
Stereoskopia 3D-tuotannossa ja yleisimmät ongelmatilanteet



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Mediatekniikan koulutusohjelma

Riihimäki,

Sami Hämäläinen



RIIHIMÄKI
Mediatekniikka

Tekijä	Sami Hämäläinen	Vuosi 2013
Työn nimi	Stereoskopia 3D-tuotannossa ja yleisimmät ongelmatilanteet	

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi stereoskooppisen kuvamateriaalin tuotannon perusasioita sekä selvitetään siinä yleisimmin esiintyvät ongelmatilanteet ja ratkaisut. Aihetta lähestytään 3D-graafikon näkökulmasta ja sen tilaajana toimii Hämeen ammattikorkeakoulu.

Stereoskopiolla voidaan tuottaa hienoja sekä funktionaalisia esityksiä mutta se on myös hyvin riippuvainen katselukokemuksesta. Tästä syystä jokaisen aiheesta kiinnostuneen tulisi tietää kuinka näiltä virheiltä vältytään jolloin voidaan keskittyä tekniikan tarjoamiin mahdollisuuksiin varovaisuuden sijaan.

Työ jakautuu karkeasti kahteen osioon. Ensimmäisenä on teoriaosa jossa käydään läpi stereoskooppisen kuvamateriaalin historiaa, sen nykytilaa sekä stereomateriaalin keskeisiä käsitteitä tuotannon näkökulmasta. Työn toisessa osassa tuotetaan erilaisia stereoskooppisia kuvia 3D-grafiikalla joiden avulla selvitetään, mitä ongelmia tuotannossa voi tulla ja kuinka näitä voidaan mahdollisesti ehkäistä ja korjata.

Työn tavoitteena on siis antaa lukijalle perustietämys stereoskooppisen materiaalin tuotannosta ja kuinka se pidetään katsojajstävällisenä. Vaikka opinnäytetyö keskittyy aiheeseen 3D-grafiikkaa käyttäen, voidaan tarjottuja ratkaisuja soveltaa myös live-kuvauksiin ja tällaisen materiaalin jälkikäsittelyyn.

Jatkotoimenpiteinä voitaisiin etsiä keinoja estää virheiden syntyminen jo suunnitteluvaiheessa. Lisäksi voidaan tutkia miten työssä esitetyt virheet ja näiden ratkaisut vaikuttavat kun käsitellään animaatioita ja muita esitysjärjestelmiä kuin anaglyfi.

Avainsanat Stereokuvaus, 3D-mallinnus, jälkikäsittely

Sivut 35 s. + liitteet 10 s.

RIIHIMÄKI
Degree Programme in Media Technology

Author	Sami Hämäläinen	Year 2013
Subject of Bachelor's thesis	Stereoscopy and its common problems in 3D-production	

ABSTRACT

This thesis covers the basics of stereoscopic production and the most common problems that arise during production and post-processing. The subject is studied using 3D graphics due to the nature of stereoscopy and compatibility between stereo imaging and 3D. It was commissioned by HAMK University of Applied Sciences.

While stereoscopy can be used to create impressive and functional images, it can also cause great discomfort to viewers if it is not produced with great care. This is mostly due to the fact that it relies heavily on tricking the human visual system to see something it actually does not see, creating an illusion of depth. The best way to allow concentration on more important aspects of stereoscopy is to acknowledge and learn by heart the problems that can and will come up when creating stereoscopic images.

This report is split up into two parts, theoretical and practical. The theoretical part covers the history of stereoscopic images, the current state of its technology and the basics of forming a stereoscopic image. After this comes the practical part where different images formed by 3D-modelling software are studied and the errors they contain are documented and possibly corrected.

The main purpose of this thesis is to give its reader a basic understanding of stereoscopy, how stereoscopic images are formed and how to keep these images viewer-friendly by preventing and correcting possible and known problems. Although the thesis concentrates on stereoscopy using 3D-graphics these solutions can also be applied to stereoscopy in live production to some extent.

While this thesis is more about the production side of stereoscopic imaging, a further study could be made on how to prevent problems that already arise in the design stage. Additionally, this study could also examine how similar problems and fixes applied in the examples presented affect animations and projection systems other than anaglyph.

Keywords Stereo imaging, 3D-modelling, post-production

Pages 35 p. + appendices 10 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	STEREOSKOOPPINEN KUVA	2
2.1	STEREOKUVA ENNEN JA NYT	2
2.1.1	Stereoskopian alkuaskeleet	2
2.1.2	Stereokuvan kultainen aika	3
2.1.3	Stereokuva kultaisen kauden jälkeen	5
2.1.4	Stereoskooppinen kuva 2000-luvulla	6
2.1.5	Stereomateriaalin esitystekniikat	8
2.1.6	Anaglyfi	8
2.1.7	Polarisaatio	9
2.1.8	Aktiivitekniikka	9
2.2	KUINKA SYVYYTTÄ HAVAINNOIDAAN	10
2.2.1	Monokulaariset vihjeet	10
2.2.2	Stereopsis ja konvergenssi	11
2.3	STEREOKUVAN MUODOSTUKSEN PERUSKÄSITTEET	12
2.3.1	Interaksaali	12
2.3.2	Parallaksi	13
2.3.3	Samansuuntaisilla kameroilla kuvaaminen / parallel	14
2.3.4	Kameroiden konvergenssi / toe-in	14
2.3.5	Polttovälin vaikutus stereokuvaan	15
2.3.6	Keystone-vääristymä	15
2.3.7	Stereoikkuna ja siihen vaikuttaminen	15
2.3.8	Leijuva stereoikkuna	16
2.3.9	Window violation	16
2.3.10	Syvyysbudjetti	17
2.3.11	Ghosting / haamukuvat	17
3	STEREOKUVAT 3D-MALLINNUKSELLE JA VIRHEENKORJAUS	18
3.1	Yksinkertaisen stereokuvan muodostaminen mallinnusohjelmistossa	18
3.1.1	Haamukuvien korjaus	22
3.2	Stereomateriaalin muodostaminen samansuuntaisilla kameroilla	23
3.2.1	Horizontal Image Translation	23
3.3	Keystone-vääristymä	24
3.3.1	Kameroiden konvergenssi ilman keystone-vääristymää	27
3.4	Window violation	28
3.4.1	Leijuva stereoikkuna	29
3.5	Värilliset anaglyfit	31
4	TULOKSET JA JATKOKEHITYS	32
4.1	Tulokset	32
4.2	Jatkokehitys	32
	LÄHTEET	33

-
- Liite 1 Anaglyfinen kuva renderöidystä kuvaparista
 - Liite 2 Anaglyfi mustavalkoisena
 - Liite 3 Samansuuntaisten kameroiden tuottama kuvapari
 - Liite 4 Stereokuva HIT-korjauksen jälkeen
 - Liite 5 Sisäänkäännettyillä kameroilla tehty anaglyfi
 - Liite 6 Sisäänkäännetyt kamerat Skew-modifierilla
 - Liite 7 Stereokuva reunuksen korjaamisen jälkeen
 - Liite 8 Negatiivisen parallaksin aiheuttama window violation
 - Liite 9 Anaglyfi leijuvalla stereoikkunalla
 - Liite 10 Anaglyfi väri- ja kontrastikorjauksella

1 JOHDANTO

Stereoskopia on, vaikkakin tekniikkana vanha, nostanut uudelleen profiiliin 2000-luvun alussa varsinkin viihdeteollisuuden ja sen myötä kehittyvän laitteiston ansiosta. Sillä tarkoitetaan yksinkertaisimmillaan tapaa luoda katsojan silmään illuusio syvyysinformaatiosta kaksiulotteisessa kuvassa, jolloin kuva havainnoidaan osittain kolmiulotteisena. Tämä vanhastaan viihdyttämiseen tarkoitettu ”kikka” on myös yleistymässä osaksi teollisuutta ja lääketiedettä joissa esimerkiksi automatiikka hyötyy stereoskopian mahdollistamista tarkemmista syvyysasetäisyyksien mittauksista. Tekniikan tulevaisuudesta ja hyödyistä varsinkin kuluttajien kannalta ollaan montaa eri mieltä, mutta se on lähes varmaa että stereoskooppinen 3D on tavalla tai toisella tullut jäädäkseen.

3D-grafiikan parissa työskenteleville (teollisuusvisualisointi, viihdeteollisuus ym.) kyseinen kehitys on sekä haastava että innostava. Tämä käytännössä pakottaa sisällöntuottajat kehittämään työvaiheitaan jotta stereoskooppisen materiaalin tuottaminen olisi kannattavaa ja tämä materiaali laadukasta mutta antaa samalla uudenlaista vapautta itse sisältöön.

Tämä opinnäytetyö on jaettu karkeasti kahteen osaan, teoriaosuuteen ja käytännön osuuteen. Teoriaosuudessa käydään ensin lyhyesti läpi stereoskopiaa, stereoskooppisen kuvan sekä tekniikan historiaa ja nykytilannetta, jota tutkitaan pääasiassa viihdetuotannon ja etenkin elokuvatuotannon puolelta. Syy tähän löytyy viihdealan vaikutuksesta teknologiaan; elokuvien ja näiden tuoman kiinnostuksen ansiosta stereoskooppinen tekniikka ei luultavasti olisi nykyisessä pisteessään. Tämän jälkeen käsitellään tekniikat ja rajoitukset joita stereomateriaalin tuotannossa tulisi tietää. Käytännön osuudessa työssä tuotetaan omaa stereoskooppista materiaalia käyttämällä Autodesk 3DS Max -mallinnusohjelmaa ja Adobe After Effects -jälkikäsittelyohjelmaa sekä esitellään tässä materiaalissa esiintyviä käsitteitä ja yleisimpiä virhetilanteita.

Tavoite on tuottaa dokumentti joka antaa lukijalleen perustiedot stereoskopiasta ja ohjeet stereoskooppisen kuvamateriaalin tuottamisesta 3D-ympäristössä. Työn raportoinnissa oletetaan että lukijalla on perustason tuntemus niin 3D-grafiikasta kuin kuvamateriaalin jälkikäsittelystä.

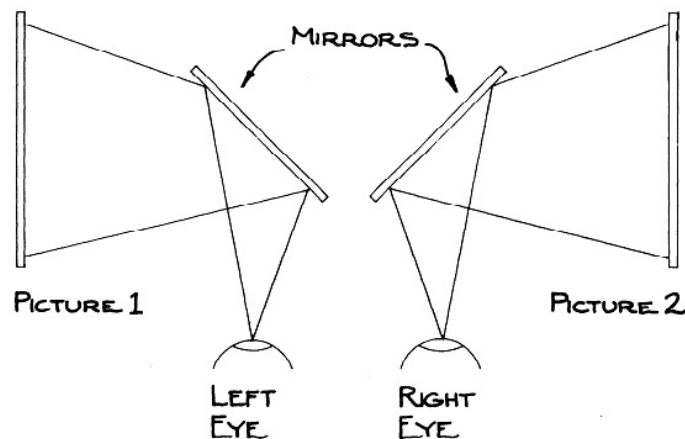
2 STEREOSKOOPPINEN KUVA

2.1 STEREOKUVA ENNEN JA NYT

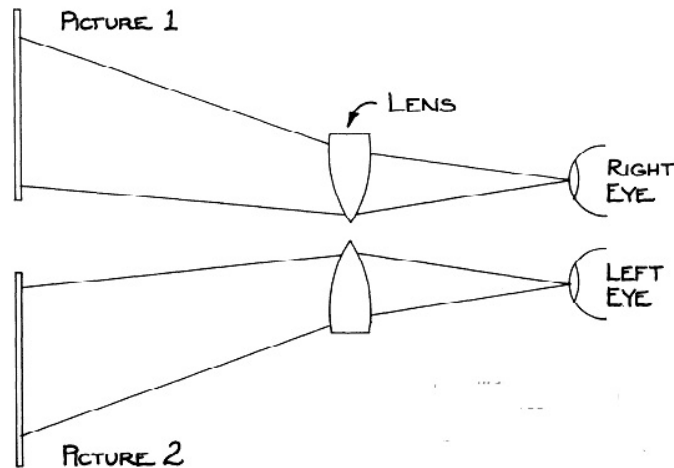
2.1.1 Stereoskopian alkuaskeleet

Stereoskooppisen kuvan matka nykypisteeseen alkoi jo vuonna 1838 kun englantilainen tiedemies Charles Wheatstone selvitti lopullisesti kuinka ihmisen stereonäkö toimii. Hänen havaintonsa herättivät nopeasti huomiota avaten uusia mahdollisuuksia valokuvauksessa ja jo vuosisadan puolivälissä yksinkertaiset stereoskoopit (stereokuvien katseluun tarkoitetut laitteet) olivat yleinen näky.

Wheatstone itse kehitti peilistereoskoopin, jossa näytettävät kuvat asetettiin laitteen vastakkaisille seinille ja katsoja keskittyi keskellä oleviin kahteen peiliin, joiden kautta kuvat heijastuivat katsojan silmiin (kuva 1). Peilistereoskoopin lisäksi toinen englantilainen tutkija, Sir David Brewster, kehitti oman versionsa stereoskoopista vuonna 1844. Hänen laitteensa perustui linssihin jotka oli sijoitettu kevyempään silmillä pideltävään koteloon. Nämä linssit taittoivat katsojan katseen eri kuviin jotka sijaitsivat samalla kortilla laitteen sisällä (kuva 2). (Lipton 1982.)



Kuva 1. Wheatstonen peilistereoskooppi (Lipton 1982)



Kuva 2. Brewsterin linssistereoskooppi (Lipton 1982)

Samalla vuosisadalla peilien ja taittavien linssien lisäksi stereoskooppisen kuvan esittämiseen tuli yksi vaihtoehto lisää, kun saksalainen Wilhelm Rollman tutki vastavärien käyttöä stereoskopiassa. Menetelmä kuitenkin patentoitiin ja nimettiin anaglyfi-järjestelmäksi vasta vuonna 1891 ranskalaisen Louis Ducos du Hauronin toimesta. Ensimmäinen pitkä elokuva joka esitettiin stereoskooppisesti oli Harry K. Fairallin *Power of Love* vuodelta 1922 ja elokuvaa katsottiin anaglyfilaseilla. (Zone 2012.)

Seuraava stereoskooppisen kuvan suuri askel tuli polarisaation muodossa. Vuonna 1929 yhdysvaltalainen Edwin H. Land teki patenttihakemuksen tavalle tuottaa valoa polarisoivia kalvoja halvalla, suurissa määrin ja nopeasti. Tekniikalle myönnettiin patentti vuonna 1933, jonka jälkeen Land alkoi tutkia tämän käyttömahdollisuuksia stereoskooppisen kuvan parissa yhdessä George Wheelwright III:n kanssa. Tutkimusten aikana pari kokeili muun muassa kahden kameran käyttämistä ja valon taittamista peilillä (beam splitter), kunnes lopulta vuonna 1934 Land haki uutta patenttia (Polarizing Optical System) jossa hän määritteli kaksi käyttötapaa polarisoiville kalvoille: autojen ajovalot ja stereoskooppinen elokuva. Yhdessä Wheelwrightin kanssa he myös antoivat materiaalille kuvaavan nimen ja perustivat tämän johdosta yhtiön nimeltä Polaroid Corporation. (Zone 2007.)

2.1.2 Stereokuvan kultainen aika

Vaikka stereoskopia ja stereoskooppinen kuva kehittyi huimasti jo 1800-luvulla, tekniikan todellinen läpimurto koettiin vasta vuonna 1952 *Bwana Devil*-elokuvan myötä. Juuri kehitetyllä, polarisaatiota käyttävällä Natural Vision -tekniikalla toteutettu elokuva sai murska-arviot kriitikoilta mutta hurmasi suuren yleisön välittömästi, ja herätti kiinnostusta elokuvastudioiden johtoportaisissa asti. Tästä alkoi muutaman vuoden jakso jolloin usea studio halusi julkaista 3D-elokuvan hyödyntääkseen *Bwana Devilin* aikaansaamaa nostetta ja tämä jakso tunnetaan yleisesti stereoskooppisen elokuvan kultaisena aikana. (Zone 2012.)

Kultainen aika, joka sijoittui vuosille 1952-1954, toi yleisölle suuren määrän laadultaan hyvinkin paljon eroavia stereoskooppisia elokuvia. Monet elokuvayhtiöt pyrkivät kehittämään omia stereokamerajärjestelmiään kuvauksia varten mutta Natural Visionin tekniikka pysyi johtavissa asemissa koko aikakauden. Studiot lisensoivat sitä käyttöönsä ja esimerkiksi Jack Warner, yksi Warner Bros-studion perustajajäsenistä, hankki tekniikan käyttöönsä vain päiviä Bwana Devilin julkaisemisen jälkeen. Tällä toteutettiin muun muassa kultaisen ajan yksi arvostetuimmista stereoelokuvista House of Wax, joka keräsi kassatulojen lisäksi arvostusta elokuvana mitä ei voitu sanoa monista muista sen ajan 3D-elokuvista. Mainitsemisen arvoista on myös se että studioiden lisäksi itsenäisetkin elokuvantekijät onnistuivat stereoskooppisen materiaalin kuvaamisessa, esimerkkinä 1953 julkaistu Robot Chicken n. 50 000 dollarin budjetilla. (Zone 2012)

Natural Vision -järjestelmä perustui samanlaiseen polarisaatiota hyödyntävään toteutukseen kuin kilpailijansa ja kamerajärjestelmässä oli kiinteä 3,5 tuuman (n. 8,9 cm) interaksiaali eli kameroiden väli. Hallitsemalla näiden kääntöä(konvergenssia) vaikutettiin syvyysefektiin. Heijastaminen tehtiin kahdella kameralla, joiden kuva suodatettiin polarisoivien linssien läpi hopeakankaalle jota puolestaan katsottiin polarisoivien lasien läpi. Projisoivat kamerat oli yhdistetty toisiinsa tahdistusmoottoreilla synkronointia varten. (Zone 2012.)

Tekniikka pysyi pääasiallisesti samanlaisena koko kauden lukuun ottamatta eri valmistajien muutoksia ja stereografien virityksiä. Suurin osa 3D-tuotannosta toteutettiin vuoden 1953 puolella, sillä jo 1954 uusi tekniikka yleistyi ja vei katsojia pois stereoskooppisen materiaalin puolelta. Tämä tekniikka oli nimeltään Cinemascope ja se perustui laajakuvan käyttämiseen. Se toteutettiin projisoimalla materiaali kolmelta eri projektorilta kaaressa muotoiselle kankaalle joka loi katsojalleen siellä olemisen tunnetta. Sitä jopa mainostettiin aikoinaan eräänlaisena 3D-varianttina vaikka elokuvan näyttäminen tapahtui kaksiuloitteisena. (Zone 2012.)

Uuden kilpailijan myötä aidosti stereoskooppinen materiaali menetti asemiaan nopeasti. Asiaa ei helpottanut aikakautena käytetyn esitystekniikan herkkyys ja vika-alttius; projektorien oikea-aikainen tahdistaminen oli suuren työn takana ja laiteviat vaivasivat niitä usein, johtaen helposti katsojien fyysiseen epämukavuuteen. Tämän lisäksi projisointipintana käytetyt hopeakankaat olivat tavalliseen kankaaseen nähden kalliita sekä omasivat todella kapean katselukulman. Lopulta 1954 materiaalin tuottaminen loppui lähes kokonaan ja massojen kiinnostus stereokuvaan tyrehtyi. (Zone 2012.)

2.1.3 Stereokuva kultaisen kauden jälkeen

Kun kiinnostus stereoskooppiseen materiaaliin lopahti, hidastui sen tekninen kehityskin. Aidosti suuria muutoksia alalla koettiin 1960-luvun puolivälissä anaglyfisten eksploitaatio- ja pornoelokuvien lomassa kun herra Robert Bernier kehitti oman yksikelaisen stereojärjestelmänsä. Bernier alkoi kehittää SpaceVisioniksi nimeämäänsä järjestelmää jo 1940-luvun puolella esitellen ratkaisun jossa stereopari oli sijoitettu päällekkäin yhdelle 16 mm filmikelalle. Tämä toistettiin projektorilla jossa oli nopeasti kääntyvä polarisaatiolinssi, mahdollistaen 36 ruudun näyttämisen sekunnissa yhtä silmää kohden toistaen kuvaa välkkymättä. Lopulta vuonna 1965 Bernier onnistui sovittamaan ideansa elokuvamaailmassa yleisemmin käytettyyn 35 mm filmiin. Yksi tekniikan käyttäjistä oli Bwana Devil -elokuvasta tuttu Arch Oboler. Bernierin lisäksi Chris Condon rakensi oman versionsa yksikeläjärjestelmästä, joka nimettiin SpaceVisioniksi. Condon kehitti itse asiassa muutamankin eri projektioivan stereoskooppiselle kuvalle yhden ollessa kuvien sijoittaminen samalle kelalle vierekkäin anamorfisesti. Edellämainitut ratkaisut toimivat suunnannäyttäjinä uudempien yhtä kelaa käyttävien järjestelmien kehityksessä. (Zone 2012.)

1980-lukuun mennessä yhden kelan käyttämiseen perustuvia järjestelmiä oli yli kymmenen ja suurin osa stereoskooppisesta viihdemateriaalista tuotettiin näillä tekniikoilla. Nämä kaikki kuitenkin kärsivät tekniikan yleisimmistä ongelmista joihin kuului esimerkiksi kuvan vähäinen valoisuus ja keloissa olevien stereoparien keskitysongelmat (parien keskipisteiden välinen etäisyys). (Zone 2012.)

Yksi 80-luvun merkittävämpiä tapahtumia 3D-kuvan ja varsinkin animaation puolesta oli Orin: The Legend of Orin -nimisen stereoskooppisen piirroselokuvan julkaisu 1985. Kyseinen elokuva oli ensimmäinen stereoskooppisena julkaistu piirroselokuva joka jäi valitettavan vähälle huomiolle. Toteutus sai aikoinaan hyviä arvosteluja vaikka stereoskooppinen efekti tuntuikin hieman yksinkertaiselta. Esimerkiksi Vincent Canby kirjoittaa marraskuun 22. 1985 New York Timesin elokuva-arvostelussa tämän näyttävän enemmän pahvinukketatterilta jossa litteiden hahmojen syvyyseron näkee vain näitä erottavien tasojen avulla. Stereoskooppisen illuusion luominen oli jo elokuvan aikana suuri ongelma sillä piirroksista puuttui luonnollinen syvyys. Tämän ratkaisemiseksi käytettiin tietokoneen apua ottaen jokaisen objektin piirroksiset eri puolilta ja syöttäen nämä koneeseen. Näistä piirroksista laskettiin xyz-koordinaatit joilla saatiin tuotettua eri kuvakulmia samasta objektista ja luotiin näinkeinotekoista syvyyttä. (Zone 2012)

Toinen tapahtuma samalta vuosikymmeneltä vaikutti stereoskooppisen materiaalin suosioon pysyvästi kun jo 1960-luvulla perustettu IMAX, jonka esitystapa perustui useisiin kameroihin ja tavallista elokuvateatteria parempaan kuvaresoluutioon, rakensi ensimmäisen IMAX 3D -teatterin Vancouveriin vuonna 1986. Innostuksen siivittämänä yhtiö julkaisi useita muita 3D-elokuvia ja huvipuistoesitysten lisäksi nämä olivat periaatteessa ainoita stereoskooppisia viihdetuotoksia markkinoilla 2000-luvulle asti lukuun ottamatta sarjakuvissa ja vastaavissa suosittuja anaglyfisiä kuvia. (IMAX History 2012; Schedeen 2010.)

2.1.4 Stereoskooppinen kuva 2000-luvulla

Uuden vuosituhatosen myötä teknologian kehitys vaikutti väistämättä myös stereoskooppiseen materiaaliin. Varsinkin digitaalisiin kamera-, tallennus- ja esitysjärjestelmiin siirtyminen avasi uusia mahdollisuuksia tarkemman hallinnan ja toiston ansiosta. Yksi ensimmäisistä tahoista joka tähän kehitykseen tarttui oli jälleen kerran viihdeteollisuus joka ryhtyi tutkimaan 3D-materiaalin käyttöä uuden teknologian avulla. Nopeasti kehittyvät tietokoneet mahdollistivat pienempien ja näin helpommin kontrolloitavien stereoskooppisten kamerajärjestelmien luomisen sekä materiaalin tehokkaamman jälkikäsittelyn. Vaikutukset näkyivät myös CGI-tuotannon puolella, jonka eräs merkkipaalu oli vuonna 2004 julkaistu ensimmäinen täysin animoitu IMAX 3D -formaattiin tehty *The Polar Express*. Elokuva toteutettiin ensin 2D-esitystä varten jonka pohjalta stereoskooppinen versio tehtiin käyttäen tuotantotiimin luomia virtuaalikameroita jotka sijoitettiin alkuperäisten animaatiokohtausten sekaan. (Seymour 2008)

Samaan aikaan monet yhtiöt kehittivät omat stereoskooppiset järjestelmänsä joko toistoon, tallentamiseen tai koko prosessin hallitsemiseen, kuten Disney Digital 3-D, Dolby Laboratoriesin Dolby 3D ja RealD Cinema. Näissä hyödynnettiin alalle vakiintuneita aktiivi- ja passiivitekniikoita esittämiseen, jossa ensimmäiset toimivat usein sulkimilla ja jälkimmäiset polarisaatiolla tai anaglyfitekniikalla. Alalta puuttui kuitenkin varsinainen laatusimerkki uudesta tekniikasta ennen vuotta 2009. Tuolloin ilmestyi kaksikin teknisellä ja kulttuurisellakin mittapuulla merkittävää stereoskooppista elokuvaa. (Seymour 2008; Zone 2012.)

Ensimmäinen näistä oli maaliskuussa 2009 julkaistu Dreamworksin animaatio *Monsters vs. Aliens* joka oli studion ensimmäinen aidosti stereoskooppinen animaatio. Tällä tarkoitetaan animaatiota joka on alusta asti suunniteltu ja tuotettu stereoskooppisella tuotannolla ja sen ehdoilla. Vaikka tämä asetti haasteita tuotantovaiheessa pakotti se elokuvan parissa työskentelevät muuttamaan toimintatapojaan. Esimerkiksi elokuvan johtava stereoskoopikko Phil McNally toteaa *Popular Mechanics*ille antamassaan haastattelussa kolmiulotteisten elokuvien tekemisen eroavan perinteisestä tuotannosta niin paljon että tekijät joutuvat aidosti luomaan ja ideoimaan. Esimerkkinä näistä luovista ratkaisuista voidaan pitää elokuvassa käytettyä leijuvaa stereoikkunaa jolla syvyysefektiiä hallittiin. (McCarthy 2009; Dunlop 2009.)

Monsters vs. Aliens keräsi kehuja onnistuneesta 3D:stä ja sai näin uusia katsojia kiinnostumaan tekniikasta, mutta suurimman kohinan stereosko-

pian uudesta noususta aiheutti samana vuonna ilmestynyt Avatar. Arvostetun ohjaajan James Cameronin ideoima spektaakkeli sisälsi sekä live- että CGI-kohtauksia ja näiden yhdistelmiä. Se loi vaikean ympäristön, jossa toteutettiin laadukasta stereoskooppista materiaalia. Cameronilla oli kuitenkin tästä kokemuksesta aiemmin tekemänsä *Ghosts of the Abyss*-dokumentin johdosta joka tuotettiin IMAX 3D -formaattissa. Hän muun muassa muokkasi dokumenttia varten kehittämänsä Fusion-kameraa. Tämä näytti valmiiksi kompositoidun kuvan CGI- ja live-materiaalista kameran etsimässä, helpottaen kohtausten hallintaa. Tämän ja muiden uusien ideoiden ansiosta Avatar asetti uuden tason stereoskooppisen materiaalin tuotannossa. (Thompson 2010.)

Viimeistään Avatarin tuoman julkisuuden ja kiinnostuksen myötä stereoskopia nousi jälleen kaiken kansan tietoisuuteen. Stereoskooppisten elokuvien julkaisutahti tasaantui ja pian melkein kaikki suuremmat elokuvat julkaistiin myös 3D-muodossa. Tämän lisäksi viihde-elektroniikkavalmistajat ryhtyivät kehittämään kilvan stereoskooppista kuvaa toistavia laitteita kuluttajille ottaen kaiken irti uudelleen alkaneesta stereobuumista. Kuluttajille suunnattujen sovellutuksien lisäksi stereoskopian käyttöä tutkittiin ahkerasti myös muuta käyttöä varten josta esimerkiksi mainittakoon lääketiede ja teollisuus. Viihde- ja mediateollisuuden kannalta tuotantoteknologiassa ei tapahtunut suurempia harppauksia ennen Peter Jacksonin vuonna 2013 ilmestynyttä *The Hobbit* -elokuvaa. Jackson esitteli termin nimeltä HFR (High Frame Rate) joka nimensä mukaisesti tarkoittaa nopeampaa ruutunopeutta. Kun tyypillisesti elokuva, oli se sitten 2D- tai 3D-elokuva, kuvataan ja esitetään 24 ruudun sekuntinopeudella käytetään HFR-tekniikassa 48 ruudun sekuntinopeutta. Sulavammin liikkuvalla kuvalla pyritään vähentämään liikkeestä johtuvia ilmiöitä kuten liiksumennusta joka vaikuttaa negatiivisesti stereokuvan muodostamiseen aiheuttaen epämiellyttävän katselukokemuksen. (Couldwell 2013; Connelly 2013.)

Vaikka stereoskopia on jälleen noussut pinnalle ja elää eräänlaista uutta renessanssia pidetään tekniikkaa edelleen myös turhakkeena. Suurin vastustus kohdistuu stereoskooppisen materiaalin esittämisen hankaluuteen ja tämän aiheuttamiin epämukavuuksiin sekä varsinaiseen hyötyyn, jolla tarkoitetaan melkein yksistään sitä, kuinka viihdeteollisuus tätä käyttää. Tällä päästäänkin stereoskopian tulevaisuutta muovaaviin kysymyksiin: kuinka siitä voidaan tehdä esittämisen tai tarinankerronnan apuväline ratkaisun sijaan ja kuinka tehdä stereomateriaalin esittämisestä mahdollisimman yksinkertaista? Jälkimmäiseen kysymykseen etsitään jatkuvasti vastauksia ns. autostereoskooppisista esitystekniikoista joilla käytännössä tarkoitetaan stereokuvan esittämistä ilman lasien tarvetta. Ensimmäinen kysymys on taasen täysin sisällöntuottajien käsissä ja keskustelu tästä jatkunee pitkälle tulevaisuuteen, sillä teknologian ollessa absoluuttista ovat mielipiteet jokaisen omia. (Murchie, 2013; Mendiburu 2012)

2.1.5 Stereomateriaalin esitystekniikat

Vaikka teknologia on kehittynyt huomasti stereoskopian alkuajoista käytetään sen tuottamisessa ja esittämisessä edelleen samanlaisia ratkaisuja kuin ennen. Tekniset kehitykset kuten kamera- ja esitysjärjestelmien digitalisointuminen ovat vaikuttaneet enimmäkseen katselukokemukseen ja tuotannon taakkaan periaatteiden pysyessä samoina. Yksi tärkeimmistä kohteista jota stereon kohdalla kehitetäänkin on se kuinka materiaali saadaan esitettyä katsojille mahdollisimman mukavasti, vaivattomasti ja kustannustehokkaasti. (Mendiburu 2012; Murchie 2013.)

Stereoskooppisia kuvia voidaan esittää monin eri tavoin. Näihin tapoihin lukeutuu muun muassa anaglyfitekniikka, kuvaparit, polarisaatioon perustuvat ratkaisut ja jopa hologrammit. Vaihtoehtoista anaglyfit, polarisaation perustuvat ratkaisut sekä sulkimia käyttävät, toisin sanoen aktiivitekniikat ovat käytetyimpiä käytännöllisyyden ja kustannussyiden vuoksi. Autostereoskooppisiakin ratkaisuja käytetään nykyään esimerkiksi televisioissa, viihde-elektronikassa sekä tieteellisemmissä sovellutuksissa mutta nämä harvemmin ovat käytännöllisiä ratkaisuja eivätkä näin ollen sovi kaikkiin tilanteisiin. (Mendiburu 2012; Murchie 2013.)

2.1.6 Anaglyfi

Anaglyfitekniikalla tarkoitetaan vastavärien käyttöä kuvien suodattamiseen. Tekniikassa kuvaparit väritetään sopivilla vastaväreillä, esimerkiksi punaisella ja vihreällä, yhdistetään yhdeksi kuvaksi ja esitetään katsojalle jolla on kuvaparien väreihin sopivat linssit laseissaan. Tekniikka on yksinkertaisimmillaan halpa ja anaglyfikuvia on suhteellisen helppo tehdä mutta jälki ei kestä vertailua monimutkaisempien ratkaisujen rinnalla. Katsojalle näkyvän anaglyfin syvyysilluusio on heikko ja vastavärit heikentävät kuvalaatua huomattavasti. (Mendiburu 2009).

Anaglyfitekniikasta on johdettu kehittyneempiäkin ratkaisuja stereomateriaalin esittämiseen. Esimerkkinä näistä on Dolby 3D jossa käytetään interference filter -tekniikkaa. Yksinkertaistettuna tekniikassa katsojalle näkyvät päävärit jaetaan vielä omiin osiinsa jotka suodatetaan tekniikalle erityisesti kehitetyillä laseilla. Nämä lasit sisältävät suodattimia sekä päävärien osien suodattamiseen että värikorjauksiin, luoden hyvälaatuisen lopputuloksen. Menetelmä on kuitenkin suhteellisen kallis ja sekin kärsii samasta vaivasta kuin muut yhtä projektorilla käyttävät tekniikat eli kuvakirkkauden vähenemisestä. (Livolsi 2010.)

2.1.7 Polarisatio

Stereoskopiassa katselutekniikoita, joissa käytetään motorisoimattomia lasseja, kutsutaan passiivitekniikoiksi. Anaglyfin lisäksi näihin kuuluu myös polarisaatiotekniikka jossa kuva esitetään valoa polarisoivien suodattimien avulla. Valon polarisaatio on periaatteessa valon suunnan kääntämistä käyttäen sopivaa väliainetta. Tekniikassa esitettävä stereokuva suodatetaan ensin polarisoivilla kalvoilla esityspinnalle josta katsoja näkee sen polarisaatiota käyttävien lasien läpi. Polarisaation ansiosta muu valo ei läpäise lasseja jolloin stereokuvat voidaan eritellä toisistaan linssien erisuuntaisella polarisaatiolla. (Mendiburu 2009.)

Valon kääntäminen voidaan tehdä kahdella tavalla: suorasti (straight polarization) tai spiraalimaisesti (circular polarization). Suorassa polarisaatiossa valo suodatetaan toiselle linssille pystysuuntaan ja toiselle linssille vaakatasossa. Menetelmässä on heikkoutensa sillä suora polarisaatio ei kestä kovin paljoa pään kääntelyä ilman että syvyysilluusio kärsii. Kun valoa polarisoidaan kiertäen spiraaliksi, kulkee spiraali toisessa linssissä oikealle ja toinen vasemmalle. Tällä menetelmällä katsojan ei tarvitse olla niin paikoillaan ilman että katselukokemus kärsisi. (Themelis 2010.)

Polarisaation etuina voidaan pitää esitystekniikan yksinkertaisuutta sekä katseluun tarvittavien lasien halpuutta. Kääntöpuolena esitettävän stereokuvan resoluutio käytännössä puolittuu sillä kuvaparit esitetään samanaikaisesti. Lisäksi polarisoidun materiaalin heijastamiseen projektorilla vaaditaan usein hyvin heijastava kangas (esimerkiksi hopeinen) joka on paljon kalliimpi kuin normaali kangas. Monet stereoskooppisten esitysjärjestelmien valmistajat suosivat kuitenkin polarisaation käyttämistä varsinkin kustannussyistä ja ovatkin kehittäneet erilaisia ratkaisuja ongelmiin. (Mendiburu 2009; Themelis 2010.)

2.1.8 Aktiivitekniikka

Kun stereoskopiassa puhutaan aktiivitekniikasta tarkoitetaan sillä stereomateriaalin katsomista lasilla joissa käytetään elektroniikkaa kuvaparien erottamiseen katsojalle. Yleisimmin tähän käytetään sulkimia jotka on tahdistettu esitettävän materiaalin kuvataajuden mukaan jolloin yhdelle silmälle näytetään erikseen sille tarkoitettu kuva samalla kun toisen silmän suljin on kiinni. (Reeve & Flock 2010; Fauster 2007.)

Aktiivisella näyttötekniikalla katseltuna stereomateriaali ei menetä resoluutiotaan sillä kullekin silmälle esitetään erikseen kokonainen kuva. Tekniikassa on kuitenkin omat heikkoutensa: katselussa käytettävät lasit vaativat sähköä toimiakseen ja ovat näin ollen alttiimpia häiriöille kuin passiivitekniikoissa käytettävät. Lisäksi ne painavat huomattavasti enemmän aiheuttaen helposti epämukavuutta ja ovat kalliimpia kuin polarisoidut lasit. (Fauster 2007.)

2.2 KUINKA SYVYYTTÄ HAVAINNOIDAAN

Ihmisen näköjärjestelmä eli se, kuinka silmä vastaanottaa valoa ja aivot tulkitsevat tämän kuvaksi on hyvin monimutkainen. Siihen liittyy paljon fysiologisia ja psykologisia tekijöitä jotka tulee ottaa huomioon varsinkin stereoskooppista materiaalia tuotettaessa. Suurimmat tekijät syvyyden havainnoinnissa ovat monokulaariset (yhdellä silmällä havainnoitavat) ja binokulaariset (kahdella silmällä havainnoitavat) vihjeet. Silmien havainnoimien kuvien vihjeitä yhdistelemällä aivot sulauttavat näistä yhden syvyyttä sisältävän kokonaisuuden jonka havainnoija lopulta näkee. (Lipton 1982; Teittinen 1993.)

2.2.1 Monokulaariset vihjeet

Monokulaarisilla vihjeillä tarkoitetaan syvyyttä ilmaisevia näköhavaintoja jotka voidaan todeta käyttämällä yhtä silmää kerrallaan. Vihjeitä käyttämällä aivot luovat vaikutelman syvyydestä kaksiuuloitteisessakin kuvassa ja ovat näin ollen tärkeitä myös stereoskooppisen kuvan muodostuksessa. (Lipton 1982; Teittinen 1993.)

Liikeparallaksi

Perustuu ilmiöön jossa havainnoijaa lähempänä olevat kohteet liikkuvat nopeammin suhteessa kauempana oleviin. Esimerkkinä autosta katsottaessa tien vierellä olevat puut menevät nopeammin ohi kuin kaukana sijaitseva kukkula.

Suhteellinen koko

Havainnoijaa lähempänä oleva kohde vaikuttaa suuremmalta kuin kauempana oleva.

Päällekkäisyys

Kun havainnoitavaa kohdetta peittää jokin ymmärretään peittyvän kohteen olevan peittävän takana.

Lineaarinen perspektiivi

Perustuu siihen että kauempana oleva kohde pienenee olemattomiin. Esimerkkinä voidaan käyttää ajotien reunojen yhdistymistä kun tätä katsotaan tarpeeksi kauas.

Atmosfäärinen perspektiivi

Kauempana olevat kohteet haalistuvat tai saavat sinertävän värityksen johon tuen ilmakehän aiheuttamista vääristyksistä.

Akkomodaatio

Verrattavissa kameran objektiivin tarkentamiseen, akkomodaatiolla tarkoitetaan silmän kohdistumista tiettyyn kohteeseen muokkaamalla verkkokalvon muotoa.

Valaistus ja varjot

Valonlähteiden suuntien ja varjojen ilmentämät vihjeet antavat havainnoijalle tietoa kohteen muodosta, koosta ja sijainnista.

Pintagradientti

Tällä viitataan ilmiöön, jossa kohteen pintatekstuurit muuttuvat yksityiskohtaisemmiksi mitä lähempänä kohde on, ja päinvastoin mitä kauempana tämä on. Parhaiten ero näkyy kuvan 3 grafiikasta.

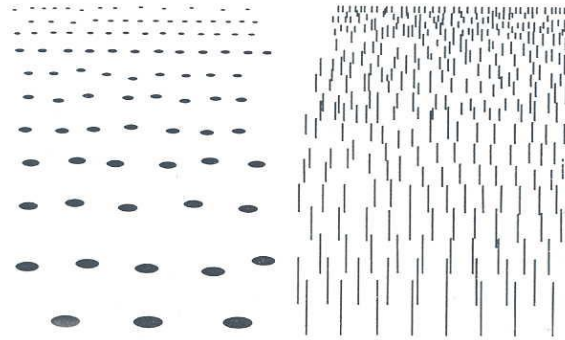
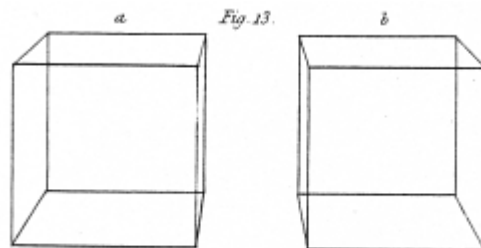


FIGURE 2.8: Examples of texture gradient. (From Gibson, 1950.)

Kuva 3. Pintagradientti (Gibson 1950)

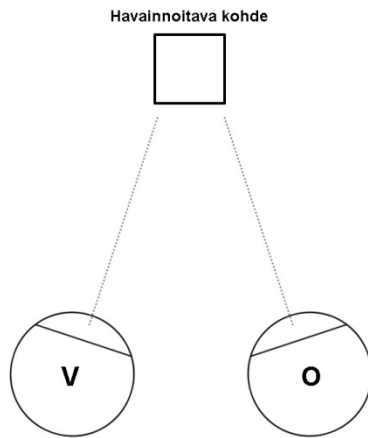
2.2.2 Stereopsis ja konvergenssi

Stereopsis eli stereonäkö on stereokuvan havainnoimisen perusedellytys ja binokulaarinen syvyysvihje. Sillä tarkoitetaan aivojen kykyä havainnoida objektien välistä etäisyyttä syvyysakselilla yhdistämällä kahdesta eri suunnasta vastaanotettua kuvaa. Ilmiö perustuu silmien väliseen etäisyyteen joka on yleisesti noin 50-75 millimetriä ja näiden näkemien kuvien eroihin joiden perusteella näköhavainto muodostetaan. Vaikka asia vaikuttaa nykyaikana hyvin yksinkertaiselta, löydettiin tälle lopullinen selitys vasta vuonna 1838, kun Sir Charles Wheatstone julkaisi tutkimuksensa jossa hän käsitteli aihetta. Hän selvitti muun muassa kuinka katselukulma vaikuttaa objektin ulkonäköön, kun aikaisemmin esimerkiksi Leonardo Da Vinci tutki silmien välistä etäisyyttä ja tämän vaikutusta havainnointiin. Da Vinci ei kuitenkaan kiinnittänyt huomiota siihen kuinka käytettävä silmä muuttaa havainnoitavan objektin ulkomuotoa. Selityksenä tälle Wheatstone tarjoaa Da Vincin käyttämää esimerkkiä joka oli pyöreä pylväk kun taas Wheatstone itse käytti esimerkkinä kuutiota josta näkökulman vaikutus näkyi selvästi (kuva 4). (Wheatstone 1838.)



Kuva 4. Kuutio kahdesta eri näkökulmasta (Wheatstone, 1838)

Toiseksi binokulaariseksi vihjeeksi luettava konvergenssi liittyy silmien kääntymiseen kohteeseen tarkentamista varten (kuva 5). Silmien liikkeestä saatava näköhavainto on tarpeellinen kun havainnoitavaa kohdetta katsellaan läheltä mutta ei juurikaan vaikuta yli 10 metrin etäisyyksillä. (Lipton 1982; Teittinen 1993.)



Kuva 5. Silmien konvergenssi (Hämäläinen 2013)

Konvergenssin vastakohta on silmien kääntyminen ulospäin, divergenssi, jota harvemmin tapahtuu luonnollisissa tilanteissa. Ihmisen silmä sietää pienen määrän divergenssiä mutta pidemmällä aikavälillä se aiheuttaa epämukavuutta ja mahdollisesti kipua. (Lipton 1982.)

2.3 STEREOKUVAN MUODOSTUKSEN PERUSKÄSITTEET

2.3.1 Interaksaali

Suurimpia tekijöitä stereoskooppisen materiaalin tuottamisessa on interaksaalinen etäisyys tai lyhyesti interaksaali. Stereoskooppisessa tuotannossa tarvitaan aina kaksi lähdettä kuvapareille ja interaksaali on näiden lähteiden etäisyys toisistaan (kuva 6). Toisin sanoen interaksaali on sama kuin kuvaavien kameroiden, aitojen tai virtuaalisten, välinen etäisyys. Interaksaalin merkitys syvyys efektiin on vahvin sillä se vaikuttaa sekä kohteiden syvyyteen suhteessa toisiinsa että kohteen syvyyteen itsessään. Eräänä interaksaalin arvona voidaan käyttää esimerkiksi aikuisen ihmisen silmien välistä etäisyyttä (interokulaari) joka on noin 63-65 millimetriä. (Hemenway 2010; Lipton 1982.)



Kuva 6. Kameroiden interaksaali (Reeve & Flock 2010)

Interaksiaalinen suurilla muutoksilla voidaan saada hyvinkin mielenkiintoisia lopputuloksia. Kun kameroiden interaksiaali on paljon suurempi kuin interokulaari, näyttävät havaittavat kohteet stereokuvaa esittäessä pienemmiltä kuin aidosti ovat, saaden katsojan vaikuttamaan ”jättiläiseltä”. Tätä ilmiötä kutsutaan hyperstereoksi ja sitä voidaan käyttää esimerkiksi todella suurilla kohteilla kuvatessa. Kun interaksiaali taas on paljon pienempi kuin interokulaari, menettävät kohteet syvyyttä ja vaikuttavat litteämmiltä kuin oikeasti ovat. Tämän ilmiön yleinen nimitys on hypostereo. (Hemenway 2010; Lipton 1982.)

Hyvän interaksiaalisen käyttäminen on ehdottoman tärkeää stereoskoopiassa tuotannossa sen vaikuttaessa muun muassa suoraan parallaksiin eli esitettävien kuvien etäisyyteen toisistaan, muodostaen mahdollisuuden epämuukavalle katselukokemukselle parallaksin kasvaessa liialti. Interaksiaalisen määrittämisessä otetaan huomioon monia eri tekijöitä ja tätä varten onkin kehitetty erilaisia kaavoja sekä apuohjelmia. Yksi helppo sääntö on käyttää noin 3% kameran etäisyydestä lähimpään kohteeseen interaksiaalina. Tämä sopii etenkin pienille näytöille tehdyssä stereomateriaalissa mutta suuremman esitysformaatin kohdalla tulisi käyttää matematiikkaa toimivan interaksiaalisen määrittämisessä. (An & Ramesh & Lee & Chung 2011.)

2.3.2 Parallaksi

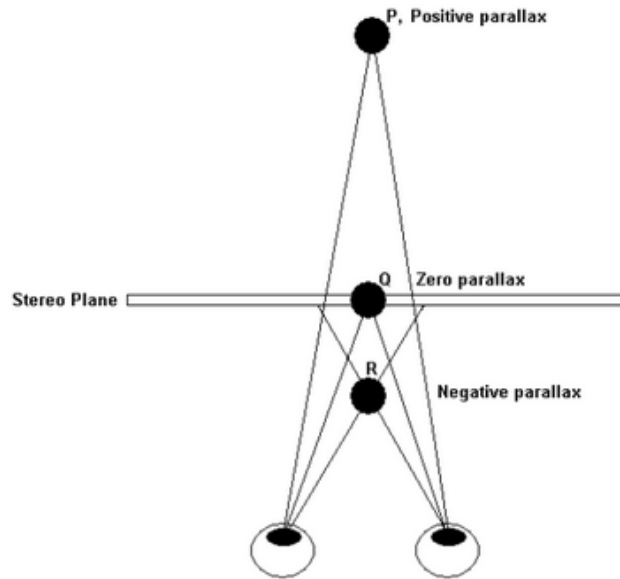
Jos stereoskooppisen materiaalin tuotannossa on yksi asia jota ei voi korostaa liikaa, se on tieto siitä että siinä käsitellään aina kahta kuvaa. Tähän liittyy myös parallaksi joka ilmaisee kahden katsojalle esitettävän kuvan etäisyyden toisistaan vaakatasossa. Tämä puolestaan määrittää sen miten katsoja havaitsee kuvassa näkyvän kohteen eli sijaitseeko se katselutason sisällä (positiivinen parallaksi), yleisötalassa (negatiivinen parallaksi) vai katselutasolla (nollaparallaksi). Näiden erot näkyvät selkeimmin kuvasta 7 (Lipton 1982; Mendiburu 2012.)

Kohde mikä omaa positiivisen parallaksin sijaitsee katsojalle esitettävissä kuvapareissa siten, että oikealle silmälle tarkoitettussa kuvassa kohde on oikealla puolella, ja vasemmalle silmälle tarkoitettussa kuvassa vasemmalla puolella. Tämä luo illuusion kohteen sijaitsemisesta katselutason sisäpuolella. Kun parallaksi on sama kuin interokulaarinen etäisyys, eli kohde on kuvissa samalla horisontaalisella tasolla kuin silmät, sijaitsee tämä stereoskooppisessa äärettömyydessä. Tässä tilanteessa silmät eivät joudu konvergoimaan mutta parallaksin kasvaessa tätä suuremmaksi silmät divergoivat mikä aiheuttaa nopeasti ongelmia. (Yu 2010; Mendiburu 2012.)

Kun kohde omaa nollaparallaksin sijaitsee se katselutason pinnalla. Tällöin kohde sijaitsee esitettävissä kuvapareissa samassa kohdassa eli sillä ei ole lainkaan parallaksia. (Yu 2010; Mendiburu 2012.)

Kohde millä on negatiivinen parallaksi mielletään sijaitseväksi katselutason ulkopuolella, jolloin kohde näyttää tulevan kohti katsojaa. Tässä tapauksessa kohde sijaitsee kuvapareissa siten että oikealle silmälle esitettä-

vässä kuvassa kohde sijaitsee vasemmalla kun taas vasemman silmän kuvassa se sijaitsee oikealla. (Yu 2010; Mendiburu 2012.)



Kuva 7. Parallaksin vaikutus kohteen sijaintiin (Yu 2010)

2.3.3 Samansuuntaisilla kameroilla kuvaaminen / parallel

Stereomateriaalia kuvatessa voidaan kameroita käyttää kahdella eri tavalla, samansuuntaisesti (parallel) tai käännettynä (converged). Samansuuntaisilla kameroilla kuvatessa kamerrat sijoitetaan vierekkäin ja suunnataan niin että näistä lähtevät säteet ovat samansuuntaisia eivätkä risteä koskaan. Tällöin syvyys efektiä hallitaan joko interaksiaalia muuttamalla tai jälkikäsitteilyssä. Etuna käännettyihin kameroihin samansuuntaisilla kameroilla kuvatessa ei kuviin tule perspektiivin aiheuttamaa vääristymää. (Lipton 2008)

2.3.4 Kameroiden konvergensi / toe-in

Konvergenssistä puhuttaessa stereoskooppisessa tuotannossa tarkoitetaan täsmälleen samaa asiaa kuin silmien konvergenssissä. Tekniikassa kameroita käännetään sisäänpäin kohti tiettyä pistettä millä vaikutetaan kuvien parallaksiin ja näin lopullisen kuvan syvyyteen. Tekniikkaa kutsutaan myös nimellä toe-in. Tätä voidaan käyttää vaihtoehtona jos samansuuntaisilla kameroilla kuvaaminen, jolloin parallaksiin voidaan vaikuttaa esimerkiksi interaksiaalilla, ei ole vaihtoehto. (Yu 2010; Mendiburu 2012.)

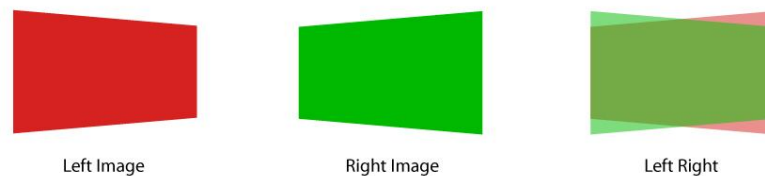
Siitä, kumpi tapa kuvata stereomateriaalia on toista ylivoimaisempi, riippuu vahvasti olosuhteista kuten kuvauskalustosta ja kohteesta. Konvergoinnin ollessa muuten tehokas keino aiheutuu siitä vääristymä jota kutsutaan keystone-vääristymäksi. Vääristymä on periaatteessa helposti korjattavissa mutta tämä ei ole varsinkaan live-materiaalin kohdalla aina mahdollista. (Lipton 2008.)

2.3.5 Polttovälin vaikutus stereokuvaan

Stereomateriaalia tehtäessä on suositeltavaa käyttää mahdollisimman vähän pitkiä polttovälejä, sillä polttovälin kasvaessa syvyys efekti vähenee aivan kuten kaksiuuloitteisen materiaalin kohdalla. Äärimmillään liian suuri polttoväli tekee kohteista pahvimaisia eli litteitä, tilanne joka on verrattavissa liian pieneen interaksiaalisiin aiheuttamaan ilmiöön. Yksi sääntö joka polttovälin määrittämisessä kannattaa muistaa on se että etäisyys lähimpään kohteeseen ei saa olla pienempi kuin interaksiaalinen ja polttovälin tulo. (Herbig n.d.)

2.3.6 Keystone-vääristymä

Kameroiden konvergoinnista johtuvalla keystone-vääristymällä tarkoitetaan yksinkertaisimmillaan kameroiden perspektiivieroista johtuvaa pystysuuntaista parallaksia kuvapareissa. Ilmiössä kuvan toinen reuna näyttää suuremmalta kuin toinen, ja tämä toistuu käänteisesti toisessa kuvassa. Kuva 8 esittää vääristymän selkeästi. Tästä aiheutuva vertikaalinen parallaksi kuvien välillä ei ole luonnollista jolloin se aiheuttaa hyvin nopeasti havaintoristiriitoja ja epämukavuutta. Vääristymä tapahtuu yksinomaan kameroita konvergoidessa ja se saadaan usein korjattua vasta jälkikäsitelystä. (Hemenway 2010; Woods 2010.)



Kuva 8. Keystone-vääristymä stereoskooppisessa tuotannossa (Seymour 2010)

2.3.7 Stereoikkuna ja siihen vaikuttaminen

Edellämainittujen lisäksi eräs tärkeimmistä asioista joka tulisi muistaa ja ymmärtää stereotuotannossa on stereoikkuna (stereo window). Helpoin tapa omaksua konsepti on mieltää stereoikkuna samaksi kuin oikea talon ikkuna, jonka takana olevat kohteet sijaitsevat ikkunan ulkopuolella ja edessä olevat kohteet ikkunan eli talon sisäpuolella. (Mendiburu 2009.)

Esiteltävä mielikuvaa käsiteltäessä stereoskopian termein stereoikkuna on näyttötaso jossa kohteet sijaitsevat nollaparallaksissa, ja tämän sisä- sekä ulkopuolella olevat kohteet omaavat joko positiivista (kohde ikkunan ”ulkopuolella” eli näyttötason sisällä) tai negatiivista (kohde ikkunan ”sisäpuolella”) parallaksia. (Mendiburu 2009.)

Tässä päästään tuotannollisesti tärkeään asiaan sillä stereoikkuna eli nollaparallaksi sijaitsee pisteessä jossa kamerat konvergoivat. Jos stereomateriaalin kuvauksessa käytetään samansuuntaisia kameroita eivät näistä lähte-

vät ”säteet” koskaan konvergoitu täysin jolloin stereoikkuna sijaitsee äärettömyydessä. Tällöin kaikki kuvattavat kohteet omaavat negatiivisen parallaksin eli sijaitsevat yleisötilassa. Luonnollisesti tämä ei ole toivottava tilanne, ja stereoikkunan sijaintia joudutaankin manipuloimaan jälkituotannossa muuttamalla kuvaparien välistä etäisyyttä vaakatasossa. Tämä tekniikka tunnetaan lyhenteellä HIT joka tulee sanoista Horizontal Image Translation. (Wattie n.d.)

Stereoikkunan kohdalla kameroiden sisäänkääntäminen nostaa vahvat puolensa esiin. Konvergenssiin vaikuttamalla voidaan vaikuttaa myös stereoikkunan sijaintiin suoraan määrittelemällä missä kameroiden säteet kohtaavat. Näin voidaan määrittellä jo tuotantovaiheessa missä syvyystasossa kohteet sijaitsevat. Tälläkään tekniikalla ei selvitä ilman jälkikäsitelyä edellämainitun keystone-vääristymän johdosta. (Wattie n.d.)

2.3.8 Leijuva stereoikkuna

Yksi suosittu tapa vaikuttaa stereoikkunaan on leijuvan stereoikkunan (floating stereo window) käyttäminen. Tässä ikkunan sijaintia voidaan muuttaa luomalla vasemman kuvan vasempaan reunaan musta palkki ja vastaavanlainen oikean kuvan oikeaan reunaan jolloin luodaan illuusio näyttötason lähenemisestä, jättäen enemmän tilaa stereoeffektien käyttämiseen teatteritilassa. Tällä voidaan myös korjata muun muassa stereoikkunaan liittyviä ongelmia. Stereoikkunaa voidaan manipuloida myös muilla tavoin kuten esimerkiksi lisäämällä musta reunus vain toiseen kuvaan. Stereoikkunaa voidaan myös animoida sen muutoksien ollessa hyvin huomaamattomia ihmissilmälle ja tätä käytetäänkin stereotuotannoissa nykyään paljon. (Mendiburu 2009.)

2.3.9 Window violation

Eräs ongelma, johon törmätään kuvattaessa stereomateriaalia liittyy kuvien reunuksiin sekä stereoikkunaan. Yleisin window violation -tilanne on sellainen missä toiselle silmälle näkyy kuvan ulkopuolelle menevästä kohteesta enemmän kuin toiselle. Katsojilla voi olla vaikea luoda tästä toimivaa stereokuvaa ja se aiheuttaa herkästi myös epämukavuutta kuten useimmat virheet stereoskooppisesta materiaalista puhuttaessa. (Mendiburu 2009.)

Toinen window violation -virhe on vahvasti sidoksissa stereoikkunan vertauksiin talon ikkunan kanssa. Kuvitellaan tilanne jossa katsoja seisoo talon sisällä ja näkee talon ulkopuolella olevan ihmisen. Ikkunan karmit estävät talon sisällä olevaa näkemästä kaikkea tästä ulkona seisovasta ja se on luonnollista. Kun tarkkailtava henkilö astuu talon sisälle ja asettuu ikkunan eteen, karmit eivät peitä mitään vaan hän näkyy kokonaan. Tämäkin on luonnollinen tilanne. Stereokuvassa ”ikkunan” ulkopuolella seisova ihminen voi mennä osittain kuvan ulkopuolelle sillä hän sijaitsee katselutilan sisällä jonka reunat ovat ikkunan karmit. Jos taas samaa esimerkkiä jatkaen tämä henkilö astuu ”sisälle” eli yleisötilaan ei näyttötaso todennäköisesti riitä esittämään häntä kokonaan jolloin henkilö on edelleen ikku-

nan karmien takana. Yleisötilassa tällaista ei kuitenkaan saa esiintyä sillä tämä aiheuttaa ristiriitoja näköhavaintojen ja vihjeiden välillä ja johtaa jälleen epämukavuuteen. Toisin sanoen negatiivista parallaksia omaava eli yleisötilaan tuleva kohde ei saa mennä ruudun ulkopuolelle ainakaan hiitaasti. Nopeat leikkaukset eivät aiheuta liikaa räsitystä silmälle. (Mendiburu 2009;)

2.3.10 Syvyysbudjetti

Syvyysbudjetti (depth budget) avittaa katsojajäystävällisen ja toimivan stereon tuottamisessa. Termillä tarkoitetaan syvyys suunnan maksimietäisyyttä kohtauksessa olevien kohteiden välillä. Jos budjetti ylitetään aiheuttaa se vaikeuksia kuvien sulauttamisessa ja syvyysvaikutelman muodostuksessa. Kohtauksen syvyysbudjetin määrittää muun muassa kuvauksessa käytettävä linssi, kohteiden sijoittelu kohtauksessa ja katselussa käytettävän näyttötason koko. (Hemenway 2010)

2.3.11 Ghosting / haamukuvat

Kun stereoskooppista materiaalia katsova havainnoi myös toiselle silmälle tarkoitettua kuvaa väärässä silmässä kutsutaan näköhavaintoa haamukuvaksi. Tämä nähdään haaleana kaksoiskuvana stereomateriaalia katsottaessa. Tätä esiintyy helposti varsinkin anaglyfisissä kuvissa mutta eivät polarisaatiota ja aktiivista menetelmää tekniikatkaan ole haamukuvilta turvassa. Haamukuvien esiintyminen on suhteellisen yleistä mutta useimmiten katsoja ei näitä havainnoi. Näiden voimistuessa stereokuvan muodostaminen katsojan silmässä vaikeutuu ja syvyysillusion laatu heikkenee. (Woods 2011; Mendiburu 2009.)

Syitä haamukuvien muodostumiseen voi olla monia, mutta useimmiten kyseessä on joko esitystekniikan aiheuttama tilanne tai kuvien kontrasti. Esitystekniikassa esimerkiksi huonolaatuiset tai muuten huonosti toimivat aktiivilasit voivat päästää väärän silmän kuvaa katsojalle ja anaglyfitekniikassa muun muassa linssien värit vaikuttavat haamukuvien vahvuuteen. Sisällöllisen näkökulman kannalta stereomateriaalissa ei tulisi käyttää liian suuria kontrastieroja sillä ne aiheuttavat helposti haamukuvia. (Woods 2011; Mendiburu 2009.)

3 STEREOKUVAT 3D-MALLINNUKSELLA JA VIRHEENKORJAUS

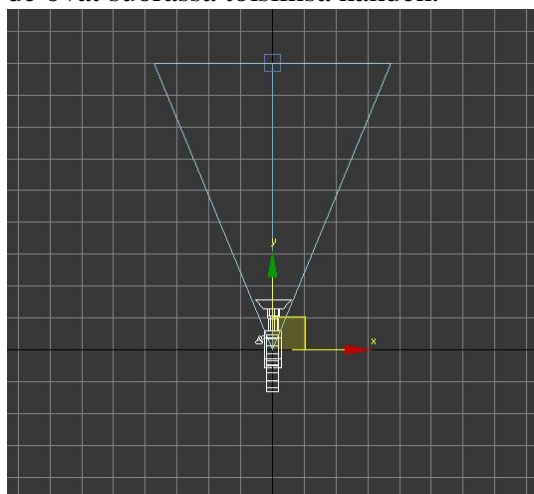
3.1 Yksinkertaisen stereokuvan muodostaminen mallinnusohjelmistossa

Stereomateriaalia tehtäessä tulisi kuvamateriaalin olla mahdollisimman virheetöntä sillä jälkikäsitellyssä ei kaikkea pystytä korjaamaan, jolloin huonosta stereosta voidaan parhaimmillaan saada keskinkertaista. Tämä prosessi voi venyä pitkäksi jolloin jälkituotannon ja näin tuotannon aikataulu menee helposti sekaisin. Varsinkin live-tilanteissa virheetön stereo ei aina ole mahdollista, sillä kuvaustilanteissa joudutaan ottamaan huomioon kaluston ja ympäristön asettamat rajat. Stereota tuotettaessa tietokonegrafiikka onkin täydellinen tuotantoalusta mahdollisimman hyvälaatuisen kolmiulotteisen kuvan tuottamiseksi, sillä tietokoneympäristössä fysiikan lait voidaan unohtaa ja virtuaalikameroissa ei ole rajoituksia.

Tämän raportin työvaiheessa tuotetaan erinäisiä stereokuvia käyttäen 3DS Max-mallinnusohjelmistoa ja Adobe After Effects -jälkikäsitely- tai Adobe Photoshop -kuvankäsittelyohjelmaa. Esimerkkikuvien luomisessa pyritään simuloimaan tyypillisimpiä ongelmatilanteita stereomateriaalissa sekä esittelemään näihin tehtäviä korjauksia ja dokumentoimaan prosessit vaihe vaiheelta. Tuotettavat kuvat toteutetaan anaglyfiseen muotoon sillä näiden tarkastelemiseen tarvitaan vain sopivan väriset lasit(tässä tapauksessa puna/syaani).

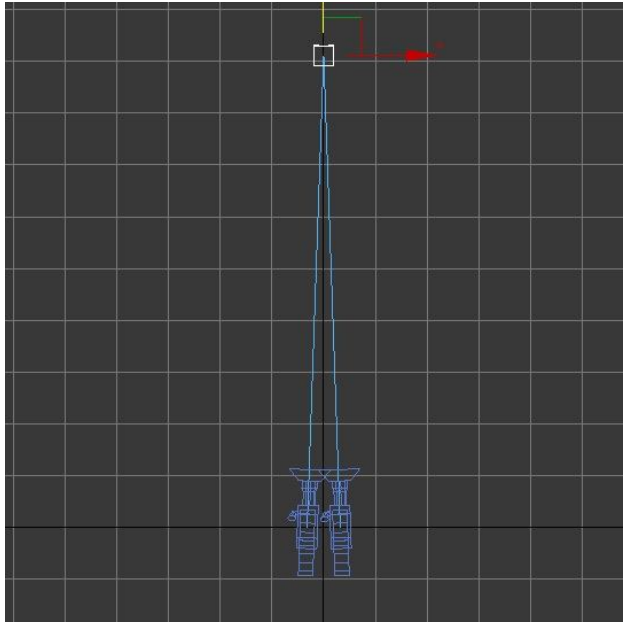
Stereokuvan luominen mallinnusohjelmistossa on suhteellisen yksinkertaista. Virtuaalikamerat ovat täysin identtisiä toistensa kanssa joten näiden asettaminen vierekkäin ja kohdistaminen haluttuun suuntaan on kaikki mitä tarvitaan aivan perustasoisien kuvien luomiseen. Näiden kanssa ei tarvitse miettiä fyysisiä eroavaisuuksia kuten valkotasapainoa sekä värilämpötilaa vaan asetukset voidaan asettaa tarkalleen halutuksi.

Ensimmäiseksi 3DS Max:ssa luodaan kohdekamera(Target camera) jonka kohde sijoitetaan haluttuun etäisyyteen y-akselilla. Sekä kameran että tämän kohteen sijainti x-akselilla muutetaan nolaksi jolloin kamera ja kohde ovat suorassa toisiinsa nähden.



Kuva 9. Ensimmäisen kameran sijoittelu ja suuntaaminen

Seuraavaksi kamerasta luodaan kopio raahamalla alkuperäistä shift-näppäin pohjassa jolloin tämän kohde pysyy samassa sijainnissa kuin alkuperäisen kameras kohde. Kun kopio on luotu siirretään se vasemmalle puolelle nolapisteestä (Top-näkymästä katsottuna) 3,2 senttiä jolloin sijainti on siis -3,2cm. Seuraavaksi valitaan alkuperäinen kamera ja siirretään tätä taasen nolapisteestä oikealle 3,2 senttiä jolloin sijainnin tulisi olla 3,2cm. Näin on luotu stereoskooppinen kamerarig 6,4 sentin interaksiaalilla joka vastaa interokulaaria. Kameroiden polttoväliksi on asetettu 35mm mitä tullaan käyttämään työvaiheen kaikissa osissa. Ero ei vaikuta suurelta sceneä katsoessa (kuva 10) mutta interaksiaalinen vaikutuksen näkee lopputuloksesta.



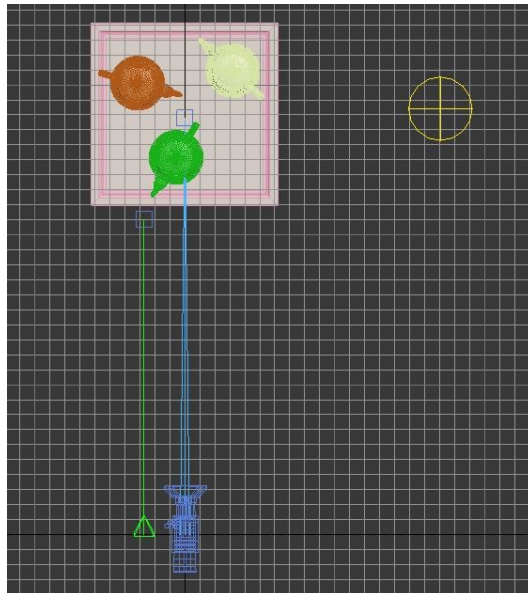
Kuva 10. Stereoskooppiset kamerat 6,4cm interaksiaalilla

Selkeyden kannalta kamerat on hyvä nimetä kuvaavasti, tässä tapauksessa oikea kamera on saanut nimen OikeaK ja vasen kamera nimen VasenK.

Seuraavaksi sceneen sijoitetaan kuvattavia kohteita. Tässä käytetään hyväksi aiemmin selvitettyä 3%:n sääntöä, joten 6,4 sentin interaksiaalilla lähin kohde saa sijaita n. 213 sentin etäisyydellä kameroista. Etäisyyden hahmottamista helpottamiseksi luodaan Tape-objekti jolla voidaan merkitä etäisyyksiä, asetetaan tämä aloittamaan y-akselin nolapisteestä ja tehdään siitä 213 senttiä pitkä. Alku- ja loppupään x-sijainnin arvo tulisi asettaa samaksi jolloin mitta on suora.

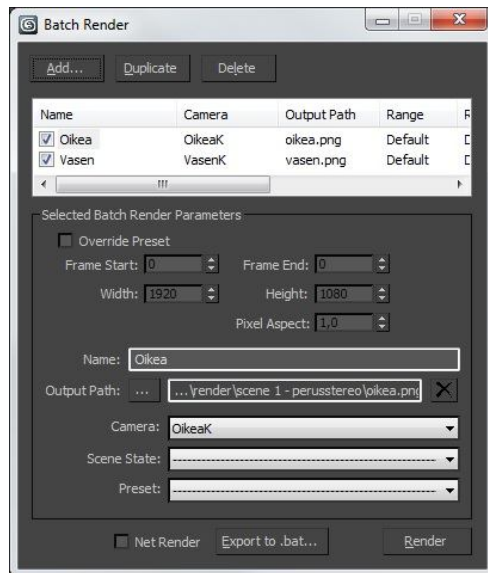
Kun apumitta on asetettu, on kannattavaa miettiä hetken aikaa mihin kameroiden säteiden leikkauspiste (tässä tapauksessa kameroiden kohteet) leikkaavat, joka määrittää nolaparallaksin sijainnin. Kuten aiemmin mainittiin, nolaparallaksi mielletään sijaitsevan näyttötason pinnalla. Kaikki tästä lähempänä kameroita omaa siis negatiivisen parallaksin. Leikkauspiste sijoitetaankin pidemmälle kuin aikaisemmin laskettu 213 senttiä mikä jättää mukavuusvaraa näyttötasolta ulos tuleville kohteille.

Lähimmän kohteen rajoituksen lisäksi myös kauimman kohteen sijoittelussa on rajoitteensa. Liian syvällä oleva kohde voi pakottaa silmät divergoimaan mikä on fyysisesti hyvin rasittavaa eikä stereokuva muodostu kunnolla. Positiivisen parallaksin maksimiarvo tulisi laskea käytettävän esityslaitteen mukaan ja se ilmaistaan yleensä pikselierona kuvaparien kohteiden välillä. Laajemmalla esitysformaatilla maksimi on pienempi kuin televisiossa tai tietokoneen näytöllä, ja kaikki esimerkkikuvat tullaankin toteuttamaan kaksi jälkimmäiseksi mainittua mielessä pitäen. Nyt kuitenkin pyritään pitämään positiivinen parallaksi siedettävänä ilman sen kummempia laskutoimituksia. Kohteina käytetään 3DS Maxissa olevia Teapot-objekteja jotka sopivat geometrialtaan tähän tarkoitukseen. Lisäksi luodaan näiden alle yksinkertainen alusta Editable Poly-muotoon muutetusta Plane-objektista ja scene valaistetaan Skylight-vakikka. Kun kaikki on sijoitettu siirretään kameraparin kohteet n. keskelle alustaa jolloin tässä pisteessä on nollaparallaksi. Näin saadaan kuvan 11 muotoinen scene top-näkymästä katsottuna.



Kuva 11. Renderöintivalmis stereoskooppinen scene

Kun kyseessä on näin yksinkertainen tilanne voitaisiin kameroiden kuvat renderöidä erikseen, mutta prosessin yksinkertaistamiseksi kuvat tuotetaan Batch render-työkalulla, jolla on mahdollista renderöitä kuvia scenen eri kameroista samalla kertaa. Työkalu antaa myös mahdollisuuden muuttaa asetuksia render-kohtaisesti mutta näihin ei kosketa. Tällä kertaa työkalussa luodaan vain kaksi eri työtä oikeasta ja vasemmasta kamerasta joiden tuotokset tallennetaan omina tiedostoinaan ennaltamääritellyyn paikkaan. Yleisissä renderöintiasetuksissa käytetään valoille Final Gather-laskentaa Draft-asetuksilla, reunanpehmennys(Sampling Quality) on asetettu arvoihin 1(Minimum) ja 4(Maximum) ja resoluutiona käytetään Full HD eli 1920x1080-resoluutiota.



Kuva 12. Batch render-valikko esimerkkityölle

Kuten kuvasta 12 näkyy, on renderit nimetty kameroiden mukaan. Stereotuotannoissa tiedostojen nimeäminen ja organisointi on tärkeää sillä varsinkin suurempien animaatioiden ja vastaavien kohdalla kuvapareista syntyy valtava määrä tiedostoja jotka menevät helposti sekaisin. Kun renderointi on valmis siirretään nämä Adobe Photoshop-kuvankäsittelyohjelmaan jossa on luotu valmis 1920x1080-kokoinen pohja. Kuvat siirretään tänne Smart-objekteina jolloin näiden päivittäminen käy kätevästi siinä tapauksessa että joudutaan tekemään uusintarenderöintejä.

Anaglyfisen puna-syaanikuvan tekeminen kuvankäsittelyohjelmissa on helppo prosessi jota voidaan käyttää myös erikseen jälkituotantoon tarkoitetuissa ohjelmissa. Photoshopin ollessa tasoihin eikä puurakenteeseen perustuva ohjelma(toisin kuin esimerkiksi Autodeskin oma Composite-jälkikäsittelyohjelma) asetetaan tässä oikea kuva vasemman päälle. Nämä taasen sijoitetaan omiin kansioihinsa jolloin saadaan luotua kummallekin omat säätötasot(Adjustment layer) jotka vaikuttavat vain kyseessä olevan kansion sisältöön. Tässä vaiheessa kummankin kansion Blend Mode -asetukseksi laitetaan Normal (oletusarvo Pass through päästää säädöt vaikuttamaan kansion ulkopuolisiinkin tasoihin).

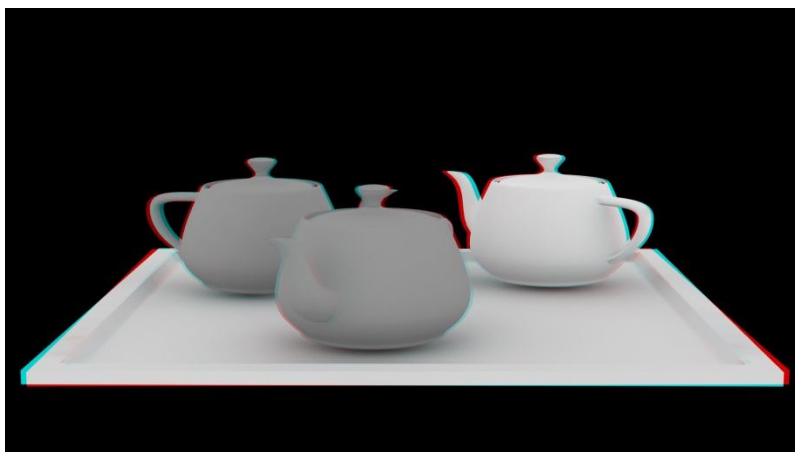
Päällimmäisen eli oikean kuvan kansion tehdään Levels-säätötaso. Tämä asetetaan vaikuttamaan punaiseen väriin ja säädetään Output-arvo nolaksi jolloin punaiset sävyt häviävät oikeasta tasosta, tehden tästä syaaninsävyisen. Vasemman kuvan kansion tehdään oma Levels-taso jossa asetetaan sekä Blue- että Green-värikanavien output arvoihin nolla. Tämä tekee vasemmasta kuvasta punasävyisen. Lopuksi asetetaan ylemmän kansion Blend Mode Screen-muotoon. Näin anaglyfinen kuva on muodostettu ja valmis katseltavaksi puna-syaanilaseilla.



Kuva 13. Anaglyfinen kuva renderöidystä kuvaparista (liite 1)

3.1.1 Haamukuvien korjaus

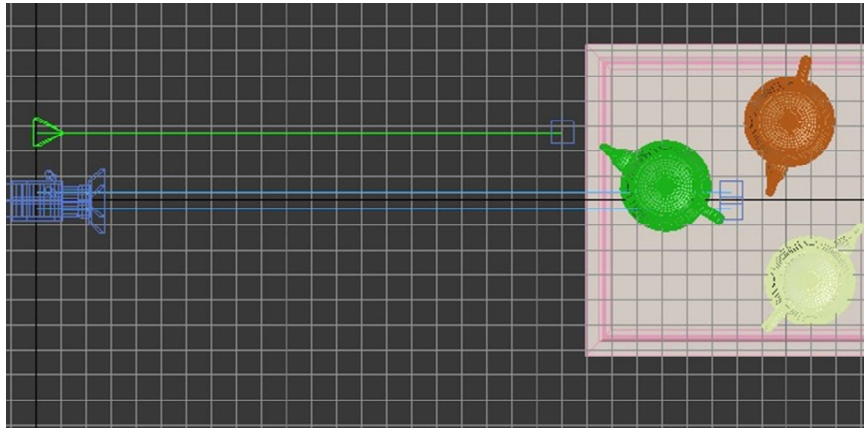
Kun kuvaa 13 katsotaan näkyy siinä jonkinlaista syvyyttä, mutta myös vahvoja haamukuvia jotka häiritsevät stereokuvan muodostumista. Siitä päästäänkin yhteen stereomateriaalin harmilliseen ongelmaan jota käsitellään kohdassa 2.3.10. Tässä häiriön aiheuttaa molemmat sen tekijät, eli katselutekniikka ja kontrasti. Anaglyfin ollessa edelleen halpa ja helppo keino tuottaa sekä katsoa stereomateriaalia esiintyy siinä juuri esimerkin mukaisia haamukuvia ilman erikoisjärjestelyjä. Lisäksi valkoinen tausta tekee kuvasta todella kirkkaan ja paljastaa helpommin kohteiden reunoissa näkyvät erot kuvaparissa (eli näiden välisen parallaxsin). Anaglyfin heikkouksille ei voi mitään mutta kontrastieroja pystyy vähentämään luomalla kuvaan mustan taustan. Haamukuvia voi myös vähentää asettamalla kuvaparit mustavalkoiksi jolloin itse kohteiden värit eivät vaikuta syvyysfektiiin. Stereokuvan värit voi säilyttää anaglyfivärien optimoinnilla mutta kuvien mustavalkoiseksi muuttaminen ajaa tässä tapauksessa asian- sa. Lopputuloksena kuvasta häviävät häiritsevimmän esiintyvät haamut ja stereokuva selkeytyy (kuva 14).



Kuva 14. Anaglyfi mustavalkoisena (liite 2)

3.2 Stereomateriaalin muodostaminen samansuuntaisilla kameroilla

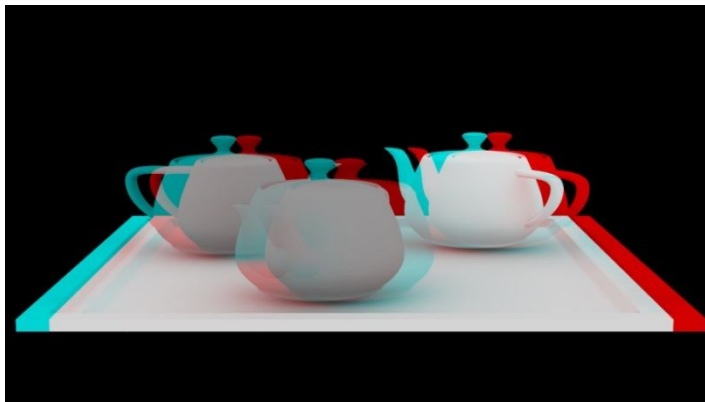
Stereomateriaalin tekeminen käyttämällä samansuuntaisia kameroita ei juurikaan eroa käännettyjen kameroiden käyttämisestä. Sen sijaan että kamerat suunnataan tiettyä pistettä kohti asetetaan nämä kuvaamaan suoraan eteenpäin mutta muuten prosessi mallinnusohjelman puolella on sama kuin aikaisemmassa esimerkissä. Kuva 15 esittää tilannetta jossa kameroiden interaksiaali on pidetty samana mutta näiden kohteet on siirretty koh-tisuoraan kameroiden kanssa. Renderöinti suoritetaan samoilla asetuksilla kuin kohdassa 3.1.



Kuva 15. Kamerat asetettuna samansuuntaisiksi

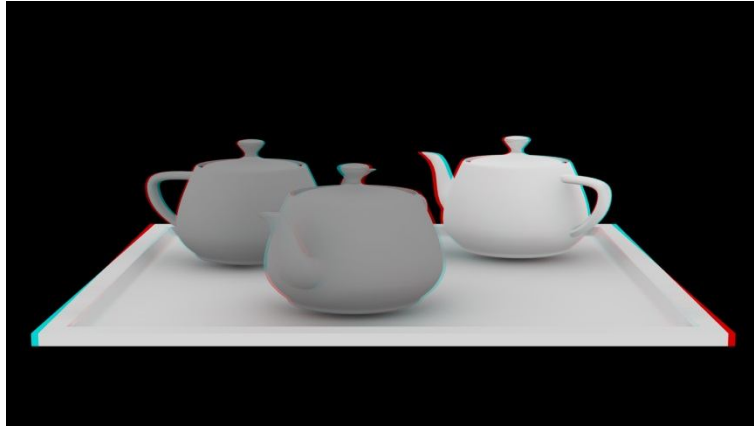
3.2.1 Horizontal Image Translation

Renderöinnistä saadut kuvat sijoitetaan Photoshop-ohjelmaan ja muunnetaan Levels- sekä Hue/Saturation-tasoilla mustavalkoiseen anaglyfimuotoon. Tässä vaiheessa kokonaisuus saattaa näyttää sekavalta, ja anaglyfilaseilla katsottuna stereokuvan muodostaminen on hankalaa liian suuren parallaxin johdosta joka ilmenee kuvasta 16. Koska kamerat on asetettu 6,4cm interaksiaalilla ja kohdistettu samansuuntaisiksi sijaitsee stereoik-kuna äärettömyydessä, jolloin kaikki kuvassa olevat kohteet pyrkivät ulos näyttötasolta.



Kuva 16. Samansuuntaisten kameroiden tuottama kuvapari (liite 3)

Toimivan stereokuvan muodostamiseksi kuvapareja täytyy siirtää vaakatasossa toisiaan kohden (Horizontal Image Translation) jolla vaikutetaan parallaksiin ja tätä myöten kuvan syvyyteen. Nollaparallaksin määrittää se kohta jossa ei ole lainkaan horisontaalista eroa ja tässä tapauksessa se sijoitetaan suunnilleen ensimmäisen kannun taakse. Kun HIT on suoritettu näyttää lopullinen stereokuva kuvan 17 mukaiselta, ja tästä nähdään kuinka paljon kuvapareja on jouduttu siirtämään toisiaan kohti.



Kuva 17. Stereokuva HIT-korjauksen jälkeen (liite 4)

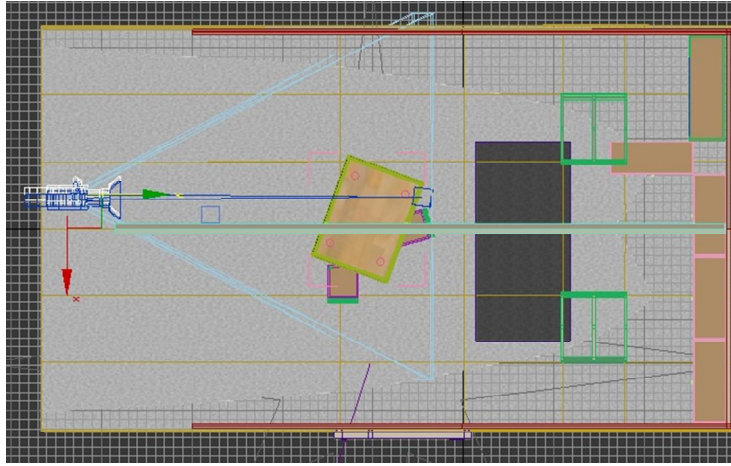
Samansuuntaisten kameroiden ja HIT-menetelmän käyttö on tehokas keino stereomateriaalin tuottamiseen mutta siitä seuraa toinen ongelma. Tämä ei näy esimerkikuvassa mustan taustan johdosta mutta kuvien siirtäminen aiheuttaa näiden leikkautumisen reunoista, jolloin kuvaan jää tyhjä tila sekä vasempaan että oikeaan reunaan. Tämä voidaan korjata renderöimällä kuvaparit suuremmalla leveydellä kuin lopullinen stereokuva tulee olemaan(overscan). Tällöin kuvien siirtämiseen on säätövaraa eikä leikkausta tapahdu.

3.3 Keystone-vääristymä

Keystone-vääristymä esiintyy yksinomaan kun stereokuva tehdään käännetyillä kameroilla. Vaikka vääristymä on usein hienovarainen, aiheuttaa se kuvaparien välistä pystysuuntaista eroa joka voi puolestaan vaikuttaa negatiivisesti katselukokemukseen. Keystone-vääristymän korjaaminen on suuremmissa tuotannoissa usein vaivalloinen prosessi ja tästä syystä sitä pyritään välttämään kaikin keinoin. Tässä esimerkissä vääristymä tuotetaan tahallisesti ja tämän jälkeen se pyritään korjaamaan kuvankäsittelyllä. Tätä varten on rakennettu uusi, yksityiskohtaisempi scene jossa syvyyserot ja virheet voi havainnoida herkemmin. Sceneen on tehty yksi huone jota valaisee kolmesta eri ikkunasta tuleva valo. Huoneeseen on sijoitettu muutama tuoli, pöytä, hylly sekä matalia kaappeja. Valaistuksessa käytetään 3DS Maxin sisäistä Daylight-systeemiä joka simuloi auringon luomaa valaistusta. Kaikki scenen objektit on tehty luonnollisissa mitoissa.

Sceneen rakennetaan sisäänpäin käännetyistä kameroista samanlainen rig kuin ensimmäisessä esimerkissä. Kamerrat asetetaan 6,4 sentin etäisyydelle

toisistaan ja kameroiden kohteet sijoitetaan samaan pisteeseen align-toiminnolla joka määrittää nollaparallaksin. Kohteet vedetään scenessä sijoitetun pöydän taakse jolloin tämä ja sen ympärillä sijaitsevat tuolit saavat negatiivista parallaksia ja kaikki muu jää näiden taakse. Lopuksi kamerat nostetaan luonnollisempaan korkeuteen (tässä tapauksessa n. 125 cm). Nyt scenen sijoittelu näyttää kuvan 18 mukaiselta.



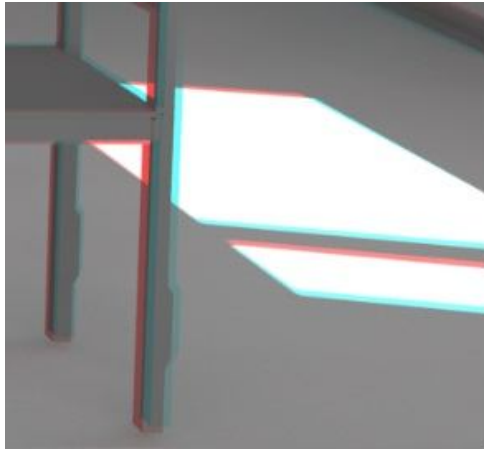
Kuva 18. Top-näkymä scenestä

Kuvapari renderöidään 1920x1080-resoluutiolla Sampling-arvojen ollessa 1 ja 4. Koska scene sisältää enemmän valaistusta nostetaan Final Gather-asetuksia: Initial FG Point Density on 0,7, Rays per FG Point 75, Interpolate Over Num. FG Points 35 ja Diffuse Bounces-arvoksi asetettiin 1. Nämä asetukset eivät ole kovinkaan kummoiset ja luovat heijastuksiin jonkin verran rakeisuutta mutta ovat riittävät. Kuvat sijoitetaan renderöinnin jälkeen Photoshop-ohjelmaan omiin kansioihinsa jälkikäsittelyä varten. Kuten aikaisemmin, molempien silmien kuvista tehdään mustavalkoiset Hue/Saturation-tasolla. Seuraavaksi muutetaan vasen kuva punaiseksi poistamalla siitä vihreän ja sinisen sävyt Levels-tasolla, jonka jälkeen oikea kuva muutetaan syaaniksi poistamalla siitä punaiset sävyt. Lopputulos, joka nähdään kuvassa 19 (liitettä 5), sisältää jo hyvin syvyyttä eikä mainittavia virheitä heti näy.



Kuva 19. Sisäänkäännettyillä kameroilla tehty anaglyfi (liite 5)

Jos kuvaa tarkastellaan lähemmin näkyy siinä heti yksi huomattava epäkohta. Oikeassa reunassa sijaitsevassa valaistuneessa alueessa näkyy vaakasuuntaisen parallaksin lisäksi pystysuuntaista parallaksia (kuva 20). Tämä on seurausta keystone-vääristymästä. Käännytyistä kameroista johtuva perspektiiviero muuttaa kuvaparien kohteiden sijaintia korkeussuunnassa, jonka vaikutus vahvistuu kuvan reunaan kohti mentäessä. Kuvassa ero saattaa tuntua häviävän pieneltä mutta esimerkin kaltaiset vääristymät aiheuttavat herkästi epämukavuutta jos silmät näkevät niitä jatkuvasti vaikka animaatiossa.



Kuva 20. Keystone-vääristymästä johtuvaa pystysuuntaista parallaksia

Vääristymän korjaaminen voidaan suorittaa tasojen perspektiivin muutoksella. Tämä tehdään Photoshopin Transform-työkalun Perspective-toiminnolla, jolla kuvien ”litistyneet” reunat (oikean silmän kuvassa vasen reuna, vasemman silmän kuvassa oikea reuna) venytetään vastaamaan alkuperäisen kokoista reunaa. Nyt perspektiivimuutokset tehdään silmämääräisesti, kunnes lähes kaikki pystysuuntainen parallaksi on hävinnyt kuten kuvassa 21.

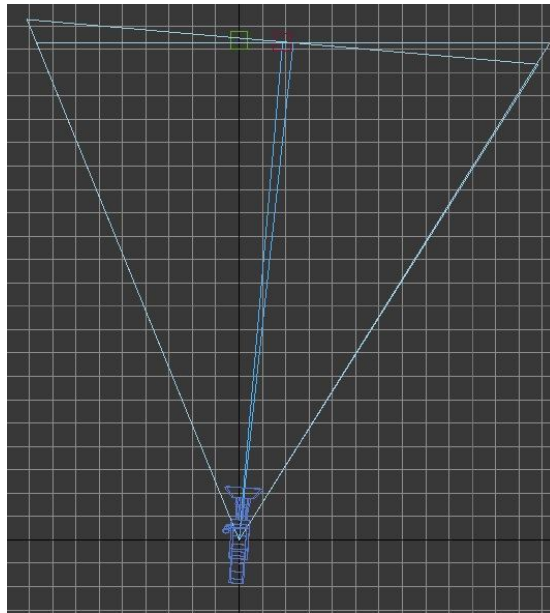


Kuva 21. Perspektiivikorjauksen vaikutus keystone-vääristymään

Vääristymän korjaamisen nurjana puolena työkalun käyttäminen vääristää kuvaa lisää joka heikentää tämän laatua. Korjaus on myös työläs ja oikean asetuksen löytäminen vie aikaa. Jos stereokuvaa kuitenkin tehdään sisäänkäännetyillä kameroilla, voidaan keystone-vääristymän aiheuttamia haittoja vähentää pitämällä katsojan huomio stereokuvan keskialueella.

3.3.1 Kameroiden konvergenssi ilman keystone-vääristymää

Sen sijaan että kuvapareja muokattaisiin jälkikäsitellyssä voidaan keystone-vääristymä estää jo mallinnusohjelman puolella. Tekniikassa keskitytään kameroiden kuvauskeilojen siirtämiseen kameroiden kääntämisen sijaan. Oikeassa maailmassa tätä voidaan verrata kameran linssin siirtämiseen (lens shift) jolloin kuvapareihin ei synny keystone-vääristymää aiheuttavia perspektiivieroja. Kuva 22 esittää tilannetta 3DS Maxissa jossa kaksi kameraa on asetettu samaan pisteeseen. Toinen näistä kameroista on kohdistettu hieman sisäänpäin toe-in-tekniikalla, kun taas toisen kameran kuvakeilaa on siirretty niin, että se on samassa kohdassa sisäänpäin käännetyin kameran keilan kanssa.



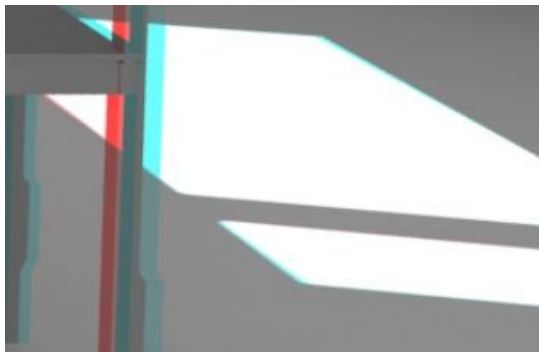
Kuva 22. Käännetyn kameran keila ja siirretty keila

Ylläolevasta kuvasta näkee selvästi kuinka vääristymä syntyy kun kameraa käännetään. Toisesta kamerasta lähtevä suora keila saatiin aikaiseksi asettamalla kamera-objektille Skew-modifier. Objektien vääristämiseen tarkoitettu skew siirtää kameroiden keiloja halutussa suunnassa ilman perspektiivimuutosta. Tässä tapauksessa suunta jossa muutos halutaan on z-akselilla ja määräksi asetettiin hieman yli 5 cm silmällä katsoen.

Seuraavaksi luodaan skew-modifierin omaavat kamerat aikaisemmin käytettyyn sceneen. Nämä tehdään ottamalla molemmista käännetyistä kameroista kopiot, joiden kohteet suunnataan kohtisuoraan kameroiden kanssa. Näin kamerat ovat samansuuntaisia. Seuraavaksi asetetaan oikeaan kamerakopioon skew-modifier, ja laitetaan alkuperäisestä oikean silmän kamerasta kuvakeila näkyviin Modify-valikosta kohdasta Show Cone. Sillä

varmistetaan vertailtavien esimerkkien mahdollisimman tarkkaa identtisyyttä, kun siirretty kuvakeila voidaan asettaa vastaamaan alkuperäistä kuvakeilaa. Nyt skew sai arvoksi 0,38 cm, joten modifier asetetaan myös vasempaan kamerakopioon jonka skew-arvoksi laitetaan -0.38 cm. Näin kuvakeilat on kohdistettu alkuperäisten kameroiden vastaavien kanssa ja kamerakopioiden näkymät voidaan renderöidä.

Renderöidyistä kuvapareista tehdään mustavalko-anaglyfi mitä verrata keystone-vääristymää sisältävään anaglyfiin. Kuva 23 on samasta kohdasta kuin kuvat 20 sekä 21, ja näitä verrattaessa voidaan huomata, että siirretyillä kuvakeiloilla renderöidyt kamerat eivät omaa minkäänlaista korkeussuuntaista parallaksia.

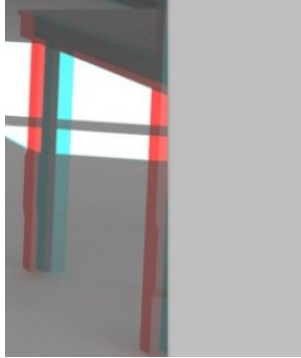


Kuva 23. Siirretyillä kuvakeiloilla tuotettu anaglyfi

Kun nyt tuotettua kuvaa (liite 6) ja aikaisempaa sisäänkäännettyillä kameroilla tehtyä kuvaa (liite 5) vertaillaan, nähdään keystone-vääristymän vaikutus selvemmin. Kuvakeilojen siirtäminen vaikuttaa myös vaakasuuntaiseen parallaksiin ja näin ollen syvyysefektin vahvuuteen. Tekniikkaa käytäessä tämä kannattaakin ottaa huomioon.

3.4 Window violation

Window violation -virheelle on aina yksi syy; jokin objekti sijaitsee stereokuvan muodostusta häiritsevästi kuvan reunalla. Vaikka virheen luulisi huomaavan helposti, voi se pahimmassa tapauksessa jäädä muun jälkikäsitteilytyön johdosta korjaamatta. Tässä esimerkissä käytetään jälleen huonetta esittävää sceneä, jossa toinen pöydän äärellä olleista tuoleista on siirretty lähemmäksi kameroita ja kuvan reunaa. Lisäksi kuvaavia kameroita on laskettu alemmaksi z-akselilla, ja niissä pidetään sama skew-modifier kuin aiemmin. Kun kuvapari renderöidään ja yhdistetään mustavalko-anaglyfiksi, huomaa siitä välittömästi tuolin aiheuttaman ongelman (kuva 23).



Kuva 24. Window violation -virhe lähikuvassa

Kuvassa näkyvä punainen alue kuvaa stereoparin vasemmasta kuvasta puuttuvaa osaa. Nyt kyseessä on pieni alue siirretyn tuolin jalasta joka ei vaikuta stereokuvan muodostamiseen kovinkaan vahvasti. Oikean silmän kuvassa tuolin osa näkyy. Vaikuttaa virhe stereokuvan muodostamiseen tai ei, tämä aiheuttaa silmille ylimääräistä rasitusta joten se tulee korjata. Mallinnusohjelmia käytettäessä scene voitaisiin korjata ja renderöidä uudelleen, mutta aina se ei ole vaihtoehto jolloin virhe joudutaan korjaamaan jälkikäsitteilyllä.

Virheenkorjaus suoritetaan luomalla musta suorakulmio oikean silmän kuvan päälle. Suorakulmio sijoitetaan kuvassa niin että se peittää osion mitä vasemman silmän kuvassa ei ole. Still-kuvissa vaikutusta ei juurikaan huomaa muuten kuin vaakaresoluution pienenemisenä. Liikkuvassa kuvassa vastaavanlaiset virheet vaikuttavat katseluun negatiivisesti ja näissä korjauksen vaikutus on suurempi. Nyt kuvaparien oikeat reunat ovat identtiset, kuten kuvasta 25 näkyy.



Kuva 25. Stereokuva reunuksen korjaamisen jälkeen (liite 7)

Kuten aikaisemmin mainittu, korjauksen seurauksena kuvasta häviää vaakasuunnassa informaatiota anaglyfilasien läpi katsottuna. Tästä johtuen tekniikan tulisi olla viimeinen keino reunuksiin liittyvissä korjauksissa.

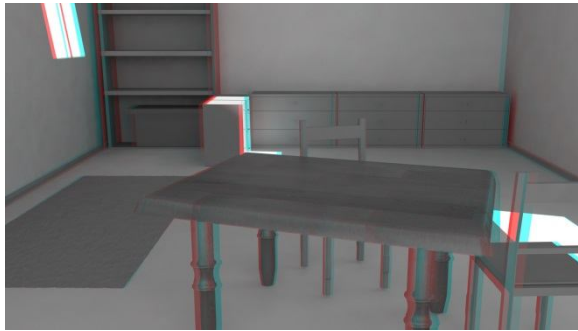
3.4.1 Leijuva stereoikkuna

Kuva 25 sisältää vasemman silmän kuvasta puuttuvan kohteen lisäksi toisenlaisen window violation-virheen. Reunalle sijoitettu tuoli omaa negatiivista parallaksia jolloin se tulee ulos näyttötasolta. Kun samalla stereokuvan reuna leikkaa tuolista suuren osan aiheuttaa tämä näköristiriidan.

Tämä johtuu kohdassa 2.3.7 selvitetystä ilmiöstä, jossa katsoja mieltää stereoikkunan talon ikkunaksi. Nyt reunalla oleva tuoli vaikuttaisi syvyyssuunnassa olevan talon sisällä, mutta leikkaus reunassa viittaa siihen että tuoli sijaitisi talon ulkopuolella. Virhe korjaantuu käyttämällä leijuvaa stereoikkunaa. Leijuvalla stereoikkunalla voidaan vaikuttaa nollaparallaksin sijaintiin ilman uudelleenrenderöintejä.

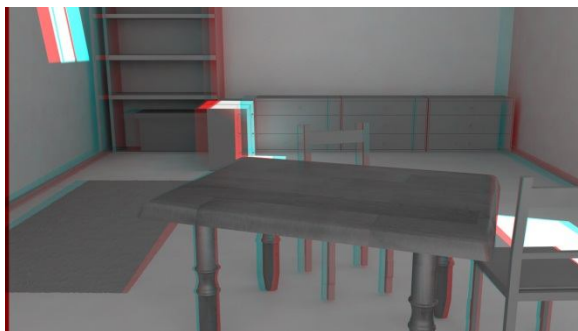
Tätä esimerkkiä varten kameroita tuodaan lähemmäksi scenen pöytää. Kameroiden kuvakeilat pyritään pitämään samassa sijainnissa, jolloin kameroiden säteiden leikkauspiste (alkuperäinen nollaparallaksi) pysyy alkuperäisessä kohdassa. Sceneen tehdään muitakin muutoksia objektien sijoitteluun havainnoillistamismielessä.

Kuvapari renderöidään aivan kuten aikaisemmin, ja näistä tehdään mustavalko-anaglyfi Photoshop-ohjelmassa. Lopputulos näkyy kuvassa 26, jossa pöytä sekä tuolit omaavat vahvan negatiivisen parallaksin mutta leikkaantuvat kuvan reunoja myöten.



Kuva 26. Negatiivisen parallaksin aiheuttama window violation (liite 8)

Yksinkertainen leijuva stereoikkuna saadaan luomalla mustat palkit kumpaankin kuvaan. Oikean silmän kuvassa palkki sijoitetaan vasempaan reunaan, kun taas vasemman silmän kuvassa palkki sijoittuu oikeaan reunaan. Näin on luotu reunukset leijuvalla ikkunalle. Seuraavaksi kuvaparia siirretään kohti niin, että parallaksi katoaa etummaisesta tuolin kohdalta, jolloin se sijaitsee näyttötasolla. Oikeata kuvaa siirretään vasemmalle ja vasenta kuvaa vastaava määrä oikealle. Näin mikään kuvan ulkopuolelle ulottuvat objektit eivät ole näyttötason ulkopuolella, eikä stereokuvan muodostuksessa synny ristiriitoja (kuva 27).



Kuva 27. Anaglyfikuva leijuvalla stereoikkunalla (liite 9)

Stereoikkunaa voidaan myös animoida sekä käyttää kerronnallisena työvälineenä, ja monet stereomaailman ammattilaiset käyttävätkin tätä aktiivisesti. Tässä työssä kun käytetään anaglyfisiä still-kuvia, ei stereoikkunan animointia käydä läpi.

3.5 Värilliset anaglyfit

Suurin osa työssä tehdyt esimerkkikuvat on toteutettu mustavalkoisina. Anaglyfikuvissa värit häiritsevät stereokuvan muodostumista aiheuttaen haamukuvia, joten kuvapari on desaturoitu ennen anaglyfin toteuttamista. Pienellä saturaation säätämällä kuvan värimaailma voidaan kuitenkin palauttaa osittain ilman suurta vaikutusta stereokuvan laatuun. Säädot tehdään tässä tapauksessa liitteen 9 esittämään anaglyfiin.

Tarvittavat säädot tehdään vain oikean silmän kuvan saturaatioon. Kun aikaisemmin molempiin kuviin laitettiin Hue/Saturation-säätötason Saturation-arvoksi -100, muutetaan oikean kuvan Saturation-arvoksi nyt -50. Näin kuvaan on palautettu väriä mutta kokonaisuus vaikuttaa hieman haalealta. Tätä voidaan parantaa kontrastin säätämällä, joka tehdään koko kuvaan vaikuttavalla Curves-säätötasolla. Curves-tasolla voidaan säätää kuvan sisältämiä värisävyjä vahvistamalla tai heikentämällä näitä. Muuttamalla tason säätöviivaa lievään S-muotoon vahvistuvat kuvan tummien ja vaaleiden kohtien erot, luoden paremman kontrastin. Kontrastin säätämisessä tulee kuitenkin olla tarkkana sillä liian suuret erot aiheuttavat haamukuvia anaglyfiä katsoessa.

Liitettä 9 ja säätöjen jälkeen saatua kuvaa (liite 10) vertaillen värikorjauksen vaikutuksen huomaa hyvin. Kuvaan on saatu palautettua väriä ilman haamukuvien muodostumista, ja kontrastin muokkaaminen vahvistaa kuvassa olevia monokulaarisia vihjeitä.

4 TULOKSET JA JATKOKEHITYS

4.1 Tulokset

Työssä tutkittiin stereoskooppisen kuvan periaatteita, tällaisen materiaalin tekemistä, sekä stereomateriaalissa yleisesti olevien virheiden korjaamista. Työvaiheen tuloksia vertaillen erot alkuperäisten ja muokattujen anaglyfien välillä ovat usein huomattavia, ja työssä käsitellyt asiat tulisikin tuntea stereoskooppista materiaalia tehdessä. Huonolaatuinen stereoskooppinen materiaali aiheuttaa nopeasti fyysistä epämukavuutta sitä katsoville ja heikentää syvyysefektiiä. Esiteltyjä ratkaisuja voidaan soveltaa tietyin rajoituksin myös live-kuviin.

Vaikka moniin mallinnus- ja jälkikäsitelyohjelmiin löytyy erilaisia lisäosia stereokuvien tuottamista ja virheenkorjausta varten, on hyvä tietää mitkä mekaniikat vaikuttavat niin virheiden syntyyn kuin niiden korjaamiseen. Tästä syystä kuvien käsin korjaaminen on edelleen vaihtoehto kun tehdään stereoskooppista materiaalia niin 3D-mallinnuksella kuin live-kuvauksellakin.

4.2 Jatkokehitys

Opinnäytetyön keskittyessä still-kuviin ja anaglyfeihin, voisi jatkossa tutkia esiteltyjä virhetilanteita animaatioissa käyttäen muuta katselutapaa kuin anaglyfejä. Näin saadaan verrattua samalla esitysjärjestelmäkohtaisia eroja. Tässä on tilaisuus tutkia myös kuinka virheiden mahdollisuutta voidaan vähentää minimiin jo tuotannon suunnitteluvaiheessa, jolloin virheenkorjausta ei aina tarvittaisi.

LÄHTEET

Mendiburu, B. 2009. 3D Movie Making: Stereoscopic Digital Cinema From Script to Screen. Oxford, UK: Focal Press

Mendiburu, B. 2012. 3D TV and 3D Cinema: Tools and Processes for Creative Stereoscopy. Oxford, UK: Focal Press

Zone, R. 2009. Stereoscopic Cinema and the Origins of 3-D Film, 1838-1952. Kentucky, USA: The University Press of Kentucky

Zone, R. 2012. 3-D Revolution: The History of Modern Stereoscopic Cinema. Kentucky, USA: The University Press of Kentucky

Lipton, L. 1983. Foundations of the Stereoscopic Cinema
Viitattu 20.3.2013
<http://www.stereoscopic2.org/library/foundation.php>

IMAX Corporation, n.d. IMAX History
Viitattu 23.3.2013
<http://www.imax.com/corporate/history/>

Schedeen, J. 2010. The History of 3D Movie Tech.
Viitattu 23.3.2013
<http://www.ign.com/articles/2010/04/23/the-history-of-3d-movie-tech>

Seymour, M. 2008. Art of Digital 3D Stereoscopic film
Viitattu 23.3.2013
http://www.fxguide.com/featured/art_of_digital_3d_stereoscopic_film/

McCarthy, E. 2009. Monsters vs. Aliens: Behind-the-Scenes Look at 3D Tech
Viitattu 24.3.2013
<http://www.popularmechanics.com/technology/gadgets/news/4310774>

Dunlop, R. 2009. Monsters vs. Aliens
Viitattu 24.3.2013
http://www.fxguide.com/featured/art_of_digital_3d_stereoscopic_film/

Thompson, A. 2010. How James Cameron's Innovative New 3D Tech Created *Avatar*
Viitattu 25.3.2013
<http://www.popularmechanics.com/technology/digital/visual-effects/4339455>

Couldwell, C. 2013. Hobbit starts on a technology quest
Viitattu 25.3.2013
<http://www.avinteractive.com/features/45623/hobbit-technology-quest>

- Murchie, A. 2013. 3D State of the Nation: What's The Future of 3D?
Viitattu 26.3.2013
<http://www.enhanced-dimensions.com/wordpress/?p=4745>
- Livolsi, B. 2010. The Renaissance of 3D: How the New 3D Technologies Work
Viitattu 26.3.2013
http://www.projectorcentral.com/3d_projectors_technology.htm?page=Interference-Filter
- Themelis, G. 2010. Polarization of light
Viitattu 5.4.2013
<http://www.drt3d.com/W05-Polarization.pdf>
- Fauster, L. 2007. Stereoscopic Techniques in Computer Graphics
Viitattu 10.4.2013
<http://www.cg.tuwien.ac.at/research/publications/2006/Fauster-06-st/Fauster-06-st-.pdf>
- Reeve, S & Flock, J. 2010. Basic Principles of Stereoscopic 3D
Viitattu 10.4.2013
http://www.sky.com/shop/export/sites/www.sky.com/shop/_PDF/3D/Basic Principles of Stereoscopic 3D v1.pdf
- Wheatstone, C. 1838. Contributions to the Physiology of Vision.—Part the First. On some remarkable, and hitherto unobserved, Phenomena of Binocular Vision.
Viitattu 25.4.2013
<http://www.stereoscopy.com/library/wheatstone-paper1838.html>
- Teittinen, M. 1993. Depth Cues in the Human Visual System
Viitattu 25.4.2013
<http://www.hitl.washington.edu/scivw/EVE/III.A.1.c.DepthCues.html>
- Hemenway, N. 2010. StereoVantage: The Artistic Merits of the Stereoscopic Cinema
Institute of Multimedia Literacy. San Francisco USA. Opinnäytetyö.
Viitattu 25.4.2013
<http://stereoscopy.co/>
- An, S-M., Ramesh, R., Lee, Y-S., & Chung, W-Y. 2011. Interaxial Distance and Convergence Control for Efficient Stereoscopic Shooting using Horizontal Moving 3D Camera Rig
World Academy of Science. Engineering and Technology. Tutkimus.
Viitattu 10.6.2013
<http://www.waset.org/journals/waset/v59/v59-408.pdf>
- Yu, T. 2010. An Introduction to 3D Movies
Viitattu 15.6.2013
<http://cse.csusb.edu/tong/courses/cs621/notes/3dmovies.php>

Herbig, G. P. n.d. The Three Golden Rules of Stereo Photography

Viitattu 15.6.2013

<http://www.stereoscopy.com/isu/goldenrules.html>

Woods, A. 2011. How are Crosstalk and Ghosting defined in the Stereoscopic literature?

Viitattu 15.6.2013

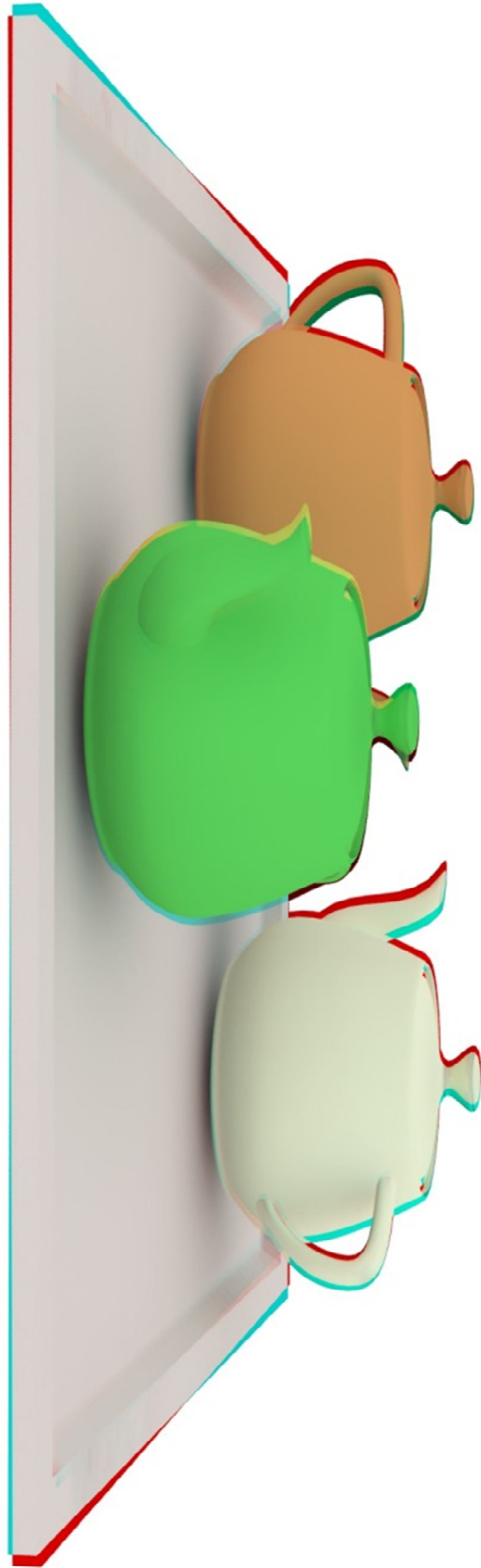
http://cmst.curtin.edu.au/local/docs/pubs/2011-14-woods-crosstalk_and_ghosting.pdf

Wattie, J. n.d. Digital Stereo Camera Rigs: Existing and Theoretical

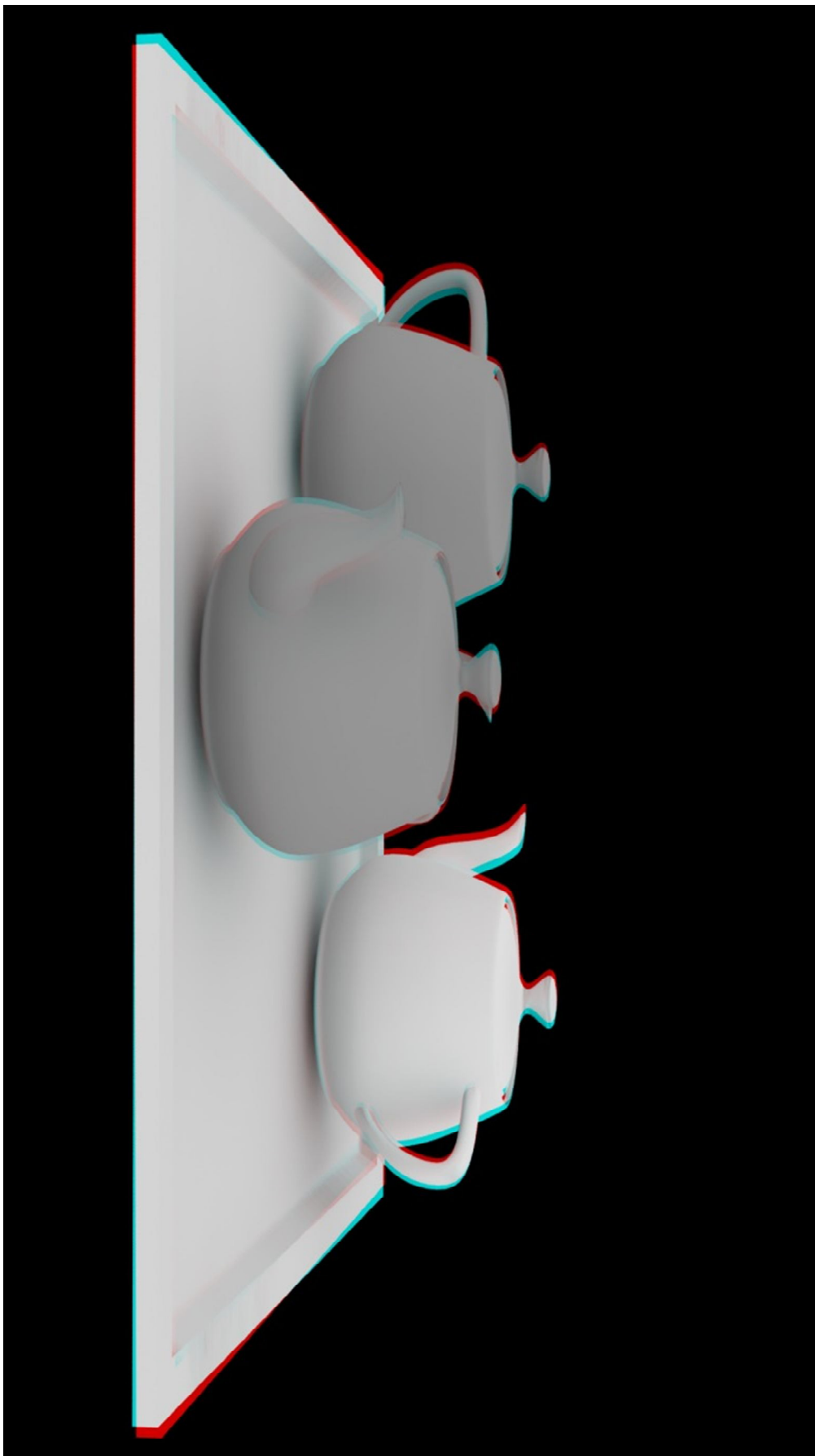
Viitattu 5.7.2013

<http://nzphoto.tripod.com/3d/201camerarigs.html>

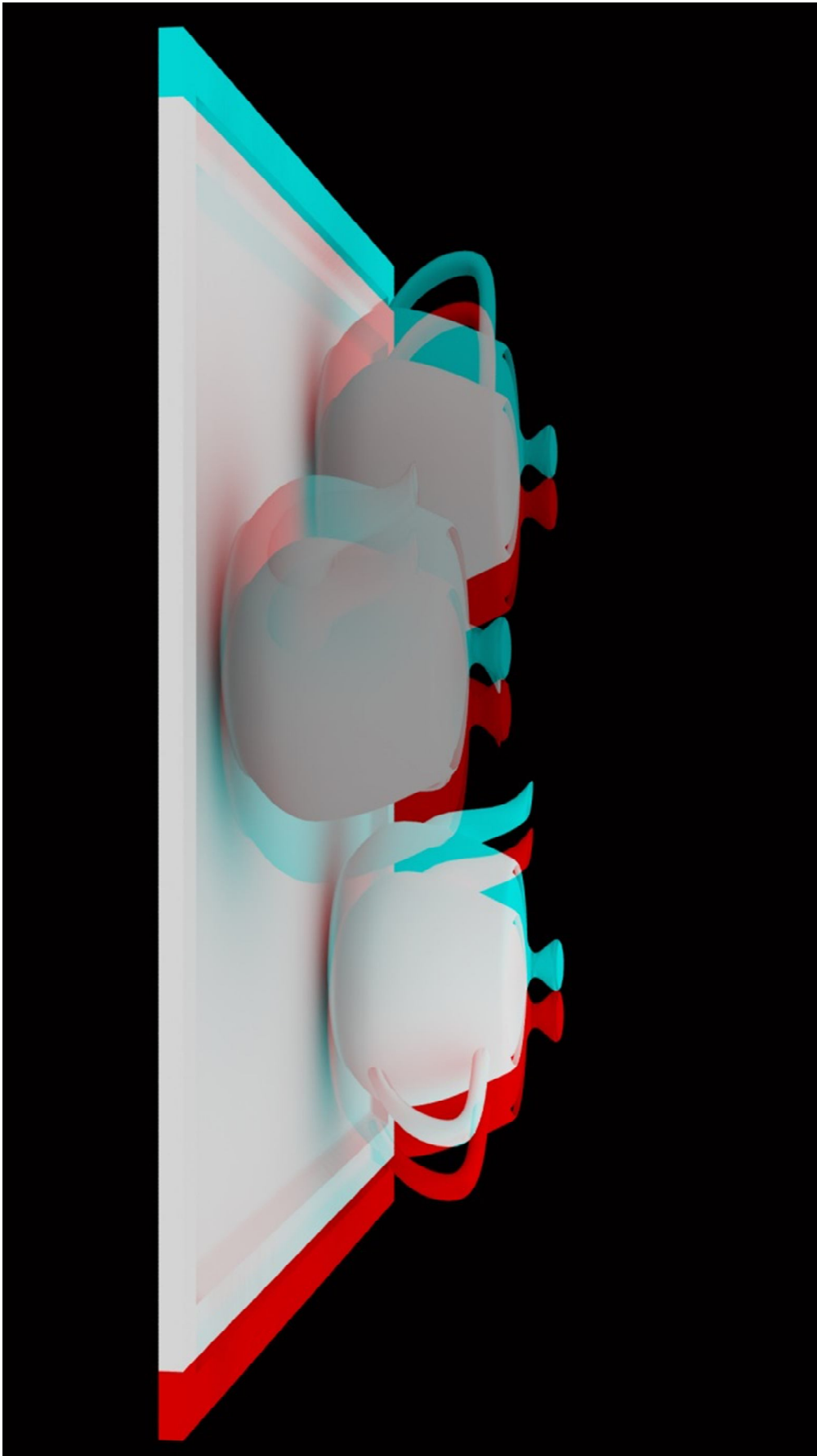
ANAGLYFINEN KUVA RENDERÖIDYSTÄ KUVAPARISTA



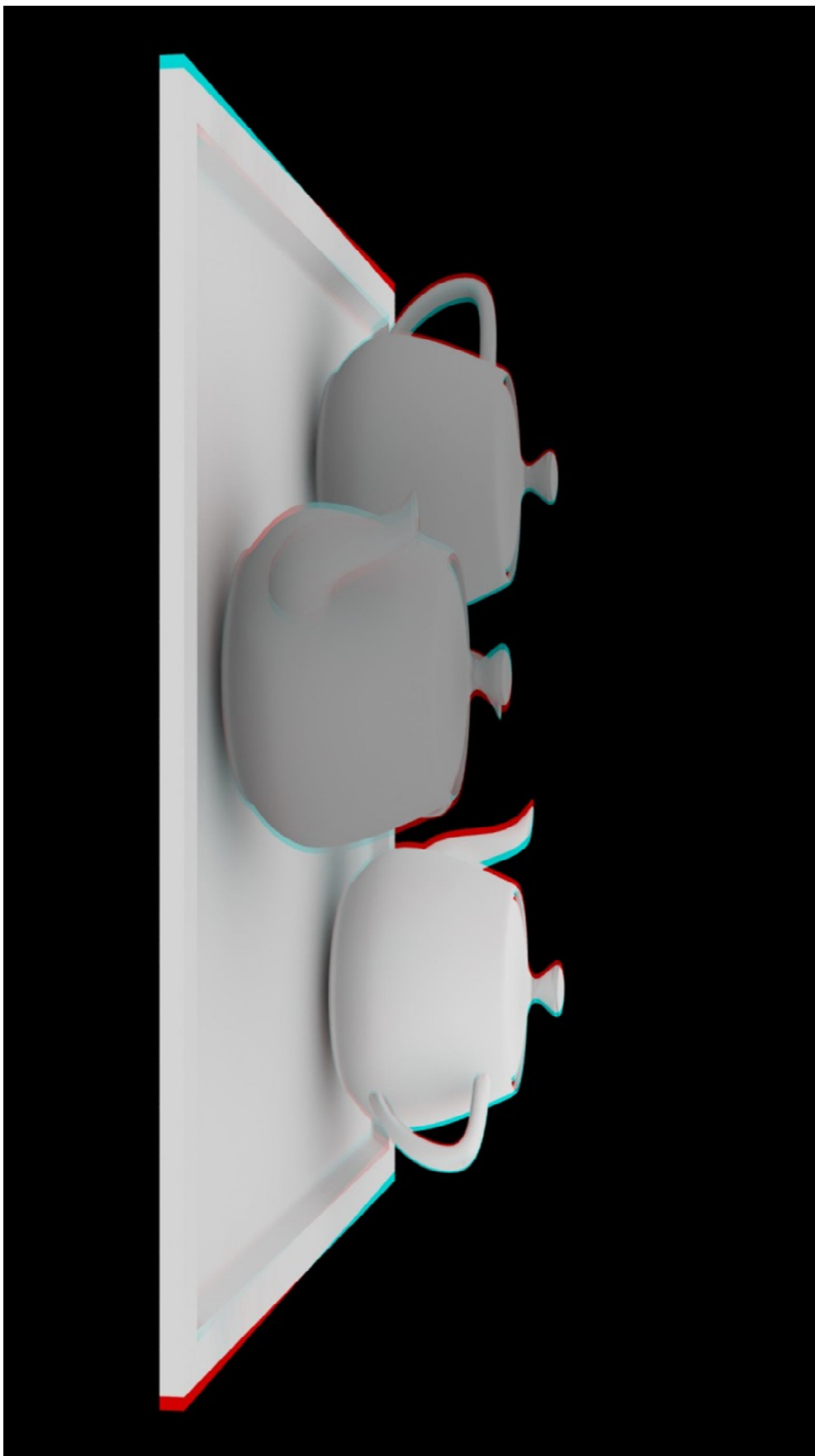
ANAGLYFI MUSTAVALKOISENA



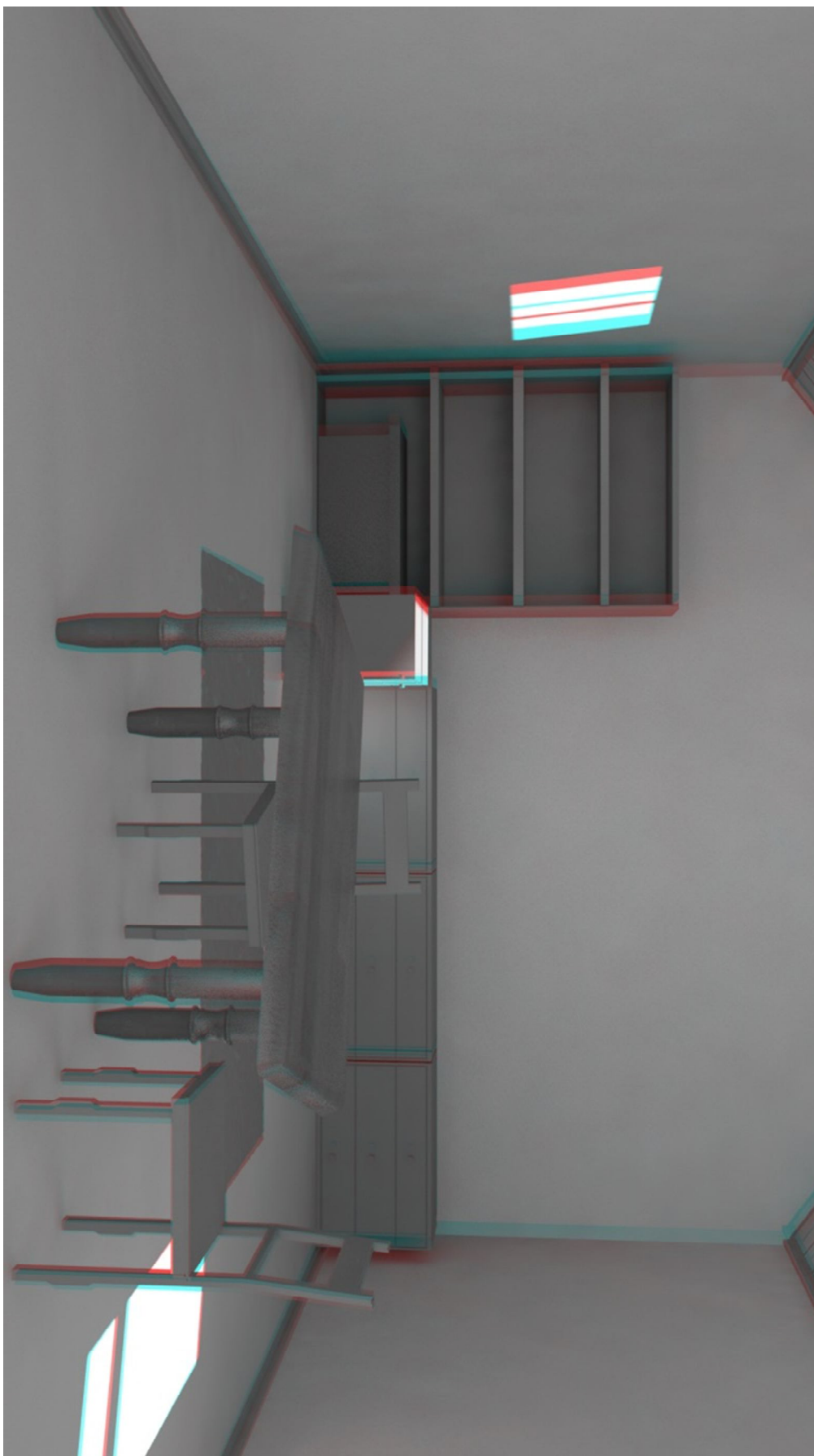
SAMANSUUNTAISTEN KAMEROIDEN TUOTTAMA KUVAPARI



STEREOKUVA HIT-KORJAUKSEN JÄLKEEN



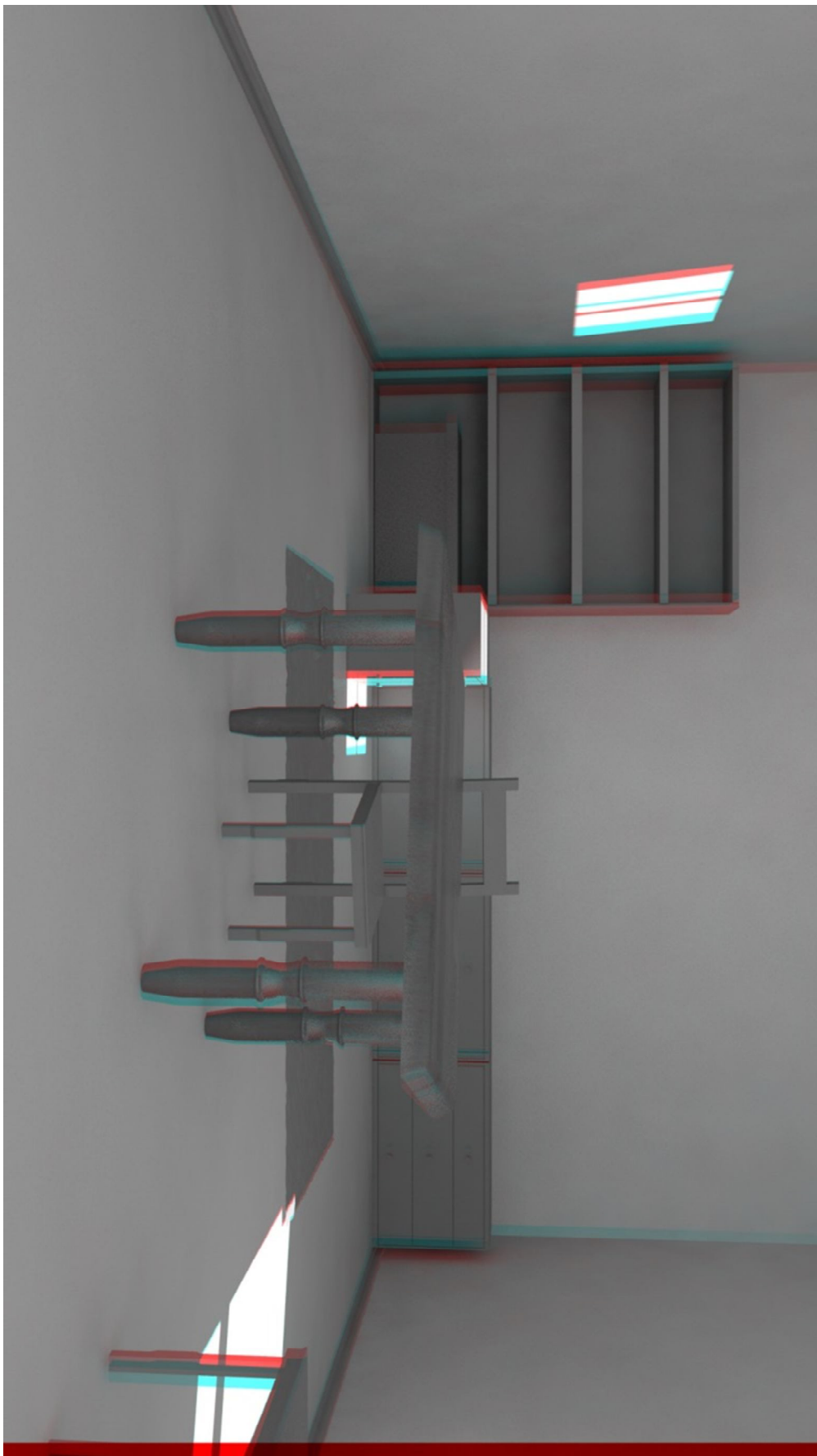
SISÄÄNKÄÄNNETYILLÄ KAMEROILLA TEHTY ANAGLYFI



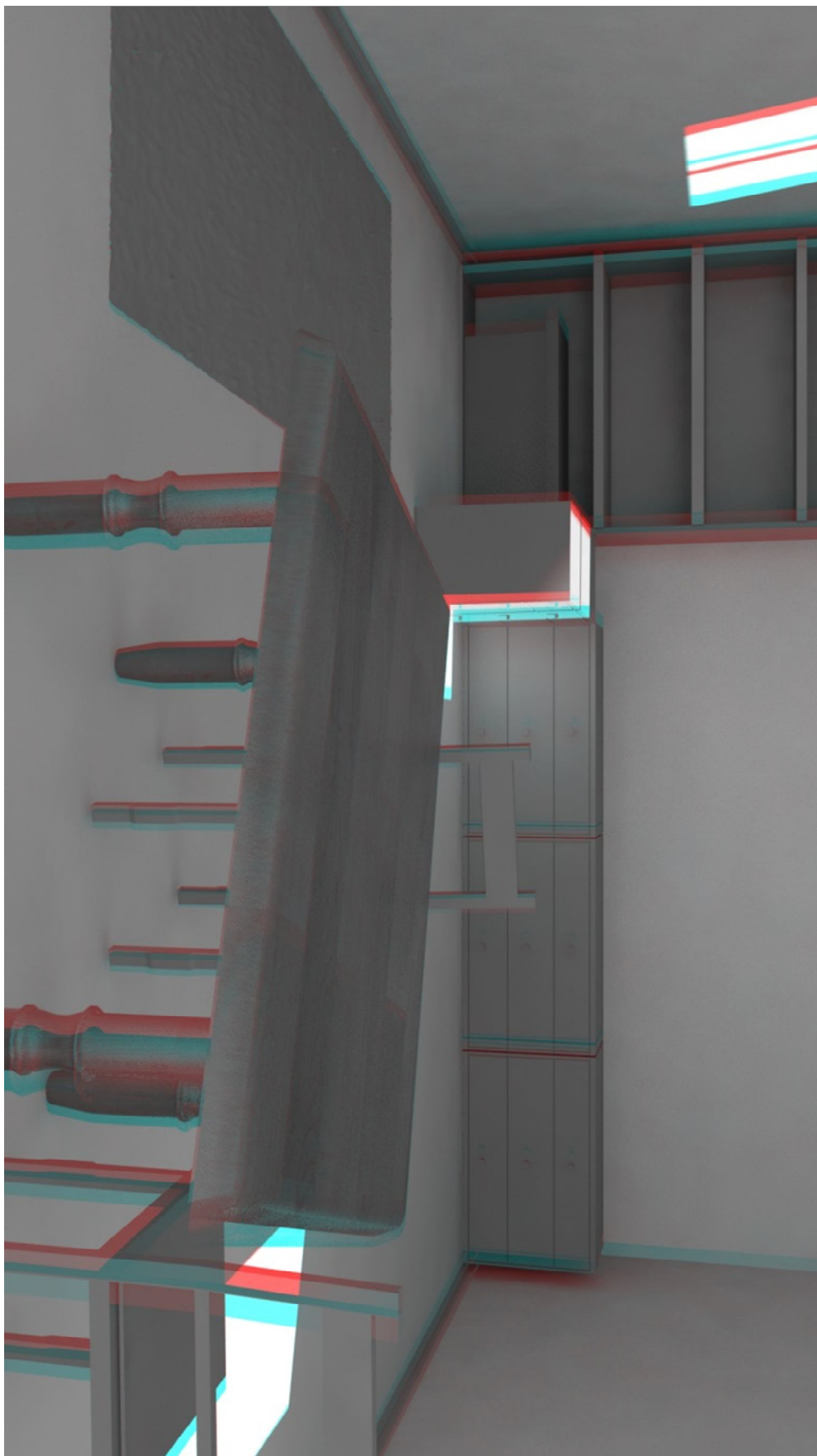
SISÄÄNKÄÄNNETYT KAMERAT SKEW-MODIFIERILLA



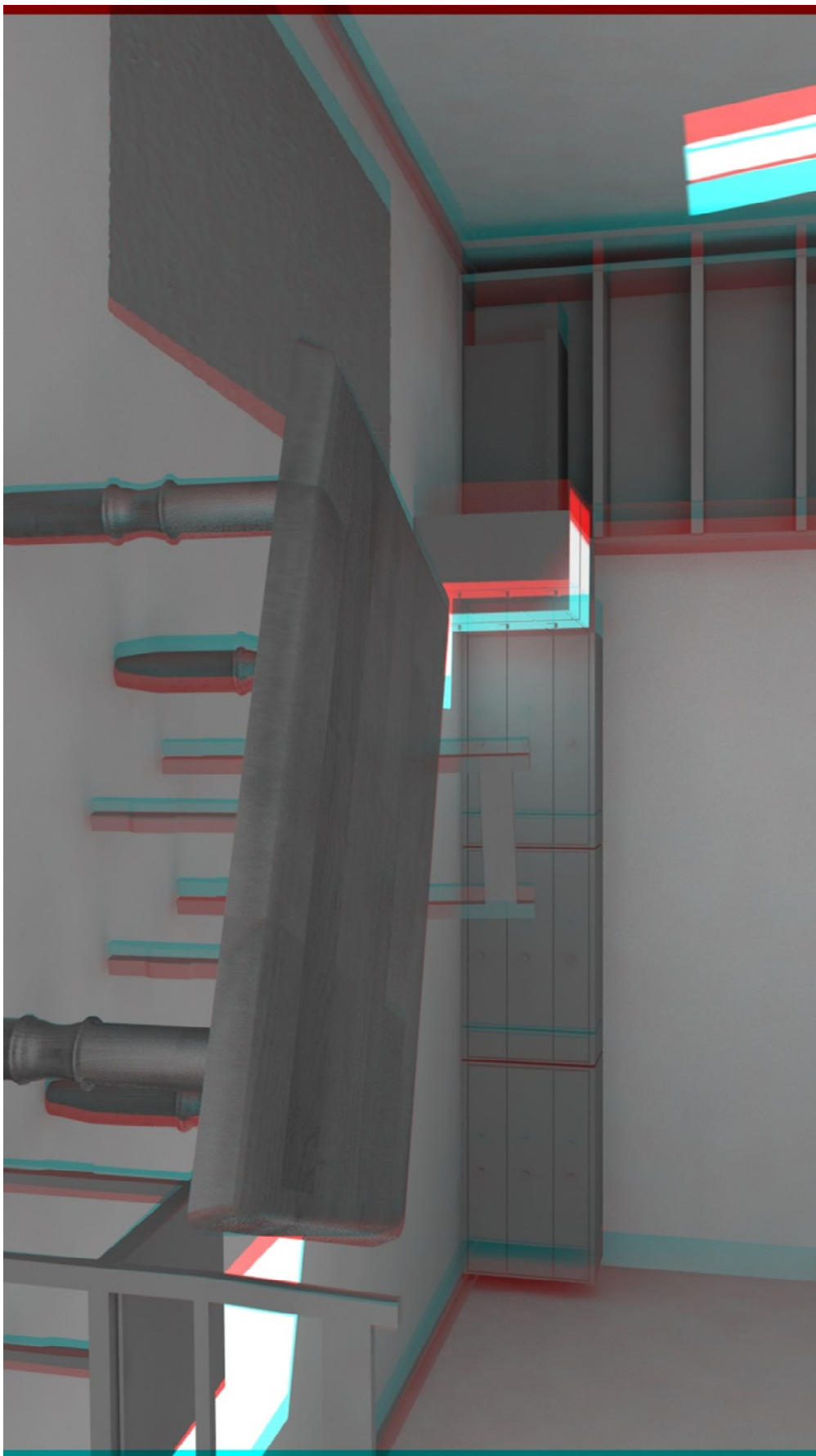
STEREOKUVA REUNUKSEN KORJAAMISEN JÄLKEEN



NEGATIIVISEN PARALLAKSIN AIHEUTTAMA WINDOW VIOLATION



ANAGLYFIKUVA LEIJUVALLA STEREOIKKUNALLA



ANAGLYFIKUVA VÄRI- JA KONTRASTIKORJAUKSELLA

