietokoneen ensin laskea tärkeimpien asentojen välille kuvat, ja säätää virheet jälkikäteen kuntoon. Heti alkuvaiheessa huomasin kuinka paljon enemmän työtä tämän animoiminen tulisi vaatimaan. Tarkoitus oli siis animoida sama juoksuanimaatio, jotakuinkin samassa ajassa, mutta eri kuvanopeudella. 12 ja 24 kuvan sekuntinopeuksien erot tulivat esille nopeasti. Tiuhempaan animointi lisää pienten asioiden esille tulemistä selkeästi. Juoksussa esimerkiksi painovoiman vaikutus tuli paljon tärkeämpään asemaan, kuin harvemmin animoitaessa. Käyttämällä samoja asentoja mitä 12 kuvan animaatioissa käytin, mutta muuttamalla kuvanopeuden, tuntui hahmo nyt loikkivan aivan liian kevyesti. Painon tuominen tiheämmin animoidessa oli myös paljon vaativampaa. Liike on myös helposti aivan liian lineaarista, mikä tuntuukin

olevan yksi suurimmista ongelmista. Pienen epälineaarisuuden tuomisessa luonnollisesti menikin itselläni yllättävän paljon aikaa.

Itselleni 12 kuvalla animoiminen tuntui paljon luontevammalta. Se vaati vähemmän aikaa, ja sen tuoma ilme toimii omassa tyyliässä paremmin kuin ehkä liiankin sulava 24 kuvaa sekunnissa. En kuitenkaan ole täysipäiväinen animaattori, joten varmasti muut saisivat erilaisia tuloksia aikaan, mutta aikaa 12 kuvaa sekunnissa animointi säästää taatusti kaikilta. Jäljessä ei myöskään laadullisesti eroa huomaa juuri lainkaan. Omaan animaatiooni tämä on siis se mitä käytän.

5. Kameran käyttö ja taustat

Kameran käyttö on asia jota ei usein tule pitäneeksi tärkeänä. Monella elokuvaohjaajalla on kuitenkin ollut tietty oma tyyliänsä kameran käytössä, ja animaatiossakin kameraa voi käyttää hyvin erilaisilla tavoilla. Kaksiulotteisissa animaatioissa kamera on tietenkin pysynyt hyvin kaksiulotteisissa liikkeissä, kun taas 3D-animaatioissa kameraa voi helposti liikutella kuten haluaa. Käsin piirretyissä animaatioissa ei myöskään haluta piirtää kuin välttämättä tarvittavat kuvat. TV-sarjoissa tapana on ollut, että sekuntia kohden pyritään piirtämään vain 6 kuvaa jos mahdollista (Whitaker & Halas 2009, 1). Tähän autaa myös se, että kameran liikkuminen on hillittyä. Kuvien säästäminen on myös hyvin Japanilaisten käytössä animaatioita tehdessä. He hallitsevat hyvin pysäytetyt kuvat ja tarinan kertomisen suoraan dialogin ja hyvien kuvasommitelmien kautta ilman suurta määrää animointia. Kameran liikkeen käyttö on myös tällöin hyvin tärkeää. Kameran liike tuo lisäeloa kuvalle, jossa varsinaista animointia ei ole lähes lainkaan. Suuressa käytössä tällöin on myös liikkeen ja kolmiulotteisuuden tuominen parallaksin kautta esille. Parallaksiefekti tarkoittaa sitä, että taustaelementit liikkuvat toisistaan erillään eri nopeutta, jolloin saadaan aikaan syvyysvaikutelma kaksiulotteisia kuvia käyttäen. Tätä efektiä on käytetty jo 1930-luvulta alkaen klassisissa elokuvissa Disneyn *Lumikista* alkaen. (Wikipedia)

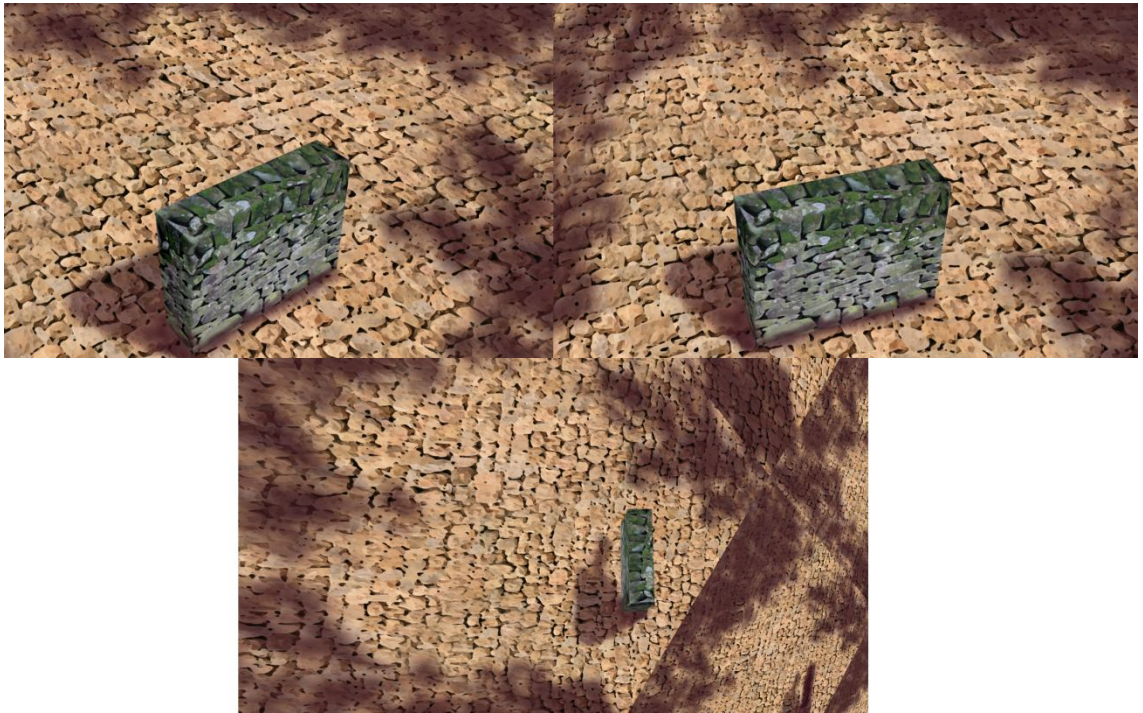
Piirrosten käyttö varsinkin taustoissa on toimiva idea yhä tänäkin päivänä. Tämä on arkipäivää käsinpiirretyissä animaatioissa, joissa itseasiassa on alettu käyttämään jonkin verran 3D taustojakin, mutta 3D-animaatioissa ainakin lähimmät taustat mallinnetaan, joka tuo lisää mahdollisuuksia kameraliikkeisiin. Mutta jos tarkoituksena on tehdä mahdollisimman tyylielty animaatio pienemmällä työmäärällä, on

kolmiulotteisia kameraliikkeitä parempi välttää, ja tällöin taustojenkin tekeminen käsin piirrettyinä on hyvä idea. Japanilainen *Oblivion Island: Haruka and the magic mirror* (Japani 2009) on hyvä esimerkki 3D-elokuvasta, jossa on käytetty paljon käsinpiirrettyjä taustoja, sekä 3D-ympäristöissä paljon käsin maalattuja tekstuureita.



Kuva 13. *Oblivion Island: Haruka and the magic mirror* elokuvassa on hyvin sekoitettu käsin maalattuja taustoja 3D-grafiikkaan. (Kuva: Production I.G, 2009)

Nykytekniikalla käsin maalattujen taustojen ei tarvitse pysyä vain kaksiulotteisessa avaruudessa. Taustan voi myös projisoida yksinkertaisen 3D-geometrian päälle, jolloin kameralla voidaan tehdä pieniä liikkeitä 3D-avaruudessa. Hirveän suurta kameraliikettä tällöin ei voida tehdä, koska projisointi tehdään kuitenkin vain yhdestä kuvakulmasta, joten liikkuviin toimintakohtauksiin tällainen ei käy, mutta useaan muuhun tapaukseen kyllä.



Kuva 14. Projektio tuo maalattuun kuvaan lisäsyvyyttä ja tilaa kameraliikkeelle (Yläriivin kuvat). Tämä ei kuitenkaan toimi jos kameraa siirtää liikaa (alhaalla).

Taustat voi myös mallintaa hieman tarkemmin, ja yksinkertaisesti tehdä tekstuurit maalauksellisesti kuten hahmon kohdalla, jolloin malleilta ei myöskään tarvita suurta määrää yksityiskohtia, koska ne voivat olla tekstuureissa. Tyyllillisessä grafiikassa taustoilta ei vaadita niin paljon varjostusta, joskus ei lainkaan, joten pelkkä hyvin tehty tekstuuri taustan objekteissa on usein aivan tarpeeksi.

6. Ulkoasu

Lopullinen animaation ulkoasu saadaan aikaan sen jälkeen kun 3D-ohjelmasta on kuvat laskettu ulos, ja jälkityö on tehty. Jälkityö on tärkeä osa animaatiotuotantoa, ja kuvia ei tulisi käyttää suoraan 3D-ohjelmasta laskettuina. Usein animaatiosta lasketaan monia eri vedoksia ja osasia erikseen, kuten esimerkiksi värit, valaistus ja varjot. Myös eri elementit ovat yleensä erillisinä osina. Tämä helpottaa jälkityöskentelyä ja antaa jälkityöskentelylle paljon enemmän mahdollisuuksia lopputuloksen kannalta.

Tyyllillisesti ulkoasu on varmaan suurin asia animaatiossa, vaikka toki itse animaatiokin määrittelee tyyliä pitkälti. Kolmiulotteinen grafiikka on kehittynyt tähän asti, ja kehittyy yhä tähdäten enemmän realismiin tavoitteluun, kuin hyvin kontrolloituun ja tyylliteltyyn

jälkeen. Tämä näkyy varsinkin siinä kuinka valo kolmiulotteista grafiikkaa tehdessä lasketaan. Valon sekundääriset ponnahtukset ja muut luonnossa tapahtuvat valon ilmiöt ovat yleensä aina mukana kalliissa elokuvissa. Nämä ovat kuitenkin yleensä liian aikaavieviä tekniikoita ollakseen käytettäviä tv-sarjoja ja muita halvempia tuotantoja tehdessä. Tämän takia valaistuksen ja varjostusten laskeminen tehdään perustekniikoita käyttäen. Tällöin grafiikka vain näyttää hyvin helposti erittäin perinteiseltä, eli samalta miltä se on näyttänyt jo parikymmentä vuotta. Vastaus nopeamman mutta silti tyylikkään grafiikan aikaansaamiseksi on tietenkin tyyllittely, ja lähteminen realismista poispäin. Toki tällaisen tuotantolinjan tekeminen vie aluksi hieman aikaa, varsinkin kun sitä on käytetty yllättävän vähän, mutta maksaa itsensä takaisin parempana jälkenä loppupeleissä. Tyyllitely grafiikka on myös hyvin nopea laskenta-ajaltaan, kun se on järkevästi tehty. Miksi laskea miten valo käyttäytyy oikeassa elämässä, kun voi keskittyä siihen, että varjostus ja valaistus vain näyttää hyvältä, keinolla millä hyvänsä.

6.1 Varjostus

Tyyllitellyissä animaatioissa tyyli tuodaan esiin suurilta osin värien, tekstuurien ja siluetin kautta, mutta varjot ja hahmojen varjostuskin pitäisi jollain tavalla saada tyyllitetyä. Kolmiulotteisen grafiikan realismipainotteisuus tulee tässäkin kuitenkin vastaan, koska varjot seuraavat tietenkin oikean elämän sääntöjä valojen ja muotojen kanssa, eikä niiden muokkaamiseen ole paljoa työkaluja. Usein voi kuitenkin käydä niin, että käytetyn mallin muodot eivät tuo juuri sellaisia varjoja kuin halutaan, ja näiden säätteleminen on yleensä mahdollista vain valoja siirtämällä.

Usein tyyllitellyssä grafiikassa käytetään niin sanottua cel-shadingia, eli suoraan suomennettuna kalvovarjostusta. Termi tulee kalvoista, joille animaatiot ennen vanhaan piirrettiin. Tämä siksi jotta hahmoa lukuunottamatta kuva olisi läpinäkyvä, ja se voitaisiin laittaa maalatun taustan päälle. Näin toimittiin analogiseen aikaan. Hahmot myös väritettiin kirkkailla ja läpikuultamattomilla väreillä, jolloin varjot olivat aina hyvin terävät, eivätkä pehmentyneet missään vaiheessa kuten oikeassa maailmassa on tapana. Digitaaliseen aikaan kun tätä jälkeä 3D-grafiikassa alettiin kopiaimaan, alettiin jälkeä kutsumaan cel-shadingiksi. Tämä tekniikka on kuitenkin myös täysin riippuvainen 3D-mallin muodoista, jolloin kuvia ei saa helposti näyttämään varjojen osalta juuri siltä miltä haluaisi. Hyvänä puolena tällaisessa varjostuksessa on se, että

varjojen ja muiden virheiden käsin korjaaminen jälkikäteen on helppoa, koska varjostus ja värit ovat hyvin teräviä ja yksinkertaisia.

Varjot hahmoissa on mahdollista myös jättää pois kokonaan tyyllitellyissä animaatioissa, kuten monissa käsin piirretyissä sarjoissa ja elokuvissa tehdäänkin. Myös Disneyn elokuvissa varjoja on käytetty yleensä vain tietyissä dramatiikkaa vaativissa kohtauksissa, kuten nähdään esimerkiksi elokuvassa *Princess and the frog* (USA, 2009).



THE PRINCESS AND THE FROG (L-R) Frog Naveen, Frog Tiana ©Disney Enterprises, Inc. All Rights Reserved.

Kuva 15. Disneyn animaatioissa varjoja ei käytetä hahmoissa läheskään joka kohtauksessa. Kuvassa Disneyn *Princess and the frog*. (Kuva: Disney, 2009)



Kuva 16. Disney käyttää varjoja kohtauksissa missä sitä vaaditaan tunnelman tuomiseksi. Kuvassa Disneyn Princess and the frog. (Kuva: Disney, 2009)

Varjostuksen muokkaamista on kyllä myös tutkittu kunnolla. Locally controllable stylized shading (Todo, Anjyo, Baxter, Igarashi, 2007) on neljän henkilön yhteistyöprojekti, jonka tekniikoita käyttämällä varjoja päästään muokkaamaan suoraan 3D-ohjelmassa. Tekniikka toimii siten, että animaatiosta otetaan muutama kuva, joissa varjostusta halutaan muuttaa, ja käytetään maalaustyökaluja näiden muutosten tekemiseksi. Näiden korjattujen kuvien perusteella tämä systeemi osaa laskea millä tavalla varjojen pitäisi liikkua jotta itse maalatut varjostukset saadaan aikaan itse animaatiossa. Varjoja voi ikäänkuin siis animoida, aivan kuten hahmoa on animoitu. Muutamien videoiden perusteella mitä tästä tekniikasta olen nähnyt, näyttäisi se toimivan kätevästi. Kaupallisista sovelluksista tätä ei voi kuitenkaan vielä ikävä kyllä löytää. Näin käy monelle työkalulla 3D-grafiikan maailmassa, ennen kuin suuret studiot kiinnostuvat niistä ja antavat ohjelmien kehittäjille tarpeaksi syitä näiden tuomiseksi markkinoille. Toivon että näemme tämän tekniikan pian markkinoilla, koska itse näen siitä olevan erittäin paljon hyötyä.

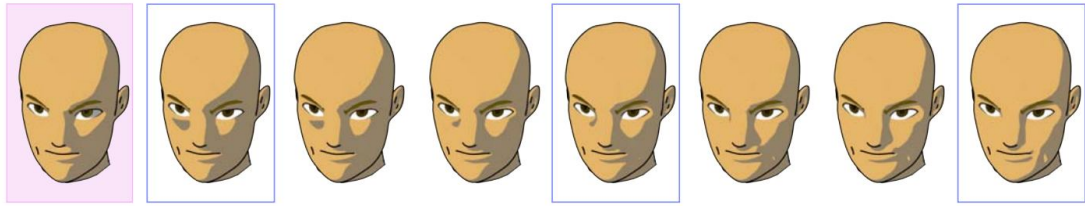
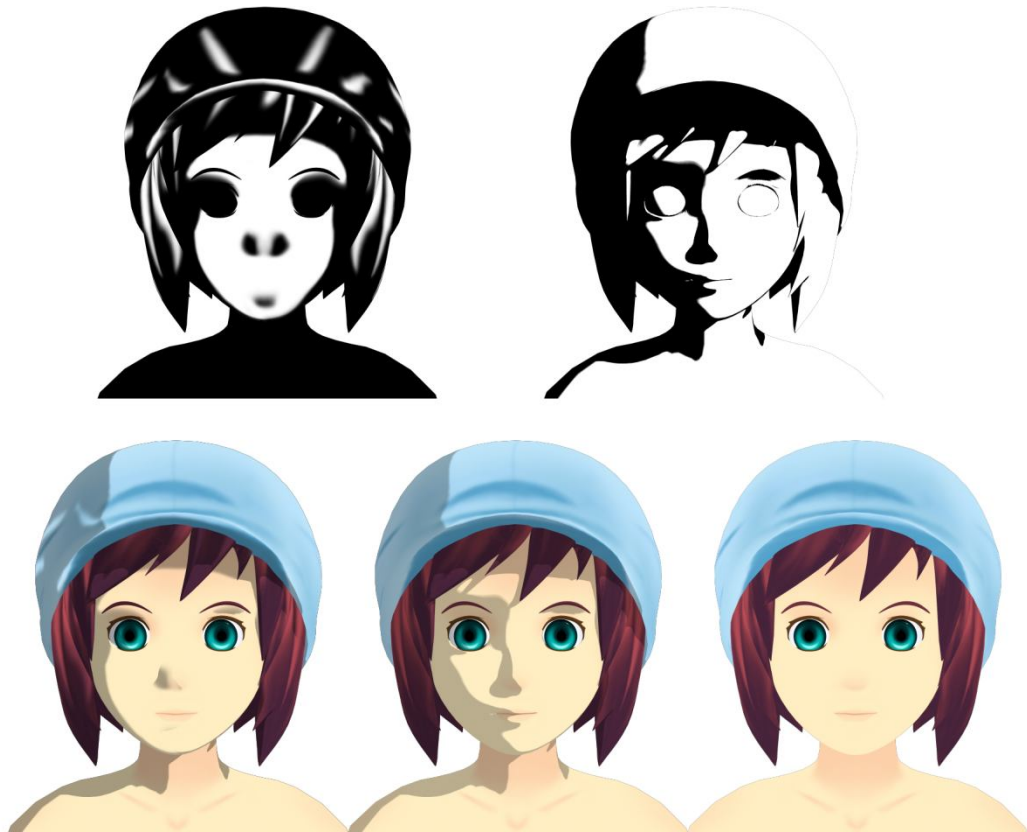


Figure 1: Comparison of conventional toon shading (leftmost image) with our result (remaining images). Edits were made at the three key frames indicated: (left) added shaded area below left eye for expressive impact, (middle) deleted dark area around right eye, and (right) added shaded area below nose to emphasize three-dimensionality. These local edits integrate seamlessly with the global lighting, animate smoothly, and require no modification to the external lighting setup.

Kuva 17. Helposti muokattavia varjoja on myös tutkittu, mutta tätäkään tekniikkaa ei ole vielä päätyntä kaupallisiin sovelluksiin. (Kuva: Todo, Anjyo, Baxter, Igarashi, 2007)

Vaikka kaupallista sovellusta ei olekaan vielä tarjolle varjojen muokkaamiseen, voi sitä tehdä toisellakin tapaa. Yksi tapa on käyttää varjojen käyttäytymisen hallitsemiseksi tekstuuria. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi niin, että ensin luodaan perinteiseen tyyliin varjot jonka jälkeen maalataan tekstuurit, joissa alueet joihin varjojen ei haluta päätyvän, on maalattu valkoisella, kaikki muu mustalla. Tämä mustavalkoinen tekstuuri lisätään perinteisesti tehtyjen varjojen päälle lisäämällä väriarvot mustavalkoisen varjokuvan päälle, jolloin valkoiset osat lisätään varjoon, tuoden ne näin valon puolelle, vaikuttamatta kuitenkaan varjostukseen muissa kohdissa (Kuva 15). Heittovarjot esimerkiksi hahmon hiuksista on syytä kuitenkin laittaa jälkityönä vielä erikseen, koska korjaustekstuuri saattaa häiritä heittovarjoja epämiellyttävällä tavalla. Tämä tekniikka on sovellettu aiemmin mainitsemani Locally Controlled Stylized Shading tutkimuksesta Japanilaisen Gotetz nimimerkillä toimivan henkilön toimesta, joka tutkimuksesta innostuttuaan teki yllä olevan kaltaisen testin Softimage XSI ohjelmalla. Gotetz käytti tekstuurien sijaan Softimagen verteksimaalaustyökaluja, mutta itse en saanut tällaista Mayassa toimimaan, joten päädyin käyttämään tekstuureita. Toimintaperiaate on kuitenkin sama.



Kuva 18. Ylärivissä oikealla Mayan laskemat varjot ja vasemmalla varjojen korjaustekstuuri. Alarivissä oikealta hahmo pelkillä tekstuureilla, keskellä Mayan laskemilla varjoilla, ja vasemmalla molempien varjojen yhdistelmä.

Varjoja voi tehdä myös tietenkin jälkikäteen, joko käsin piirtämällä kuten piirretyissä animaatioissa, tai automatisoituna. Käsin piirretty varjo on tietenkin aina juuri sellainen kuin halutaan, mutta tämä on myös aikaa vievää. Automaattisesti varjon voi luoda muun muassa siirtämällä hahmon siluettia sivulle ja käyttäen tätä sisemmälle työnnettynä varjona. Tämän saa toimimaan vielä paremmin tekemällä varjot jokaiseen hahmon osaan erikseen. Tämän sain aikaan tekemällä kuvasarjan, jossa jokainen osa oli värjätty eri perusvärillä, ja näitä värejä käyttäen jälkityössä pilkoin valmiin kuvasarjan osiin hahmon osien mukaan. Tämän jälkeen käytin After Effectsissä inner shadow efektiä luodakseni varjot hahmon siluetin mukaan.

Tällaiset varjot toimivat ihan hyvin, ja ne on nopeaa tehdä. Jälkityössä säätövaraakin on. Huonona puolena varjostuksessa on se, että varjot menevät aina hahmon siluetin mukaan, jolloin on vaikea saada dramaattisempia, tai hahmon muotoja kunnolla esille tuovia varjoja aikaan.



Kuva 19. Kuvassa vasemmalta ensimmäisenä puhdas värivedos, keskellä eri osat eroteltuna väreillä, joilla varjoja saadaan säädettyä osa kerrallaan, ja viimeisenä hahmo jälkityönä tehtyjen varjojen kanssa.

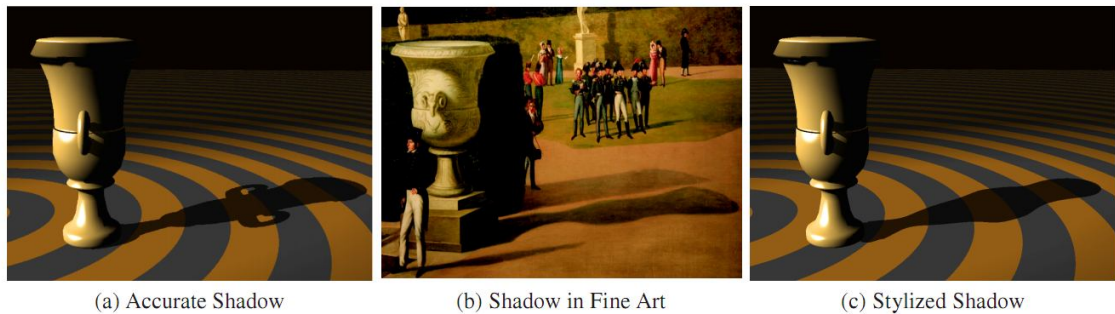
Vaikka kaikkia teknologioita ei olekaan käytössäni, ei se tarkoita ettei varjoille mitään voisi tehdä. Omaan varjostukseeni päädyin käyttämään normaaleja varjoja, jonka päälle laitoin korjauskerroksen tavalla, josta jo aiemmin puhuin. Teräväreunaiset varjot on hyvä olla niiden helpon muokattavuuden takia. Laitoin varjoja vielä muutamia kerroksia päällekkäin, ja rikoin niiden reunoja jälkityössä, jolloin sain hieman epätäydellisyyttä varjoihin mukaan, kuten aiemmassa kuvassa näemme (Kuva 17).

6.2 Heittovarjot

Heittovarjot ovat myös yksi asia mitä luultavasti halutaan tyyllitellä. Perinteisesti 3D-grafiikan varjot ovat olleet teräviä ja tarkkoja, mikä ei kuitenkaan ole läheskään aina

toivottu lopputulos. Kunnolla tehtynä 3D-animaatiossa varjot pehmennetään oikean valon käyttäytymisen mukaan käyttämällä siihen tarvittavia tekniikoita, joista aiemminkin on ollut puhetta. Tämä on kuitenkin taas aikaa vievää, ja tällöinkään ei välttämättä päädytä sellaiseen lopputulokseen mihin pyritään. Esimerkiksi teräväreunainen, mutta varjon heittävän esineen yksinkertaistavan varjon tekeminen ei onnistu noin vain, koska oikeassa elämässä tällaista ei tapahdu.

Heittovarjojen tyyllittelyä on tutkinut DeCoro, Cole, Finkelstein ja Rusinkiewicz Princetonin yliopistosta, Stylized shadows tutkimuksessaan, joka esitettiin International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering (NPAR) tilaisuudessa vuonna 2007. Tutkimuksen ideana on, että varjoja yksinkertaistetaan tiettyjen algoritmien pohjalta, joka tuntuisi auttavan varsin hyvin heittovarjojen muuttamiseen yksinkertaisimmiksi. Tämäkin on ikävä kyllä tekniikka jota ei ole kaupallisiin sovelluksiin vielä tuoto, mutta olisi erittäin mukava nähdä yleistyvän, koska heittovarjot ovatkin hieman monimutkaisempia tyyllitellä hallitusti tällä hetkellä.



(a) Accurate Shadow

(b) Shadow in Fine Art

(c) Stylized Shadow

Kuva 20. Tyylliteltyjen heittovarjojen luomista 3D grafiikassa on tutkittu, mutta tekniikat eivät ole vielä löytäneet tietään kaupallisiin sovelluksiin. (Kuva: DeCoro, Cole, Finkelstein, Rusinkiewicz, 2007)

Koska itselläni ei ollut heittovarjoihin mitään hienoa algoritmia, täytyi minun miettiä muita tapoja saada pelkistetty heittovarjo aikaan. Varjoja tehdään 3D-grafiikassa pääosin kahdella tapaa. Toinen on raytraced shadows, joka toimii siten, että valon ampumia säteitä seuraamalla katsotaan mikä osa kappaleesta heittää varjoa, mihin se lankeaa, ja minkä muotoinen se on. Tämä tuottaa erittäin tarkkoja ja teräväreunaisia varjoja. Toinen tapa on shadow mapping, joka laskee kameran kuvakulmasta etäisyyden jokaiselle pikselille mallien pinnalla ja tallentaa tästä bittikartan, eli shadow mapin. Tätä bittikarttaa käyttäen voidaan varjo projisoida kuvaan kameran kuvakulmasta. Tämä tekniikka on raytracingia huomattavasti nopeampi, mutta

epätarkempi tapa. Tyyllittelyssä emme kuitenkaan tarkkuutta kaipaa, vaan päinvastoin olisi hyvä päästä eroon turhasta tarkkuudesta suurimmassa osassa tapauksia.

(Wikipedia)

Ideana minulla oli, että renderöin heittovarjon pehmeänä varjona, eli jonka reunat alkavat hieman sulautua toisiinsa, ja terävöitän reunat jälkityönä, jolloin tuloksena on teräväreunaisempi, mutta yksinkertaistettu varjo. Koska shadow map tekniikka on nopeampi, varsinkin pehmeissä varjoissa, päätin käyttää sitä. Huonona puolena tässä tekniikassa verrattuna edellä mainittuun algoritmipohjaiseen varjon heittoon on sen muokattavuuden puute. Varjon laskemisvaiheessa ei ole mahdollisuutta tietää miltä lopullinen varjo näyttää, koska ilme päätetään vasta jälkityössä, ja vaikka säätövaraa siinä vaiheessa on, uskoisin että se ei ole yhtä paljon, kuin mitä algoritmipohjaisessa voidaan saada aikaan. Tämäkin tekniikka tuntuu kuitenkin pelaavan ihan hyvin tarkoitukseensa nähden, ja suuria ongelmia en löytänyt.



Kuva 21. Oikealla Mayasta laskettu pehmeä shadow map varjo. Vasemmalla jälkityönä kirkkousarvoja säätämällä saatu terävämpi yksinkertaistettu varjo.

Yksi hyvä esimerkki tyyllitellystä varjostuksesta 3D-grafiikassa on Valven peli Team Fortress 2. Pelissä on otettu huomioon hyvin myös siluetti, jonka merkitys yhä korostuu, koska peleissä nopea tunnistettavuus on erittäin tärkeää. Team Fortress 2 pelissä lopullinen varjostus on luotu monen eri vaiheen kautta, ja käyttäen epärealistista valon

laskentatapaa (Mitchell, Francke, End 2007, 4). Tämän tekeminen normaalin taiteilijan näkökulmasta on kuitenkin hankalaa.



Kuva 22. Team Fortress 2 on hyvä esimerkki tyylitellyn grafiikan käytöstä peleissä. Kuva peligrafiikkaa. (Valve, Illustrative Rendering in Team Fortress 2, 2007)

Joku voisi sanoa, että malli pitäisi aina mallintaa niin, että varjot oikein laskettuna näyttäisivät aina hyvältä, mutta tämä on kuitenkin käytännössä vaikeaa, varsinkin jos pyritään hyvin erilaiseen tyyliin. Tähän menee myös aikaa, jos mallia joudutaan hiomaan niin kauan, että se toimii kaikissa ympäristöissä juuri niin kuin halutaan. Realistisemmassa jäljessä tämä ei ole ongelma, koska hahmot on luotu juuri kolmiulotteisiksi, mutta aina tämä ei ole tavoite. Tärkeintä on kuitenkin myös vain lopputuloksena olevat kuvat, eikä työskentelytapa, ja joissain tilanteissa hahmoon saatetaan haluta hyvinkin erilailla heittäytyviä varjoja kuin oikeassa tilanteessa olisi mahdollista, tällöin varjojen muokattavuus on erittäin hyödyllinen asia.

6.3 Jälkityö

Valmista animaatiota ei lasketa suoraan 3D-ohjelmasta ulos, vaan kaikki animaation palaset kootaan jälkityönä lopulliseen animaation muotoonsa muutamassa vaiheessa, joista viimeisin on editointi ja äänen liittäminen animaatioon. Varjojen tekeminen jälkikäteen voi olla yksi osa tätä vaihetta. Muita osia ovat muun muassa hahmojen yhdistäminen taustoihin, värien säätely, sekä mahdolliset efektit. Jälkityö on erittäin tärkeä vaihe animaation lopullisen ilmeen luomiseksi, vaikkakin näin tyylitellyssä animaatioissa mistä olen tässä puhunut, se ei ole aivan yhtä tärkeää. Tämä johtuu siitä, että tekstuurit on jo tehty usein juuri sen näköisiksi kuin halutaan, vaikkakin tietenkin tunnelmallisissa kohtauksissa värejä voidaan haluta vieläkin muuttaa. Tällaista jälkeä on myös helppo korjailla jälkityövaiheessa. Varsinkin jos hahmossa käytetään paljon tasaväristä pintaa, ja jos varjot pidetään terävinä, on ongelmia esimerkiksi hahmon

deformoitumisessa animaatiossa helposti maalata jälkikäteen kuva kovalta piiloon. Tämä voi olla erittäin kätevä asia varsinkin pidempää sarjaa tehdessä.

7. Pohdintaa lopuksi

Tyylittely käsin piirrettyyn suuntaan 3D-animaatiossa on harvoin kokeiltu idea, varsinkin tv-sarjojen tai suurempien tuotantojen kohdalla. Tämän tyyppistä grafiikkaa näkee peleissä useammin, mutta näissä se koskee yleensä vain graafista ulkoasua, eikä itse animaation tyylittelyä. Itse animaation tyylittely tällaisen ilmeen kanssa tuntuu kuitenkin aika tärkeältä, koska liian sulava ja realistinen animaatio luo ehkä liian suuren kontrastin tyyliin joka usein mielletään hieman epäsulavammaksi, varsinkin kun puhutaan sulavuudesta 3D-animaatiossa. Hieman sattumanvaraisuutta ja tyylittelyä itse animaatiossa toisi paljon lisäulottuvuuksia tällaiseen ilmeeseen.

Yksi syy tällaisten ilmeiden puuttumiseen on itse 3D-teknologiana. 3D-grafiikka on pyrkinyt realistiseen suuntaan jo pitkän aikaa, jonka takia näitä tekniikoita on haluttu myös käyttää tällaisissa tuotannoissa. Alamme kuitenkin pikkuhiljaa olla vaiheessa, jolloin realistisen 3D-grafiikan tuottaminen ei ole enää vain harvojen ihmisten hupia, joten toivon että pikkuhiljaa siirrytään suuremmalla joukolla tutkimaan myös sitä, miten kuvista saisi tehtyä juuri sellaisia kuin haluaa, jos kyseessä ei olekaan realismi.

Tyylitelty ja maalausmainen grafiikka on aina ollut jotain sellaista mitä olen halunnut oppia tekemään, ja opin opinnäytetyötäni tehdessä paljon mielenkiintoisia asioita. Yksi on hahmosuunnittelun tärkeys, joka opinnäytetyön hahmossani jäi hieman liian vähäiseksi, ja jouduin korjailemaan hahmoa ehkä hieman liikaa jo mallinnuksen aloittaessani, tämä on yksi asia jonka aion muistaa seuraavissa töissäni.

En ole itse animoinut hahmoja hirveästi, joten animaatiotestini tulokset saattavat hieman poiketa siitä mitä kokenut animaattori saisi aikaan, mutta tärkeää tässä ei ollutkaan lopputulos. Kuvanopeuksien ero on selkeä, ja on yhä itselleni mysteeri miksi alemmalla kuvanopeudella ei käytetä halvemmissä 3D-animaatiotuotannoissa, vaan pyritään matkimaan suurempia tuotantoja selkeästi liian pienellä budjetilla. 12 kuvaa sekunnissa olevaa animaatiota on kuitenkin käsin piirretyissä animaatioissa käytetty sujuvasti ja ilman ongelmia useita kymmeniä vuosia, joten mielestäni järkevää olisi käyttää 3D-grafiikkaa keinona jolla lähinnä ulkoasua saadaan parannettua, eikä tehdä alimitoitettulla budjetilla 3D-animaatioita jotka ovat kaikin puolin vain hyväksyttäviä.

Visiota tv-sarjojen tekijöiltä selkeästi puuttuu. Joitakin poikkeuksia toki löytyy, kuten hieman suuremman budjetin tv-sarjat Disneyltä ja jotkin vielä tuotannossa olevat sarjat, jotka toki näyttävät hienommilta, mutta nämäkään eivät aivan kaikkea potentiaalia ole vielä löytäneet, eivätkä ole juuri uskaltaneet poiketa 3D-grafiikan normaalista ilmeestä.

Koska lopputulos on se joka on tärkeää, kannattaa mielestäni kaikki mahdolliset elementit, jotka ovat helpompia tehdä kaksiulotteisessa ympäristössä, tehdä siellä, ja sama toisinpäin 3D-grafiikan kanssa. Kameratyöskentely ja muiden elementtien tekstuurit auttavat näiden sulauttamista animaatioon. Eikä hieman erilaista jälkeä eri elementtien kesken tarvitse pelätä, koska tätä on kuitenkin nähty jo kauan esimerkiksi koko illan piirrettyjen animoitujen ja öljyväreillä maalattujen taustojen välillä.

Käsin piirrettyjen osien helppous on myös yksi syy miksi 3D-animaatio kannattaa tällaisessa ympäristössä pitää yksinkertaisen näköisenä ilmeeltään, jotta siihen on helppo piirtää korjauksia tai lisäyksiä käsin jälkeempään.

Varjostus on asia joka missä tahansa animaatiotyylissä on tärkeä, ja sen tutkiminen oli itsellenikin mielenkiintoisinta. Varjojen käyttäytyminen ja niiden hallinta on haastavaa, mutta hyvän lopputuloksen aikaansaaminen on hyvä kokemus. En kuitenkaan jätä tutkimustani vain tähän, vaan pyrin jatkossakin tutkimaan miten varjostuksen saisi vieläkin paremmin hallintaan, koska täydellisesti en saanut sitä vieläkään toimimaan.

Vaikka kaupallisella puolella tällaisia tyyliteltyjä animaatioita ei paljoa ole, lyhytelokuvista voi löytää muutaman. Yksi esimerkki jossa on käytetty 3D-grafiikkaa ja piirrettyä jälkeä hienosti yhdessä, on *Galactic Mail* (Ranska, USA 2008). *Galactic Mail* on kahden Ranskalaisen animaattorin ja The Mill nimisen studion lyhytelokuva, joka on tyylittelyä parhaimmillaan. Animaatio on animoitu tyylikkäästi 12 kuvaa sekunnissa, sekä kuvallinen tyyli on hyvin piirrosmaisen näköistä, kuitenkin ilman ääriviivoja tai perus cel-shadingia. Kameran käyttö on myös onnistunutta, ja välttää turhat kolmiulotteiset kameraliikkeet. Animaatio on tehty neljässä kuukaudessa, joka ei ole hirveästi mieltien että tässä ajassa on täytyntä tehdä kaikki suunnittelu sekä 3D-animaatioon liittyvä alkutuotanto, kuten muun muassa tuotantolinjan kehitys, mallintaminen ja riggaus. TV-sarjan tekeminen tällaisella tyylillä ja ilmeellä ei siis ole millään tavalla mahdoton asia.

Toinen esimerkki on myös Ranskasta. *La Main des Maitres* (Ranska 2008) on hienosti toteutettu, kalvoanimaatiotyyliin pyrkivä lyhytanimaatio. Sekin on animoitu 12 kuvan

sekuntinopeudella, ja onnistuu mielestäni hienosti tyyliissään. Joitain pieniä ongelmia varjostuksessa kasvojen ja hiusten kohdalla näkyy, mutta se ei mielestäni ole taidon puutteen vaan lähinnä työkalujen sopimattomuuden syytä.

Näistä saisivat animaatioiden tekijät ottaa mielestäni oppia!

Yksi kaksiulotteisen animaation uhka on myös stereoskooppisten elokuvien suosion nouseminen. Kaksiulotteisuutta kun on vaikea kolmiulotteisesti näyttää. En itse kuitenkaan näe stereoskopiaa niin tärkeänä elokuvissa, että siitä tulisi jossain vaiheessa lähes pakollista elokuvan menestyksen kannalta, varsinkin jos elokuva on itsessään jo tarpeeksi tyylikkään näköinen. Mutta tulevaisuuden kehityksestä on mahdotonta sanoa paljoa. Itse ainakin kannustan tyylikästä, mutta puhtaasti kaksiulotteisesti pyörivää animaatiota, jo pelkästään sen helpon ymmärrettävyyden ja selkeämmän ilmeen takia. Olen tehnyt näin aiemminkin, ja kaiken sen jälkeen mitä opinnäytetyön aikana olen oppinut, on kantani lähinnä vahvistunut.

Teknologian ja tyylien kehitys ei kuitenkaan saa jäädä paikalleen, ja itselläni on jo mielessä käydä asiaa läpi vielä useita kertoja ja oppia lisää keinoja tuoda lisäkontrollia taiteilijalle. Kuvista tai animaatioista pitäisi voida tehdä juuri sen näköisiä kuin taiteilija itse haluaa, eikä jättää asioita napin painalluksen ja tietokoneen laskutoimituksien varaan.

Lähteet

- Burley, Brent & Lacewell, Dylan 2008. Ptex: Per-Face Texture Mapping for Production Rendering. <<http://www.disneyanimation.com/library/ptex/>> (Luettu 2008)
- DeCoro, Christopher & Cole, Forrester & Finkelstein, Adam & Rusinkiewicz, Szymon 2007. Stylized shadows. <http://www.cs.princeton.edu/gfx/pubs/DeCoro_2007_SS/> (Luettu 2008)
- Graeber, Brad 2009. Animation budget history. <<http://www.captaincapitalism.com/>> (Luettu 24.03.2010)
- Meowza 05.12.2007. Good design lies in the foundation. Julkaisupaikka: Aviary blog. <<http://aviary.com/bizblog/posts/good-design-lies-in-the-foundation>> (Luettu 14.04.2010)
- Mitchell, Jason & Francke, Moby & End, Dhabih 2007. Illustrative Rendering in Team Fortress 2. <http://www.valvesoftware.com/publications/2007/NPAR07_IllustrativeRenderingInTeamFortress2.pdf> (Luettu 2008)
- Todo, Hideki & Anjyo, Ken-ichi & Baxter, William & Igarashi, Takeo 2007. Locally Controllable Stylized Shading. <<http://www.olm.co.jp/en/rd/research/locostysh/>> (Luettu 2008)
- van der Byl, Leigh 2006. Texturing for dummies. <<http://www.leighvanderbyl.com/pdf/texturing.pdf>> (Luettu 04.05.2010)
- Vanzo, Scott 20.06.2001. 3D animation in Futurama. Julkaisupaikka: Can't get enough Futurama <<http://www.gotfuturama.com/Information/Articles/3dani.dhtml>> (Luettu 20.03.2010)
- Whitaker, Harold & Halas, John 1981. Timing for Animation. Toinen painos 2009. Oxford, UK: Focal Press.
- Gotetz, 04.10.2007. トゥーンシェーディングを 3D 上でレタッチするテスト <<http://artifacts.sakura.ne.jp/sakanaya/2007/10/3d.htm>> (Luettu 2008)

Wikipedia, verkkojulkaisu. <http://en.wikipedia.org/wiki/Shadow_mapping> (Luettu 10.04.2010)

Wikipedia, verkkojulkaisu. <[http://en.wikipedia.org/wiki/Ray_tracing_\(graphics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Ray_tracing_(graphics))> (Luettu 10.04.2010)

Wikipedia, verkkojulkaisu. <http://en.wikipedia.org/wiki/Multiplane_camera> (Luettu 05.04.2010)

Liitteet:

Liite 1 – Tyylitelty 3D-animaatio. Animaatiotestejä (DVD-ROM)